

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 586 407**

51 Int. Cl.:

C22C 21/10 (2006.01)

C22F 1/053 (2006.01)

B22D 11/115 (2006.01)

B22D 7/00 (2006.01)

B22D 18/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.06.2010 E 10832391 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.06.2016 EP 2386667**

54 Título: **Producto de aleación de aluminio adaptado para producir una pieza estructural y método para producir los mismos**

30 Prioridad:

29.01.2010 CN 201010104082

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

14.10.2016

73 Titular/es:

**GENERAL RESEARCH INSTITUTE FOR
NONFERROUS METALS (100.0%)
No. 2 Xijiekou Wai Street, Xicheng District
Beijing 100088, CN**

72 Inventor/es:

**XIONG, BAIQING;
ZHANG, YONGAN;
ZHU, BAOHONG;
LI, XIWU;
LI, ZHIHUI;
WANG, FENG y
LIU, HONGWEI**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 586 407 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

Producto de aleación de aluminio adaptado para producir una pieza estructural y método para producir los mismos

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a aleaciones de aluminio (también conocidas como aleaciones de tipo Al), especialmente a las aleaciones de aluminio de la serie 7xxx (aleaciones de aluminio basadas en Al-Zn-Mg-Cu) según designación de la International Aluminium Association. En particular, la presente invención se refiere a productos de gran espesor (p. ej., de 30 ~ 360 mm) realizados a partir de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx. Aunque la presente invención está dirigida, en la mayoría de los casos, a formas de productos forjados de gran espesor y formas de productos de chapa enrollada, también se puede usar para productos extruidos y moldeados por colada que presentan un gran espesor de forma generalizada o localizada.

Antecedentes

15 En la industria aeroespacial moderna, con los crecientes requisitos de rendimiento en sistemas integrados de vuelo, consumo de combustible de carga útil, vida útil y fiabilidad de las aeronaves, los grandes componentes estructurales de aleaciones de aluminio integrales se usan ampliamente cada vez más en aeronaves. Por ejemplo, en el diseño y fabricación de uniones de ala y fuselaje de una aeronave, usando un componente construido de ala-fuselaje integral del ala y del fuselaje de una aeronave, realizado a partir de un producto de aleación de aluminio a gran escala, que tiene una composición homogénea y que se prepara mediante un procedimiento de molienda con control numérico, en lugar de un componente construido de combinación convencional ensamblado con varias partes de aleaciones de aluminio separadas con diversa composición, no sólo puede reducir sustancialmente el peso de los componentes y aumentar la fiabilidad durante la vida útil, sino que también puede reducir sustancialmente los procedimientos de ensamblaje de componentes y disminuir los costes totales de fabricación de una aeronave.

Sin embargo, este diseño y método de fabricación avanzados generan unos requisitos altamente exigentes para el rendimiento global de los productos de aleaciones de aluminio relevantes.

25 Como es bien conocido en el campo de la fabricación de aeronaves, con respecto a los materiales para fabricar la cara anterior del ala o de la estructura construida de ala y fuselaje de una aeronave, es comúnmente deseable que estos posean un óptimo límite de resistencia a la compresión, así como una aceptable propiedad de tolerancia al daño; mientras que con respecto a los materiales para fabricar la cara posterior del ala o de la estructura construida de ala y fuselaje de una aeronave, es comúnmente deseable que estos posean una óptima propiedad de tolerancia al daño, así como un aceptable límite de resistencia a la tracción. En una estructura de combinación convencional, el objeto anteriormente mencionado se puede lograr ensamblando varias partes de aleaciones de aluminio con diversas composiciones. A modo de ejemplo, cuando se diseñan o seleccionan los materiales para realizar la cara anterior, es preferible usar aleaciones de aluminio que tengan un nivel superior de límite de resistencia a la compresión y una aceptable propiedad de tolerancia al daño, tales como, aleaciones 7150, 7055, 7449 o similares; y cuando se diseñan y seleccionan los materiales para realizar la cara posterior, es preferible usar aleaciones de aluminio que tengan un aceptable límite de resistencia a la tracción y una óptima propiedad de tolerancia al daño, p. ej., aleaciones 2324, 2524, o similares. Sin embargo, (1) si la estructura anteriormente mencionada es diseñada como una estructura integral, el producto de aleación único según se usa debe poseer, tanto los límites de resistencia a la compresión y a la tracción óptimos como la propiedad de tolerancia al daño óptima, a saber, que posea la denominada "óptima combinación de propiedades"; y (3) algunos de los componentes integrales tienden a tener una espesor local superior, causando por tanto que los productos de aleación de aluminio para fabricar estos componentes integrales tengan un gran espesor de, p. ej., 30 mm o superior, o incluso de hasta 360 mm. Para asegurar la consistencia de propiedades de los diversos sitios del componente integral, es deseable que diversos sitios dentro de los productos de aleaciones de aluminio deben poseer propiedades altamente homogéneas.

45 A través de ensayos de propiedades generales, se ha encontrado que algunas aleaciones de aluminio convencionales de alta resistencia y alta tenacidad ampliamente usadas en el campo de la fabricación de aeronaves, no pueden satisfacer los requisitos anteriormente identificados. Por ejemplo, las aleaciones 7050, 7150, etc., son bien conocidas en el campo como las aleaciones de aluminio que tienen un buen equilibrio de diversas propiedades. Los productos realizados a partir de estas aleaciones que tienen un espesor de 20 ~ 80 mm pueden presentar buenas propiedades generales, tanto en la superficie como en el centro, así como aceptables diferencias entre la superficie y el centro; pero el producto de estas aleaciones que tienen un espesor de hasta 150 mm representa una resistencia a la fluencia del centro de al menos 10% menor que la resistencia a la fluencia de la superficie y diferencias importantes de alargamiento y de tenacidad a la fractura, pese a que aún se pueden mantener las buenas propiedades generales en la superficie. Además, las aleaciones 7055, 7449, etc., son bien conocidas en la técnica como las aleaciones de aluminio forjadas de alta resistencia. Los productos realizados a partir de estas aleaciones que tienen un espesor de 20 ~ 60 mm, pueden representar de manera deseable, una alta resistencia tanto en la superficie como en el centro, así como diferencias aceptables entre la superficie y el centro; pero el producto de estas aleaciones que tiene un espesor de hasta 100 mm representa una resistencia a la fluencia, alargamiento y tenacidad a la fractura, umbral de fractura por fatiga, naturaleza corrosiva del centro de al menos 10% ~ 25% menor que las de la superficie, pese a que aún puede mantener una resistencia sustancialmente alta y

otras propiedades generales en la superficie. Un principio bien establecido, es que los diseñadores seleccionan materiales en base a las propiedades mínimas garantizadas de los materiales durante el diseño de la estructura de la aeronave. Según este principio, cuando las aleaciones convencionales que incluyen las aleaciones 7050, 7150, 7055, 7449 o similares, se procesan para formar productos con un espesor más pequeño de p. ej., 80 mm o inferior, hay una buena consistencia de rendimiento global entre la superficie y el centro, y la propiedad mínima asegurable (típicamente, las propiedades del centro) puede satisfacer los requisitos de fabricación de algunos componentes estructurales que tienen una mayor capacidad de carga; sin embargo, si estas aleaciones se procesan para formar productos de gran espesor, las propiedades del centro se deterioran notablemente, y las mínimas propiedades asegurables de los productos son incapaces de satisfacer los requisitos de fabricación de algunos componentes estructurales que tienen una mayor capacidad de carga. Asimismo, los productos realizados a partir de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx representan unas diferencias muy grandes entre la superficie y el centro, lo que da como resultado algunos problemas inesperados durante el procesamiento posterior, tales como, una tensión interna residual relativamente alta, así como la dificultad de establecimiento y operación del procedimiento de molienda posterior. Esto es indeseable para los diseñadores de aeronaves.

Un gran número de resultados de investigación indican, que las diferencias de propiedades entre la superficie y el centro de productos de gran espesor realizados a partir de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx, son principalmente debidas al procedimiento de templado después del tratamiento térmico en disolución de las aleaciones. La Figura 1, muestra la curva de templado de productos de gran espesor realizados a partir de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx, a partir de las cuales se puede observar que existen diferencias importantes entre los procedimientos de enfriamiento, así como en las velocidades de enfriamiento de los sitios a diferentes espesores de los productos bajo ciertas condiciones; en particular, las velocidades de enfriamiento del centro del producto es mucho menor que la de la superficie. La Figura 2, muestra la dimensión y la distribución de la segunda fase formada por la descomposición de una disolución sólida sobresaturada de aleaciones durante el templado, a partir del cual se puede observar que la disolución sólida sobresaturada de aleaciones se descompone debido a una menor velocidad de templado alrededor del centro del producto, y a que una gran cantidad de elementos de soluto se precipitan y crecen hasta formar una fase precipitada por templado relativamente más gruesa. La generación de esta fase precipitada por templado más gruesa, no sólo reduce el grado de sobresaturación del elemento de soluto dentro de la matriz del centro del producto de aleación para reducir la cantidad de fase endurecida por precipitación formada durante el tratamiento de envejecimiento posterior y deteriora la propiedad de resistencia en estos sitios, sino que también es probable que se convierta en el origen del inicio de una grieta y microcorrosión de área para deteriorar otras propiedades del sitio, por ejemplo, alargamiento y tenacidad a la fractura, propiedad de fatiga, resistencia a la corrosión, y similares. Mientras tanto, también se puede ver que los elementos de soluto son menos o muy poco precipitados cerca de la superficie del producto debido a la velocidad de templado relativamente más alta, y a la sobresaturación de los elementos de soluto dentro de la matriz, facilitando por lo tanto la formación de una fase adecuada fina bien distribuida endurecida por precipitación durante el tratamiento de envejecimiento posterior, de tal modo que se pueda mantener el buen rendimiento global deseado de las aleaciones cerca de la superficie de los productos.

Resultados de investigación más exhaustivos indican, que el efecto de la velocidad de templado sobre el comportamiento de descomposición de la disolución sólida sobresaturada de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx, se deben principalmente debido a dos aspectos como se describe más adelante.

El primer aspecto es la denominada "estabilidad de la disolución sólida sobresaturada".

En las aleaciones de aluminio de la serie 7xxx, es bien conocido que Zn, Mg, y Cu son elementos aleantes primarios. La adición de Zn y Mg es principalmente para los fines de formar una fase endurecida por precipitación que tiene una constitución química de $MgZn_2$ y en una relación coherente con la matriz en las aleaciones. Asimismo, por una parte, la adición de Cu es principalmente para los fines de mejorar la resistencia a la corrosión de las aleaciones, modificando el potencial de electrodo de las aleaciones tratando en disolución Cu en la matriz o en la fase precipitada; y por otra parte, la presencia de Cu puede acelerar la formación de la fase precipitada y mejorar la estabilidad a una temperatura elevada. Cuando la concentración de Cu excede el límite de solubilidad de sólidos del mismo en la matriz y en la fase precipitada, se puede formar una fase endurecida por precipitación que tiene una constitución química Al_2Cu y otra fase ternaria y cuaternaria enriquecida en Cu y produce un efecto de endurecedor adicional. Durante años, los expertos en la técnica han hecho un esfuerzo para mejorar la resistencia, tenacidad y resistencia a la corrosión de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx; y hasta ahora se ha establecido un conjunto completo de teorías y métodos para controlar el intervalo de concentraciones de los elementos aleantes primarios Zn, Mg, y Cu, en base a los cuales se ha desarrollado una serie de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx con diversas propiedades y características. Sin embargo, en años recientes, se ha encontrado que ciertas aleaciones preparadas a una cierta relación de tres elementos aleantes primarios Zn, Mg, y Cu dentro del intervalo de concentraciones de las aleaciones de aluminio de la serie 7xxx convencionales pueden formar, durante el procedimiento de templado posterior al tratamiento térmico en disolución, una disolución sólida sobresaturada que presenta una buena estabilidad bajo condiciones de enfriamiento lento, mientras que las aleaciones preparadas con otras relaciones forman una disolución sólida sobresaturada que es probable que se descomponga bajo condiciones de enfriamiento lento. Resumiendo, en base a la observación, pese a que no se conoce completamente el mecanismo microscópico inherente, se ha encontrado que la estabilidad de la disolución sólida sobresaturada bajo diversas condiciones de velocidad de enfriamiento no es sensible al cambio de concentración de Zn en un intervalo

relativamente amplio, mientras que es altamente sensible al cambio de concentración de Cu. En particular, una cantidad excesiva de Cu es probable que cause una caída acusada de la estabilidad de la disolución sólida sobresaturada de aleaciones bajo ciertas condiciones en la velocidad de templado.

El segundo aspecto es el denominado "fenómeno de precipitación inducida".

5 Las aleaciones de aluminio de la serie 7xxx comprenden inevitablemente elementos de impurezas, tales como, Fe, Si, o similares, y por lo tanto se formará una fase enriquecida en Fe, una fase enriquecida en Si, etc., durante la solidificación de las aleaciones. Mientras tanto, para los fines de controlar la dimensión de los granos cristalinos del moldeo por colada de las aleaciones y el crecimiento de granos durante la homogenización y para inhibir que ocurra la recristalización durante el procesamiento por distorsión térmica y el tratamiento térmico en disolución, se añaden
10 varios elementos aleantes en cantidades traza (p. ej., Ti, Cr, Mn, Zr, Sc, Hf, y similares) a las aleaciones, para formar algunas segundas fases finas capaces de representar un efecto de anclaje sobre el límite de cristalización durante la solidificación de las aleaciones, o para precipitar algunas fases finas dispersas capaces, tanto de representar un efecto de anclaje en el límite de cristalización como de contribuir al efecto de endurecimiento durante la homogenización de las aleaciones. Sin embargo, existen resultados de investigación que indican que diversas
15 segundas fases formadas durante la solidificación de las aleaciones, o incluso algunas fases dispersas precipitadas durante el tratamiento de homogenización de las aleaciones, están comúnmente en relación dispar con la red cristalina de la matriz, y por lo tanto las segundas fases en relación dispar con la red de la matriz es probable que sirvan como los núcleos para "inducir" el centro heterogéneo de la fase de precipitación por templado. Los micrográficos como se muestra en la Fig. 3, ilustran la precipitación preferencial de la fase de precipitación por templado en los sitios de las segundas fases anteriormente mencionada en relación dispar con la red de la matriz.
20

En años recientes, los problemas descritos anteriormente han captado gran atención de muchos institutos de investigación y compañías. Sobre la base de abundante investigación de laboratorio en combinación con análisis y cálculos teóricos, se ha desarrollado una serie de materiales de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx de alto rendimiento que presentan buenas propiedades generales y se ven relativamente menos afectadas en términos de
25 diversas propiedades por el cambio del espesor del producto (es decir, la denominada "baja sensibilidad al templado"), optimizando los componentes de las aleaciones, junto con la optimización de los procedimientos de preparación, moldeo y tratamiento térmico de los mismos.

Por ejemplo, (1) el documento CN1489637A, presentado por Alcoa Inc. (una compañía estadounidense) y publicado en 2004, describe una aleación de aluminio de baja sensibilidad al templado, alta resistencia y alta tenacidad adaptada para la producción de componentes estructurales de gran espesor, que consiste esencialmente en: Zn 6-10 % en peso, Mg 1,2-1,9 % en peso, Cu 1,2-1,9 % en peso, Zr \leq 0,4 % en peso, Sc \leq 0,4 % en peso, Hf \leq 0,3 % en peso, Ti \leq 0,06 % en peso, Ca \leq 0,03 % en peso, Sr \leq 0,03 % en peso, Be \leq 0,002 % en peso, Mn \leq 0,3 % en peso, Fe \leq 0,25 % en peso, Si \leq 0,25 % en peso, y equilibrio Al. También, la aleación de aluminio comprende preferiblemente Zn 6,4-9,5 % en peso, Mg 1,3-1,7 % en peso, Cu 1,3-1,9 % en peso, Zr 0,05-0,2% en peso, en donde % en peso de Mg \leq (% en peso de Cu + 0,3 % en peso). Como se enumera en las realizaciones del documento CN1489637A, bajo condiciones de "sobreenvejecimiento" T7, la resistencia a la fluencia/tenacidad a la fractura en la dirección longitudinal (L-) del centro de un producto de chapa realizado a partir de aleaciones típicas, pueden ser de hasta 516 MPa/36,6 MPa·m^{1/2} cuando el producto de chapa tiene un espesor de hasta 152 mm; y el procedimiento de tratamiento térmico se puede ajustar para aumentar la resistencia a la fluencia y disminuir la tenacidad a la fractura, o para disminuir la resistencia a la fluencia y aumentar la tenacidad a la fractura. Además, la resistencia a la fluencia del centro de los productos puede ser de hasta 489 MPa (en la dirección L) / 486 MPa (en la dirección LT) cuando la pieza forjada realizada a partir de aleaciones típicas tiene un espesor de 178 mm. En ese caso, los productos pueden presentar unas propiedades mucho mejores de alargamiento, fatiga, así como resistencia a la corrosión bajo tensión y corrosión por exfoliación, en comparación con los que tienen un espesor similarmente mayor y los realizados a partir de aleaciones 7050, 7150, 7055 convencionales, y similares, y presentan un equilibrio superior de
45 diversas propiedades y baja sensibilidad al templado.

(2) El documento CN1780926A, presentado por Corus Aluminum Walzprod GmbH (una compañía alemana) y publicado en 2006, describe aleaciones de aluminio de alta resistencia y de alta tenacidad que tienen un equilibrio superior de diversas propiedades, que consisten esencialmente en Zn 6,5-9,5 % en peso, Mg 1,2-2,2 % en peso, Cu 1,0-1,9 % en peso, Zr \leq 0,5 % en peso, Sc \leq 0,7% en peso, Cr \leq 0,4% en peso, Hf \leq 0,3% en peso, Ti \leq 0,4% en peso, V \leq 0,4 % en peso, Mn \leq 0,8 % en peso, Fe \leq 0,3 % en peso, Si \leq 0,2 % en peso, otras impurezas o elementos incidentales cada uno \leq 0,05 % en peso, total \leq 0,15 % en peso, y equilibrio Al; preferiblemente, (0,9 Mg - 0,6) \leq Cu \leq (0,9 Mg + 0,05). Como se enumeró en la realizaciones del documento CN1780926A, bajo las condiciones de "sobreenvejecimiento" T7 (incluyendo T76 y T74), las propiedades de resistencia a la tracción/resistencia a la fluencia/alargamiento/tenacidad a la fractura/corrosión por exfoliación en el sitio de 1/4 de espesor de los productos pueden ser de hasta 523 MPa/494 MPa/10,5%/39 MPa·m^{1/2}/EA, cuando los productos de chapa realizados a partir de aleaciones típicas tienen un espesor de hasta 150 mm, y el procedimiento de tratamiento térmico se puede ajustar para aumentar la resistencia a la fluencia y disminuir el alargamiento y la tenacidad a la fractura, o para disminuir la resistencia a la fluencia y aumentar el alargamiento y la tenacidad a la fractura. En ese caso, los productos pueden presentar un equilibrio superior de diversas propiedades y una baja sensibilidad al templado.
60

(3) También han sido referidos trabajos similares en otras publicaciones.

Aunque los intentos anteriormente mencionados han logrado cierto éxito, aún existe una continua necesidad de productos de gran espesor de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx que tengan mejores propiedades generales y presenten propiedades más homogéneas dentro de los productos, habida cuenta del rápido desarrollo de la industria aérea y otras tecnologías relevantes. Por lo tanto, el experto en la técnica no está limitado a este respecto.
 5 Sorprendentemente, las aleaciones de aluminio de la serie 7xxx satisfacen los rigurosos requisitos anteriormente mencionados, si el intervalo de contenido de cada componente y el porcentaje de cada elemento de las mismas se optimizan más cuidadosamente.

Compendio de la invención

10 El primer problema técnico a resolver por la presente invención, es proporcionar un producto de aleación de aluminio para fabricar componentes estructurales, que permita productos de gran espesor realizados a partir de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx para presentar una combinación muy superior de resistencia con propiedades de tolerancia al daño, y permitir los productos que tengan un rendimiento más homogéneo en la superficie, en el sitio de diversas profundidades bajo la superficie, y en el centro del producto de aleación.

15 El segundo problema técnico a resolver por la presente invención, es proporcionar un método para producir los productos deformados de las aleaciones de aluminio de la presente invención.

El tercer problema técnico a resolver por la presente invención, es proporcionar un método para producir los productos moldeados por colada de las aleaciones de aluminio de la presente invención.

20 El cuarto problema técnico a resolver por la presente invención, es proporcionar un producto nuevo formado soldando el producto de aleación de aluminio de la presente invención con otro producto realizado a partir del mismo u otro material de aleación.

El quinto problema técnico a resolver por la presente invención, es proporcionar los componentes finales producidos por manipulación de los productos de aleación de aluminio de la presente invención, a través de una operación de mecanizado mecánico, mecanizado por molienda química, mecanizado por descarga eléctrica, o mecanizado por láser.

25 El sexto problema técnico a resolver por la presente invención, es proporcionar la aplicación de los componentes finales de la presente invención.

Para lograr los objetivos descritos anteriormente, la presente invención utiliza las siguientes soluciones técnicas.

30 La presente invención está dirigida a un producto de aleación de aluminio adaptado para fabricar componentes estructurales, realizado a partir de lingotes moldeados por colada directa (DC, por sus siglas en inglés), consistiendo dicha aleación en un peso (% en peso), de Zn 7,5-8,7, Mg 1,1-2,3, Cu 0,5-1,9, Zr 0,03-0,20, siendo Al el equilibrio, elementos incidentales e impurezas, en donde las concentraciones de Zn, Mg, Cu, y Zr satisfacen las expresiones de (a) $10,5 \leq \text{Zn} + \text{Mg} + \text{Cu} \leq 11,0$; (b) $5,3 \leq (\text{Zn} / \text{Mg}) + \text{Cu} \leq 6,0$; y (c) $(0,24 - D / 4.800) \leq \text{Zr} \leq (0,24 - D / 5.000)$, en donde D es la longitud mínima de una sección de línea que conecta dos puntos cualesquiera en la periferia de la sección transversal del lingote y que pasa a través del centro geométrico de la sección transversal, y $250 \text{ mm} \leq D \leq 1.000 \text{ mm}$,
 35 en donde los productos de aleaciones de aluminio comprenden además al menos un elemento microaleante incidental seleccionado del grupo que consiste en Mn, Sc, Er, y Hf, con la condición de que las concentraciones del elemento microaleante satisfagan la expresión de $(0,24 - D / 4.800) \leq (\text{Zr} + \text{Mn} + \text{Sc} + \text{Er} + \text{Hf}) \leq (0,4 - D / 5.000)$, y en donde los productos de aleaciones de aluminio comprenden además: Fe $\leq 0,50$ % en peso, Si $\leq 0,50$ % en peso, Ti $\leq 0,10$ % en peso, y/u otros elementos de impurezas cada uno $\leq 0,08\%$ en peso, y en total $\leq 0,25\%$ en peso.

40 Por una parte, el lingote moldeado por colada puede ser redondo, y D puede ser un diámetro de la sección transversal del mismo; y por otra parte, el lingote moldeado por colada puede ser plano, y D puede ser la longitud del lado corto de la sección transversal del mismo.

45 En la primera realización preferida de la presente invención, el producto de aleación de aluminio para fabricar componentes estructurales que comprende la composición, en base a % en peso, de Zn 7,5-8,4, Mg 1,65-1,8, Cu 0,7-1,5, Zr 0,03-0,20, siendo Al el equilibrio, elementos incidentales e impurezas, en donde las concentraciones de Zn, Mg, Cu, y Zr satisfacen las siguientes expresiones:

(a) $10,6 \leq \text{Zn} + \text{Mg} + \text{Cu} \leq 10,8$;

(b) $5,5 \leq (\text{Zn} / \text{Mg}) + \text{Cu} \leq 5,7$; y

(c) $(0,24 - D / 4.800) \leq \text{Zr} \leq (0,24 - D / 5.000)$.

50 En una realización preferida de la presente invención, los productos de aleaciones de aluminio además comprenden: Fe $\leq 0,50$ % en peso, Si $\leq 0,50$ % en peso, Ti $\leq 0,10$ % en peso, y/u otros elementos de impurezas cada uno $\leq 0,08$ % en peso, y total $\leq 0,25$ % en peso.

En una realización preferida de la presente invención, los productos de aleaciones de aluminio comprenden: Fe $\leq 0,12$ % en peso, Si $\leq 0,10$ % en peso, Ti $\leq 0,06$ % en peso, y/u otros elementos de impurezas cada uno $\leq 0,05$ % en peso, y total $\leq 0,15$ % en peso.

5 En una realización preferida de la presente invención, los productos de aleaciones de aluminio comprenden: Fe $\leq 0,05$ % en peso, Si $\leq 0,03$ % en peso, Ti $\leq 0,04$ % en peso, y/u otros elementos de impurezas cada uno $\leq 0,03$ % en peso, y total $\leq 0,10$ % en peso.

En una realización preferida de la presente invención, la concentración de Cu en los productos de aleaciones de aluminio no es mayor que la concentración de Mg.

10 En una realización preferida de la presente invención, los productos de aleaciones de aluminio tienen un máximo espesor de la sección transversal de 250-360 mm, y una concentración de Cu de 0,5-1,45% en peso.

En una realización preferida de la presente invención, los productos de aleaciones de aluminio tienen un máximo espesor de la sección transversal de 250-360 mm, y una concentración de Cu de 0,5-1,40 % en peso.

15 En una realización preferida de la presente invención, los productos de aleaciones de aluminio tienen un máximo espesor de la sección transversal de 30-360 mm, y los productos de aleaciones de aluminio son productos forjados, productos de chapa, productos extruidos, o productos moldeados por colada.

En una realización preferida de la presente invención, los productos de aleaciones de aluminio tienen un máximo espesor de la sección transversal de 30-80 mm, y los productos de aleaciones de aluminio son productos forjados, productos de chapa, productos extruidos, o productos moldeados por colada.

20 En una realización preferida de la presente invención, los productos de aleaciones de aluminio tienen un máximo espesor de la sección transversal de 80-120 mm, y los productos de aleaciones de aluminio son productos forjados, productos de chapa, productos extruidos, o productos moldeados por colada.

En una realización preferida de la presente invención, los productos de aleaciones de aluminio tienen un máximo espesor de la sección transversal de 120-250 mm, y los productos de aleaciones de aluminio son productos forjados, productos de chapa, productos extruidos, o productos moldeados por colada.

25 En una realización preferida de la presente invención, los productos de aleaciones de aluminio tienen un máximo espesor de la sección transversal de 250-360 mm, y los productos de aleaciones de aluminio son productos forjados, productos de chapa, productos extruidos, o productos moldeados por colada.

30 La presente invención además está dirigida a un método de producir productos de aleaciones de aluminio. Los productos de aleaciones de aluminio, pueden comprender productos deformados y productos moldeados por colada de aleaciones de aluminio. El método para producir los productos deformados de aleaciones de aluminio se pueden describir como "preparación y fundición de aleaciones - lingotes de colada DC (lingotes redondos o planos) - tratamiento de homogenización de lingotes y mecanizado de acabado de superficie - trabajo en caliente de los lingotes (enrollado de chapa, forja de forjados, y extrusión de barras/tuberías/barras seccionales) para formar la forma del producto final - tratamiento térmico en disolución y tratamiento de liberación de tensión - tratamiento de envejecimiento - productos finales". El método para producir los productos moldeados por colada de aleaciones de aluminio se pueden describir como "preparación y fundición de aleaciones - moldeo por colada - tratamiento térmico en disolución - tratamiento de envejecimiento - productos finales".

El procedimiento del procesamiento de deformación de aleaciones de aluminio, puede comprender:

- 1) proporcionar lingotes moldeados por colada directa de la presente invención;
- 40 2) homogenizar los lingotes obtenidos después del moldeo por colada;
- 3) trabajar en caliente los lingotes homogenizados una o más veces para formar los productos de aleaciones con las dimensiones deseadas;
- 4) tratar térmicamente en disolución los productos de aleaciones deformados;
- 45 5) enfriar rápidamente los productos de aleaciones tratados térmicamente en disolución hasta la temperatura ambiente; y
- 6) envejecer los productos de aleaciones enfriados para mejorar la resistencia y la tenacidad para producir los productos de aleaciones deformados deseados.

50 En la Etapa 1), los lingotes de colada DC se producen mediante las etapas de fundición, desgasificación, retirada de inclusión, y colada DC, en donde los elementos se controlan de manera precisa durante la fundición usando Cu el cual es difícil de quemar como un elemento de centro; y cada elemento aleante se suministra y ajusta rápidamente mediante análisis en línea de la concentración de cada elemento para completar el procedimiento para producir los

lingotes moldeados por colada. En un aspecto preferido, la etapa 1) comprende además aplicar agitación electromagnética, agitación ultrasónica, o agitación mecánica en el sitio de o cerca del cristalizador

5 En la etapa 2), el tratamiento de homogenización se lleva a cabo por medios seleccionados del grupo que consiste en: (1) tratamiento de homogenización de una sola etapa a una temperatura que varía de 450 a 480°C durante 12-48 h; (2) tratamiento de homogenización de dos etapas a una temperatura que varía de 420 a 490°C durante un total de 12-48 h; y (3) tratamiento de homogenización multietapa a una temperatura que varía de 420 a 490°C durante un total de 12-48 h.

10 En la etapa 3), el uno o más procedimientos de procesamiento de deformación se llevan a cabo por medios seleccionados del grupo que consiste en forjado, enrollado, extrusión, y cualquier combinación de los mismos. Antes de cada procedimiento de deformación, los lingotes se precalientan a una temperatura que varía de 380 a 450°C durante 1-6 h. En un aspecto preferido, los lingotes se deforman en caliente por medio de forja libre en combinación con enrollado, y los productos de chapa resultantes de aleaciones tienen un espesor de 120-360 mm.

15 En la etapa 4), el tratamiento térmico en disolución se lleva a cabo por medios seleccionados del grupo que consiste en: (1) tratamiento térmico en disolución de una sola etapa a una temperatura que varía de 450 a 480°C durante 1-12 h; (2) tratamiento térmico en disolución de dos etapas a una temperatura que varía de 420 a 490°C durante un total de 1-12 h; y (3) tratamiento térmico en disolución multietapa a una temperatura que varía de 420 a 490°C durante un total de 1-12 h. En un aspecto preferido, los productos de aleaciones se tratan térmicamente en disolución a una temperatura que varía de 467 a 475°C durante un tiempo de calentamiento isotérmico eficaz de $t(\text{min}) = 45 (\text{min}) + \frac{d (\text{mm})}{2(\text{mm} / \text{min})}$, en donde d es el máximo espesor de los productos de aleaciones de aluminio.

20 En la etapa 5), los productos de aleaciones se enfrían rápidamente hasta la temperatura ambiente por medios seleccionados del grupo que consiste en templado por inmersión en un medio refrigerante, templado por rociado con rodillo, enfriamiento por aire forzado, y cualquier combinación de los mismos. En un aspecto preferido, el agua se selecciona como el medio refrigerante para el templado por inmersión.

En la etapa 6), los productos de aleaciones se envejecen por medios seleccionados del grupo que consiste en:

25 (1) tratamiento de envejecimiento de una sola etapa (preferiblemente, tratamiento de envejecimiento pico T6) a una temperatura que varía de 110 a 125°C durante 8-36 h; (2) tratamiento de envejecimiento de dos etapas (preferiblemente, el sobretratamiento de envejecimiento T7), en donde el tratamiento de envejecimiento de la primera etapa se lleva a cabo a una temperatura de 110-115°C durante 6-15 h, y el tratamiento de envejecimiento de la segunda etapa se lleva a cabo a una temperatura de 155-160°C durante 6-24 h; y (3) tratamiento de envejecimiento de tres etapas, en donde el tratamiento de envejecimiento de la primera etapa se lleva a cabo a una temperatura de 105-125°C durante 1-24 h, el tratamiento de envejecimiento de la segunda etapa se lleva a cabo a una temperatura de 170-200°C durante 0,5-8 h, y el tratamiento de envejecimiento de tres etapas se lleva a cabo a una temperatura de 105-125°C durante 1-36 h.

35 En un aspecto preferido, el procedimiento de la presente invención además puede comprender la siguiente etapa entre las etapas 5) y 6): predeformar los productos de aleaciones enfriados, estando la deformación total en el intervalo de 1-5% para eliminar eficazmente la tensión interna residual. En un aspecto preferido, el tratamiento de predeformación es preestiramiento; y en otro aspecto preferido, el tratamiento de predeformación es precompresión.

La presente invención además proporciona un método para producir productos moldeados por colada de aleaciones de aluminio que comprende las etapas de:

- 40 1) producir lingotes moldeados por colada como se describe en la presente invención;
- 2) tratar térmicamente en disolución los lingotes moldeados por colada resultantes; y
- 3) envejecer los lingotes moldeados por colada tratados térmicamente en disolución para producir los productos moldeados por colada de aleaciones deseados.

45 En la etapa 1), los lingotes moldeados se producen por medios de fundición, desgasificación, retirada de inclusión, y moldeo por colada, en donde los elementos se controlan de manera precisa durante la fundición usando Cu el cual es difícil de quemar como un elemento de centro; y cada elemento aleante se suministra y ajusta rápidamente mediante análisis en línea de la concentración de cada elemento para completar el procedimiento para producir los lingotes moldeados por colada; y en donde el moldeo por colada se selecciona del grupo que consiste en moldeo en arena, moldeo a presión, y moldeo a baja presión con o sin agitación mecánica. De manera alternativa, en la etapa 50 1), los lingotes moldeados se producen por medios de fundición, desgasificación, retirada de inclusión, y agitación para formar blancos que tienen características de tejido semi-sólido, que se recalientan y someten a procedimiento adicional de moldeo a baja presión para completar la producción de lingotes moldeados por colada, en donde los elementos se controlan de manera precisa durante la fundición usando Cu el cual es difícil de quemar como un elemento de centro; y cada elemento aleante es suministrado y ajustado rápidamente por un análisis en línea de la concentración de cada elemento para completar el procedimiento para producir los lingotes moldeados; y en donde

la agitación se selecciona del grupo que consiste en agitación electromagnética, agitación mecánica, y cualquier combinación de las mismas.

5 En la etapa 2), el tratamiento térmico en disolución se lleva a cabo por medios seleccionados del grupo que consiste en: (1) tratamiento térmico en disolución de una sola etapa una temperatura que varía de 450 a 480°C durante 1-48 h; (2) tratamiento térmico en disolución de dos etapas una temperatura que varía de 420 a 490°C durante un total de 1-48 h; y (3) tratamiento térmico en disolución multietapa una temperatura que varía de 420 a 490°C durante un total de 1-48 h.

10 En la etapa 3), el tratamiento de envejecimiento se lleva a cabo por medios seleccionados del grupo que consiste en: (1) tratamiento de envejecimiento de una sola etapa (preferiblemente, tratamiento de envejecimiento pico T6) a una temperatura de 110-125°C durante 8-36 h; (2) tratamiento de envejecimiento de dos etapas (preferiblemente, sobretratamiento de envejecimiento T7), en donde la tratamiento de envejecimiento de la primera etapa se lleva a cabo a una temperatura de 110-115°C durante 6-15 h, y el tratamiento de envejecimiento de la segunda etapa se lleva a cabo a una temperatura de 155-160°C durante 6-24 h; y (3) tratamiento de envejecimiento de tres etapas, en donde la tratamiento de envejecimiento de la primera etapa se lleva a cabo a una temperatura de 105-125°C durante 1-24 h, el tratamiento de envejecimiento de la segunda etapa se lleva a cabo a una temperatura de 170-200°C durante 0,5-8 h, y la tercera etapa tratamiento de envejecimiento se lleva a cabo a una temperatura de 105-125°C durante 1-36 h.

20 Entre otros, las resistencias a la fluencia sobre la superficie, en el sitio de diversas profundidades bajo la superficie, y en el centro de los productos de aleaciones de aluminio según la presente invención o producidos según el método de la presente invención, presentan una diferencia del 10% o inferior, preferiblemente del 6% o inferior, más preferiblemente del 4% o inferior.

25 En un aspecto, los productos de aleaciones de aluminio según la presente invención o producidos según el método de la presente invención se pueden soldar con un material seleccionado del grupo que consiste en los mismos o diferentes materiales de aleaciones para formar un producto nuevo, en donde la soldadura se selecciona del grupo que consiste en soldadura por fricción-agitación, soldadura por fusión, soldadura blanda/fuerte, soldadura por haz de electrones, soldadura por láser, y cualquier combinación de las mismas.

30 En otro aspecto, los productos de aleaciones de aluminio según la presente invención o producidos según el método de la presente invención se pueden procesar por medios seleccionados del grupo que consiste en operaciones de mecanizado mecánico, mecanizado por molienda química, mecanizado por descarga eléctrica, o mecanizado por láser y cualquier combinación de las mismas, para formar componentes finales seleccionados del grupo que consiste en partes de aeronaves, partes de vehículos, naves espaciales, y troquel de formación. En un aspecto preferido, las partes de aeronave se seleccionan del grupo que consiste en larguero de ala, componentes contruidos de ala y fuselaje, estructuras de soporte, y paneles de paredes para aeronaves. En otro aspecto preferido, el troquel de formación es uno para la producción de productos formados a una temperatura inferior a 100°C. En aún otro aspecto preferido, las partes de vehículos se seleccionan del grupo que consiste en partes automotrices o partes de vagones.

En lo sucesivo, la presente invención se describe posteriormente con detalle.

40 (1) Con respecto a los productos que tienen un espesor que varía de 30 a 360 mm, las aleaciones básicas como se usan en la presente invención comprenden, en base a % en peso, Zn 7,5-8,7, Mg 1,1-2,3, Cu 0,5-1,9, Zr 0,03-0,20, siendo Al el equilibrio, elementos incidentales e impurezas; en donde las concentraciones de Zn, Mg, Cu, y Zr satisfacen la expresión de (a) $10,5 \leq \text{Zn} + \text{Mg} + \text{Cu} \leq 11,0$, (b) $5,3 \leq (\text{Zn} / \text{Mg}) + \text{Cu} \leq 6,0$, y (c) $(0,24 - D / 4.800) \leq \text{Zr} \leq$

(0,24 - D / 5.000), en donde D es la longitud mínima de una sección de línea que conecta dos puntos cualesquiera en la periferia de la sección transversal del lingote moldeado por colada y que pasa a través del centro geométrico de la sección transversal, y $250 \text{ mm} \leq D \leq 1.000 \text{ mm}$.

45 (2) Con respecto a los productos que tienen un espesor de 30 - 360 mm, las aleaciones básicas más preferidas de la presente invención comprenden, en base a % en peso, Zn 7,5-8,4, Mg 1,65-1,8, Cu 0,7-1,5, Zr 0,03-0,20, siendo Al el equilibrio, elementos incidentales e impurezas; en donde las concentraciones de Zn, Mg, Cu, y Zr satisfacen las expresiones de (a) $10,6 \leq \text{Zn} + \text{Mg} + \text{Cu} \leq 10,8$, (b) $5,5 \leq (\text{Zn} / \text{Mg}) + \text{Cu} \leq 5,7$, (c) $(0,24 - D / 4.800) \leq \text{Zr} \leq (0,24 - D / 5.000)$, en donde D es la longitud mínima de una sección de línea que conecta dos puntos cualesquiera en la periferia de la sección transversal del lingote moldeado por colada y que pasa a través del centro geométrico de la sección transversal, y $250 \text{ mm} \leq D \leq 1.000 \text{ mm}$.

55 (3) Las aleaciones de la presente invención no comprenden elementos microaleantes Cr, V, o similares, que se usan comúnmente en aleaciones de aluminio de la serie 7xxx. Además del elemento Zr añadido en las aleaciones de la presente invención y del elemento Ti arrastrado por el refinador de granos a las aleaciones de la presente solicitud durante el procedimiento de moldeo por colada, las aleaciones de la presente invención además pueden comprender elementos microaleantes Mn, Sc, Er, Hf, y similares. Sin embargo, estos elementos microaleantes, introducidos ya sean solos o en combinación, aún necesitan satisfacer la expresión de $(0,24 - D / 4.800) \leq (\text{Zr} + \text{Mn} + \text{Sc} + \text{Er} + \text{Hf}) \leq (0,24 - D / 5.000)$, para asegurar que ninguna o menos cantidad de fase precipitada primaria que

contiene los elementos anteriormente mencionados se forme en el centro de lingote de gran tamaño, el cual se enfría y solidifica a una velocidad relativamente baja, en donde D es la longitud mínima de una sección de línea que conecta dos puntos cualesquiera en la periferia de la sección transversal del lingote moldeado por colada y que pasa a través del centro geométrico de la sección transversal, y $250 \text{ mm} \leq D \leq 1.000 \text{ mm}$.

5 (4) Cuando las aleaciones de la presente invención se usan para la producción de productos deformados y productos moldeados por colada, las concentraciones de impurezas y elementos adicionales arrastrados por el refinar de granos se deben de controlar para satisfacer las siguientes expresiones: Fe $\leq 0,50$ % en peso, Si $\leq 0,50$ % en peso, Ti $\leq 0,10$ % en peso, y otras impurezas o elementos incidentales cada uno $\leq 0,08$ % en peso, total $\leq 0,25$ % en peso; preferiblemente, Fe $\leq 0,12$ % en peso, Si $\leq 0,10$ % en peso, Ti $\leq 0,06$ % en peso, otras impurezas o elementos incidentales cada uno $\leq 0,05$ % en peso, total $\leq 0,15$ % en peso; más preferiblemente, Fe $\leq 0,05$ % en peso, Si $\leq 0,03$ % en peso, Ti $\leq 0,04$ % en peso, otras impurezas o elementos incidentales cada uno $\leq 0,03$ % en peso, total $\leq 0,10$ % en peso;

10 (5) En una realización adicional preferida, para evitar la disminución de estabilidad de la disolución sólida sobresaturada debido una baja velocidad de templado-enfriamiento del centro de productos de gran espesor, el límite superior de la concentración de Cu no es superior a 1,45% en peso si los productos de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx tienen un espesor de hasta 250 mm o superior.

15 (6) En una realización más preferida, para evitar la disminución de estabilidad de la disolución sólida sobresaturada debido una baja velocidad de templado-enfriamiento del centro de productos de gran espesor, el límite superior de la concentración de Cu no es superior a 1,40 % en peso si los productos de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx tienen un espesor de hasta 250 mm o superior.

20 (7) Las aleaciones de la presente invención se pueden conformar en lingotes moldeados por colada por medios de fundición, desgasificación, retirada de inclusión, y colada DC. Se debería especificar que los elementos se deberían de controlar de manera precisa durante la fundición usando Cu, el cual es difícil de quemar como un elemento de centro; y cada elemento aleante se suministra y ajusta rápidamente mediante análisis en línea de la concentración de cada elemento para completar el procedimiento para producir los lingotes moldeados por colada.

25 (8) Las aleaciones de la presente invención también se pueden conformar en lingotes moldeados por colada por medios de fundición, desgasificación, retirada de inclusión, y agitación (agitación electromagnética, agitación de ultrasónica, o agitación mecánica) en el sitio o alrededor del cristizador, para mejorar la forma de la interfase sólido-líquido y reducir la profundidad de cueva de líquido fundido durante el procedimiento de solidificación de las aleaciones, y triturar eficazmente la estructura dendrítica y disminuir la segregación macroscópica y microscópica de los elementos aleantes. Mientras tanto, las inclusiones de óxido en las aleaciones se deberían de controlar dentro del intervalo de concentración como es bien conocido en la técnica.

30 (9) Las aleaciones de la presente invención se pueden homogenizar bajo las siguientes condiciones: tratamiento de homogenización de una sola etapa a una temperatura de 450-480°C durante 12-48 h, tratamiento de homogenización de dos etapas, o incluso multietapa, a una temperatura de 420-490°C durante un total de 12-48 h.

35 (10) Las aleaciones de la presente invención se pueden someter a uno o más procedimientos de deformación en caliente por medios de uno o más procedimientos de procesamiento de deformación seleccionado del grupo que consiste en forjado, enrollado y extrusión, para formar productos con el tamaño deseado. Las aleaciones se pueden precalentar a una temperatura de 380-450°C durante 1-6 h antes de cada procedimiento de deformación en caliente.

40 (11) En una realización adicional preferida, cuando los productos de chapa enrollada realizados a partir de las aleaciones de la presente invención tienen un espesor de hasta 120 mm o superior, es preferible deformar en caliente las aleaciones por medio de forja libre en combinación con enrollado para obtener una estructura suficientemente deformada en el centro de los productos de chapa. Las aleaciones se pueden precalentar a una temperatura de 380-450°C durante 1-6 h antes de cada procedimiento de deformación en caliente.

45 (12) Las aleaciones de la presente invención, se pueden tratar térmicamente en disolución bajo las siguientes condiciones: tratamiento térmico en disolución de una sola etapa una temperatura de 450-480°C durante 1-12 h, o tratamiento de homogenización de dos etapas o multietapa a una temperatura de 420-490°C durante un total de 1-12 h.

50 (13) En una realización adicional preferida, es preferible tratar térmicamente en disolución las aleaciones de la presente invención a una temperatura de 467-475°C durante un tiempo de calentamiento isotérmico eficaz de $t(\text{min}) = 45 (\text{min}) + \frac{d (\text{mm})}{2(\text{mm} / \text{min})}$, en donde d es el espesor (mm) de los productos de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx.

55 (14) Las aleaciones de la presente invención se pueden someter a templado por inmersión en agua o medio refrigerante, o templado por rociado con rodillo, o enfriamiento por aire forzado, estos productos tratados térmicamente en disolución de aleaciones se pueden enfriar rápidamente hasta la temperatura ambiente.

(15) La tensión interna residual de la presente invención se puede eliminar eficazmente por medio del preestiramiento de productos de chapa gruesa/barra seccional o de la precompresión de forjados. La deformación total del preestiramiento o de la precompresión se debe de controlar en el intervalo de 1-5%.

5 (16) Las aleaciones de la presente invención se pueden envejecer para mejorar la resistencia y tenacidad por medio de un procedimiento de envejecimiento de una sola etapa (p. ej., procedimiento de envejecimiento pico T6), o
 10 procedimiento de envejecimiento de dos etapas (p. ej., procedimiento de sobrevejecimiento T7, que incluye los procedimientos T73, T74, T76, y T79, etc.). Especialmente, si se usa el procedimiento de envejecimiento pico T6, el tratamiento de envejecimiento se puede llevar a cabo a una temperatura de 90-138°C durante 1-48h, preferiblemente a una temperatura de 100-135°C durante 1-48 h, y más preferiblemente a una temperatura de 110-
 15 125°C durante 8-36 h. Si se usa el procedimiento de sobrevejecimiento T7, el tratamiento de envejecimiento de la primera etapa se puede llevar a cabo a una temperatura de 105-125°C durante 1-24 h, y el tratamiento de envejecimiento de la segunda etapa se puede llevar a cabo a una temperatura de 150-170 durante 1-36 h; preferiblemente, la primera etapa se lleva a cabo a una temperatura de 108-120°C durante 5-20 h, y la segunda etapa se lleva a cabo a una temperatura de 153-165 durante 5-30 h; y más preferiblemente, la primera etapa se lleva a cabo a una temperatura de 110-115°C durante 6-15 h, y la segunda etapa se lleva a cabo a una temperatura de 155-160°C durante 6-24 h.

20 (17) Las aleaciones de la presente invención se pueden tratar térmicamente para mejorar la resistencia y la tenacidad por medio del procedimiento de tres etapas. Especialmente, el tratamiento de envejecimiento de la primera etapa se puede llevar a cabo a una temperatura de 105-125°C durante 1-24 h, la segunda etapa se puede llevar a cabo a una temperatura de 170-200°C durante 0,5-8 h, y la tercera etapa se puede llevar a cabo a una temperatura de 105-125°C durante 1-36 h.

25 (18) Cuando se producen productos moldeados, las aleaciones de la presente invención se pueden conformar en lingotes moldeados por colada mediante fundición, desgasificación, retirada de inclusión, y moldeo por colada (moldeo en arena, moldeo a presión, o moldeo a abaja presión con o sin agitación mecánica). Se debe especificar que los elementos deben de controlarse de manera precisa durante la fundición usando Cu, el cual es difícil de quemar como un elemento de centro; y cada elemento aleante se suministra y ajusta rápidamente mediante análisis en línea de la concentración de cada elemento para completar el procedimiento para producir los lingotes moldeados por colada.

30 (19) Cuando se producen productos moldeados por colada, las aleaciones de la presente invención se pueden conformar en lingotes moldeados por colada mediante fundición, desgasificación, retirada de inclusión, y agitación para formar blancos que tienen característica de tejido semi-sólido, que se recalientan y someten a procedimiento adicional de moldeo a baja presión para completar la producción de lingotes moldeados por colada, en donde los elementos se controlan de manera precisa durante la fundición usando Cu el cual es difícil de quemar como un elemento de centro; y cada elemento aleante es suministrado y ajustado rápidamente por un análisis en línea de la concentración de cada elemento para completar el procedimiento para producir los lingotes moldeados por colada;

(20) Productos moldeados por colada realizados a partir de las aleaciones de la presente invención se pueden tratar térmicamente en disolución bajo las siguientes condiciones: tratamiento térmico en disolución de una sola etapa a una temperatura de 450-480°C durante 1-48 h, o tratamiento térmico en disolución de dos etapas, o multietapa, a una temperatura de 420-490°C durante un total de 1-48 h.

40 (21) Las aleaciones de la presente invención se pueden someter a un tratamiento de envejecimiento para impartir dureza y tenacidad por medio de un procedimiento de envejecimiento pico T6 o procedimiento de sobrevejecimiento T7, que incluye los procedimientos T73, T74, T76, T79, o similares. Especialmente, si se usa el procedimiento de envejecimiento pico T6, el tratamiento de envejecimiento se puede llevar a cabo a una temperatura de 90-138°C durante 1-48 h, preferiblemente a una temperatura de 100-135°C durante 1-48 h, y más preferiblemente a una temperatura de 110-125°C durante 8-36 h. Si se usa el procedimiento de sobrevejecimiento T7, el procedimiento de la primera etapa se puede llevar a cabo a una temperatura de 105-125°C durante 1-24h, y la segunda etapa se puede llevar a cabo a 150-170°C durante 1-36 h; preferiblemente, la primera etapa se lleva a cabo a 108-120°C durante 5-20h, y la segunda etapa se lleva a cabo a 153-165°C durante 5-30 h; y más preferiblemente, la primera etapa se lleva a cabo a 110-115°C durante 6-15 h, y la segunda etapa se lleva a cabo a 155-160°C durante 6-24 h.

(22) Las aleaciones de la presente invención se pueden envejecer para mejorar la resistencia y la tenacidad por medio de un procedimiento de envejecimiento de tres etapas. Especialmente, el tratamiento de envejecimiento de la primera etapa se puede llevar a cabo a una temperatura de 105-125°C durante 1-24 h, la segunda etapa se puede llevar a cabo a 170-200°C durante 0,5-8 h, y la tercera etapa se puede llevar a cabo a 105-125°C durante 1-36 h.

55 La presente invención proporciona los siguientes beneficios:

La presente invención permite obtener productos de gran espesor realizados a partir de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx, para que tengan una combinación superior de resistencia y tolerancia al daño, al tiempo que permite que los productos de aleaciones tengan un rendimiento más homogéneo y consistente sobre la superficie, a diversas

profundidades bajo la superficie, y en el centro de los productos. Aunque la presente invención se usa típicamente para productos forjados y productos de chapa enrollada de gran espesor para producir los principales componentes estructurales aeroespaciales de soporte que tienen una gran sección, también se puede adaptar para productos extruidos o de colada que presentan un gran espesor de forma generalizada o localizada.

5 Breve descripción de los dibujos

La Figura 1, muestra un diagrama esquemático de la curva templado-enfriamiento del producto de gran espesor realizado a partir de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx;

La Figura 2, muestra un diagrama esquemático de dimensión y distribución de la segunda fase formada por descomposición de la disolución sólida sobresaturada de aleaciones, durante el procedimiento del templado de producto de gran espesor realizado a partir de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx;

La Figura 3, muestra fotografías TEM que indican la precipitación preferencial de la fase precipitada por templado en el sitio de la segunda fase en una relación dispar con respecto a la red cristalina de la matriz, durante el templado del producto de gran espesor realizado a partir de aleaciones de aluminio de la serie 7xxx;

La Figura 4, es un diagrama esquemático que indica los juegos de paquete de producto de forja libre de pequeño tamaño de laboratorio.

La Figura 5, es un diagrama esquemático que indica el procedimiento de muestreo de la muestra de ensayo de extremo templado de Jominy.

La Figura 6, muestra un diagrama esquemático de un dispositivo de ensayo para el ensayo de extremo templado de Jominy.

La Figura 7, muestra un gráfico que indica la conductividad en diversos sitios de las muestras frente a las distancias desde el extremo templado después del ensayo de extremo templado;

La Figura 8, muestra fotografías TEM en el sitio de 1/4 de espesor y en el centro de un forjado industrial que tiene un espesor de 220 mm después del templado, en donde la de la izquierda es una fotografía TEM en el sitio de 1/4 de espesor, y la de la derecha es una fotografía TEM del centro; y

La Figura 9, compara la combinación de propiedades TYS- K_{1c} de las aleaciones de la presente invención con otras aleaciones de referencia.

Descripción detallada de la invención

Ejemplo 1

Para probar el concepto de la presente invención, se prepararon aleaciones a escala de laboratorio. La composición de las aleaciones se muestra en Tabla 1. Se prepararon lingotes redondos con un diámetro de 270 mm por medio de procedimientos bien conocidos que incluyen fundición, desgasificación, retirada de inclusión, y colada DC. Los lingotes resultantes se homogenizaron bajo las condiciones de $(465\pm 5^\circ\text{C}/18\text{h})+(475\pm 3^\circ\text{C}/18\text{h})$, y posteriormente se enfriaron con aire lentamente. Los lingotes enfriados se pelaron y aserraron para formar blancos moldeados por colada de $\Phi 250 \times 600$ mm. Los blancos moldeados por colada se precalentaron a $420\pm 10^\circ\text{C}$ durante 4 h, y posteriormente se sometieron una forja completa tres veces en una máquina de forja libre. Finalmente, se prepararon productos de forja libre cúbicos con unas dimensiones de 445 mm (longitud) x 300 mm (anchura) x 220 mm (espesor). Para simular las condiciones industriales prácticas del templado-enfriamiento de productos forjados de gran tamaño, y gran espesor, estos productos de forja libre cúbicos se empaquetaron, como se muestra en la Figura 4, de tal modo que la velocidad de conducción de calor entre los productos de aleaciones y el ambiente, fuera controlada eficazmente a través de la selección de los materiales de empaquetado con diferentes coeficientes de conducción de calor y la presencia de interfases entre los juegos de paquete y los productos de aleaciones, y por lo tanto las condiciones de templado-enfriamiento de productos forjados de gran tamaño y gran espesor se simularon lo antes posible. Todos estos productos de aleaciones se sometieron a tratamiento térmico en disolución, y templado por inmersión en agua a temperatura ambiente. Posteriormente, los productos de aleaciones se sometieron a tratamiento de envejecimiento para mejorar la resistencia y la tenacidad por el procedimiento T74. Según los patrones de ensayo correlativos, las aleaciones se midieron para determinar la resistencia a la tracción (UTS), límite de resistencia a la tracción (TYS), alargamiento (EL), tenacidad a la fractura K_{1c} , craqueo por corrosión bajo tensión (SCC), y la propiedad de corrosión por exfoliación (EXCO), etc. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1. Composición de los lingotes de aleaciones preparados en el laboratorio

50

ES 2 586 407 T3

Nº	Aleaciones de la invención (SI/NO)	Zn (% en peso)	Mg (% en peso)	Cu (% en peso)	Zr (% en peso)	Concentración de las principales impurezas (% en peso)
1	SI	7,51	1,79	1,49	0,12	Fe=0,05, Si=0,03, Ti=0,02
2	SI	7,61	1,79	1,40	0,12	Fe=0,05, Si=0,03, Ti=0,02
3	SI	7,90	1,72	1,03	0,12	Fe=0,05, Si=0,03, Ti=0,02
4	SI	8,28	1,71	0,81	0,12	Fe=0,05, Si=0,03, Ti=0,02
5	SI	8,39	1,70	0,70	0,12	Fe=0,05, Si=0,03, Ti=0,02
6	SI	8,25	1,65	0,70	0,12	Fe=0,05, Si=0,03, Ti=0,02
7	NO	7,20	1,71	1,29	0,12	Fe=0,05, Si=0,03, Ti=0,02
8	NO	8,40	1,98	1,29	0,12	Fe=0,05, Si=0,03, Ti=0,02
9	NO	8,19	1,50	1,08	0,12	Fe=0,05, Si=0,03, Ti=0,02
10	NO	6,37	2,28	2,21	0,12	Fe=0,15, Si=0,03, Ti=0,03
11	NO	6,59	2,31	2,19	0,12	Fe=0,09, Si=0,05, Ti=0,03
12	NO	8,03	2,07	2,31	0,12	Fe=0,08, Si=0,05, Ti=0,03
13	NO	7,41	1,49	1,62	0,12	Fe=0,06, Si=0,05, Ti=0,03
14	NO	7,52	1,79	1,48	0,12	Fe=0,05, Si=0,03, Ti=0,02

[Observación] 1: Considerando que en la producción industrial práctica, los productos forjados que tienen un espesor de 220 mm se produjeron generalmente usando lingotes redondos que tienen un mayor diámetro de 580-600 mm, la concentración de Zr se seleccionó razonablemente como 0,12% en peso.

- 5 [Observación] 2: las aleaciones n^{os} 10, 11, 12, y 13 tenían una composición similar a las de las aleaciones AA7050, AA7150, AA7055, y AA7085, respectivamente; la aleación n^o 7: (Zn+Mg+Cu)=10,20; la aleación n^o 8: (Zn+Mg+Cu)=11,67; la aleación n^o 9: (Zn/Mg)+Cu=6,54; la aleación n^o 14: Zr > (0,24-D/5.000).

Tabla 2: Propiedades de forjados de gran espesor preparados en el laboratorio (Condiciones T74)

Nº	Sitios de muestreo	L			L-T	ST			S-T	Resistencia SCC día(s) ≥	EXCO
		UTS MPa	TYS MPa	EL %	K _{IC} MPa·m ^{1/2}	UTS MPa	TYS MPa		K _{IC} MPa·m ^{1/2}		
1	d/15	536	513	13,8		520	501	8,5		30	
	d/4	521	500	14,2		510	492	8,1		30	
	d/2	520	502	14,3	41,1	508	490	9,2	27,1	30	EA
2	d/15	532	511	13,6		518	503	8,7		30	
	d/4	522	502	14,1		508	494	8,3		30	
	d/2	517	500	14,2	40,3	506	491	8,9	27,3	30	EA
3	d/15	537	516	13,3		522	505	8,6		30	
	d/4	523	505	14,1		513	494	8,1		30	
	d/2	519	503	14,3	40,8	504	490	8,9	26,9	30	EA

ES 2 586 407 T3

N°	Sitios de muestreo	L			L-T	ST			S-T	Resistencia SCC \geq día(s)	EXCO
		UTS MPa	TYS MPa	EL %	K _{IC} MPa·m ^{1/2}	UTS MPa	TYS MPa		K _{IC} MPa·m ^{1/2}		
4	d/15	538	516	13,3		518	503	8,7		30	
	d/4	526	505	13,7		507	491	8,3		30	
	d/2	523	507	14,5	41,3	505	493	8,6	26,8	30	EB
5	d/15	530	512	13,1		516	498	8,9		30	
	d/4	525	510	14,1		503	492	8,5		30	
	d/2	522	504	14,0	40,7	506	495	8,4	27,2	30	EB
6	d/15	528	514	13,3		514	496	8,6		30	
	d/4	521	510	13,7		502	492	8,7		30	
	d/2	519	506	14,0	40,2	503	496	8,8	26,2	30	EB
7	d/15	500	476	13,6						30	
	d/4	487	465	13,4						30	
	d/2	483	464	13,3	41,5					30	EA
8	d/15	550	528	11,3						30	
	d/4	516	492	11,5						30	
	d/2	510	488	11,7	34,4					30	EB
9	d/15	517	502	10,8						30	
	d/4	508	488	10,3						30	
	d/2	505	482	9,6	34,2					30	EB
10	d/15	540	515	11,8						30	
	d/4	493	462	9,2						30	
	d/2	471	434	8,8	27,8					30	EB
11	d/15	545	519	12,6						30	
	d/4	510	472	11,7						30	
	d/2	487	450	10,6	30,1					30	EB
12	d/15	565	540	9,2						30	
	d/4	493	481	8,2						30	
	d/2	466	443	7,7	26,4					30	EB
13	d/15	515	502	12,3						30	
	d/4	500	481	12,9						30	
	d/2	497	473	13,0	37,6					30	EA
14	d/15	531	519	13,1						30	
	d/4	511	492	12,3						30	
	d/2	500	490	12,6	36,6					30	EA

[Observación]: la resistencia SCC se midió bajo las siguientes condiciones: las muestras se cargaron en una disolución de NaCl al 3,5% en peso, y la carga se ajustó como 75% TYS.

En la Tabla 2, se puede observar que todos los productos de aleaciones n^{os} 1, 2, 3, 4, 5 y 6 presentaron las denominadas "combinación superior de diversas propiedades" y "baja sensibilidad al templado"; las aleaciones presentaron buena resistencia SCC y resistencia EXCO (no menor que EB); y pudieron mantener un alargamiento del 13% o superior y la tenacidad a la fractura de 40MPa·m^{1/2} o superior (L-T) cuando la resistencia a la fluencia en la dirección L no fue menor que 500Mpa, y mantener el alargamiento de 8% o superior y la tenacidad a la fractura de 26MPa·m^{1/2} o superior (S-T) cuando la resistencia a la fluencia en la dirección L no fue menor que 500Mpa, cuando la resistencia a la fluencia en la dirección S-T no fue menor que 490Mpa. Desde la subsuperficie (a una profundidad de d/15, donde la velocidad de templado-enfriamiento fue relativamente alta) al centro (a una profundidad de d/2, donde la velocidad de templado-enfriamiento fue relativamente baja) del producto, los productos de aleaciones n^{os} 4, 5 y 6, presentaron un menor cambio de resistencia a la fluencia en comparación con los productos de aleaciones n^{os} 1, 2 y 3, lo que indica que las aleaciones que tienen una menor concentración de Cu se adaptaron más para la fabricación de algunos productos que tienen un espesor extremadamente grande (p. ej., los que tienen un espesor de 300 mm o superior); por otra parte, debe señalarse que cuando disminuyó la concentración de Cu de las aleaciones, la propiedad EXCO cayó desde la calidad EA de aleaciones n^{os} 1, 2 y 3 hasta la calidad EB de las aleaciones n^{os} 4, 5 y 6.

También, se puede observar en la Tabla 2 que las aleaciones n^{os} 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13 y 14 tuvieron una concentración de Cu relativamente menor y presentaron un cambio de resistencia a la fluencia menor que 6% desde la subsuperficie al centro del producto, cuando las concentraciones de Zn y Mg estaban en cierto intervalo, lo que representa una característica relativamente buena de "baja sensibilidad al templado"; mientras que las aleaciones n^{os} 10, 11 y 12 tuvieron una concentración de Cu relativamente alta ($\geq 2,1\%$ en peso) y presentaron un cambio de resistencia a la fluencia de más del 13%, incluso hasta cerca del 18% desde la subsuperficie hasta el centro del producto, lo que representa una característica de "alta sensibilidad al templado". Sin embargo, también debe señalarse que la aleación n^o 7 tuvo una concentración total relativamente baja de los principales elementos aleantes Zn, Mg, y Cu, que presentó una excelente tenacidad a la fractura, pero una disminución relativamente notable de la resistencia; la aleación n^o 8 tuvo una concentración total relativamente alta de los principales elementos aleantes Zn, Mg, y Cu, que presentó una buena resistencia, pero una disminución relativamente notable de la tenacidad a la fractura; la aleación n^o 9 proporcionó un resultado de ensayo que indica que una relación extremadamente alta de Zn/Mg no puede mejorar más la resistencia de la aleación, sino que da como resultado una disminución de la tenacidad a la fractura de la aleación; la aleación n^o 13 tuvo una mayor concentración de Cu y una menor concentración de Mg en comparación con las aleaciones n^{os} 1, 2, 3, 4, 5 y 6 y % en peso de Cu \geq % en peso de Mg, y se puede ver que desde la subsuperficie hasta el centro del producto, aumentó el cambio de resistencia a la fluencia y disminuyó la tenacidad a la fractura; y la aleación n^o 14 proporcionó un resultado de ensayo que indica que una adición Zr excesiva causaría un aumento del cambio de la resistencia a la fluencia y una disminución de la tenacidad a la fractura desde la subsuperficie hasta el centro del producto.

Ejemplo 2

Se cortaron los productos de forja libre cúbicos de las aleaciones n^{os} 1 y 10 preparados en el Ejemplo 1, a lo largo de la dirección de la altura, en barras redondas a unas dimensiones de $\Phi 60 \times 220$ mm mediante un procedimiento de electroerosión, como se muestra en la Figura 5. Las barras redondas se sometieron al ensayo de extremo templado de Jominy.

El ensayo de extremo templado fue un método convencional para estudiar la sensibilidad al templado de los materiales. Los equipos de ensayo se muestran en Figura 6 y se describen más adelante. Un depósito de cabecera 1, que contenía agua de grifo 2, a 20°C, y una tubería de agua 3, se conectó a la parte inferior del depósito de cabecera 1. La salida de la tubería de agua 3, alineada con la parte inferior de una muestra similar a una barra 4, para el templado de extremo, y la superficie circunferencial de la barra redonda se rellenó con materiales termoaislantes 5, para reducir la interferencia de factores externos. Una superficie del extremo de la muestra similar a una barra para la muestra de ensayo de extremo templado 4, se sometió a templado por rociado libre durante aproximadamente 10 min, y el parámetro de (H-H_i) como se muestra en la Figura 6 representa la altura del almacenamiento de agua en el depósito de cabecera 1.

Como se muestra en la Figura 7, la curva marcada con -▲- representa la conductividad eléctrica frente a la distancia desde el extremo templado después del ensayo de extremo templado de la aleación n^o 1; y la curva marcada con --●-- representa la conductividad eléctrica frente a la distancia desde el extremo templado después del ensayo de extremo templado de la aleación n^o 10.

Es bien conocido que la conductividad eléctrica de las aleaciones está asociada con el grado de sobresaturación de la matriz de las aleaciones obtenido durante el procedimiento de templado. En particular, cuanto mayor sea el grado de sobresaturación de la matriz de las aleaciones, cuanto mayor sea la distorsión de la red, menor será la conductividad eléctrica de las aleaciones, puesto que la red cristalina presenta una mayor barrera a la dispersión libre de electrones; en cambio, cuanto menor sea el grado de sobresaturación de la matriz de las aleaciones, cuanto menor sea la distorsión de la red, mayor será la conductividad eléctrica de las aleaciones.

5 Como se muestra en la Figura 7, con la disminución de la distancia desde el extremo templado, la velocidad de templado-enfriamiento disminuyó de manera continua - la conductividad eléctrica de la aleación nº 1 permaneció casi inalterada (el grado de sobresaturación de la matriz de las aleaciones permaneció sustancialmente sin cambios), ilustrando que la disolución sólida sobresaturada a lo largo de los productos de aleaciones casi no se descompuso, y presentó una baja sensibilidad al templado; mientras que la conductividad eléctrica de la aleación nº 10 aumentó sustancialmente (la sobresaturación de la matriz de las aleaciones disminuyó de manera continua), indicando que con la disminución continua de la velocidad de templado-enfriamiento, la disolución sólida sobresaturada de las aleaciones se descompuso de manera sustancial, y presentó una sensibilidad al templado relativamente alta.

Ejemplo 3

10 Se llevó a cabo un ensayo industrial por medio de procedimientos bien conocidos que incluyen la fundición, desgasificación, retirada de inclusión, y colada DC, para producir un lote de lingotes moldeados por colada redondos con un diámetro de 630 mm, y la composición de los lingotes se muestran en la Tabla 3. Los lingotes moldeados por colada se homogenizaron bajo las condiciones de (465±5°C/24h)+(475±3°C/24h), y posteriormente se enfriaron al aire lentamente. Los lingotes enfriados se pelaron y aserraron para formar blancos de Φ600 x 1.800 mm.

15 Tabla 3. Composiciones de las aleaciones preparadas en ensayo industrial

Aleaciones de la presente invención (SI/NO)	Zn (% en peso)	Mg (% en peso)	Cu (% en peso)	Zr (% en peso)	Concentración de las principales impurezas (% en peso)
SI	7,63	1,79	1,38	0,11	Fe=0,06, Si=0,05, Ti=0,023

20 Se precalentó un blanco a 420±10°C, y posteriormente se sometió a una forja completa tres veces en una máquina de forja libre. Finalmente, se preparó un producto de forja libre cúbico con unas dimensiones de 2.310 mm (longitud) x 1.000 mm (anchura) x 220 mm (espesor). El producto de forja libre se sometió a un tratamiento térmico en disolución, y se templó por inmersión en agua a temperatura ambiente. Posteriormente, el producto se sometió a una precompresión en frío con una deformación total de 1-3% para eliminar la tensión residual. El producto de aleación se sometió a un tratamiento de envejecimiento, para mejorar la resistencia y la tenacidad por los procedimientos T76 o T74. Según los patrones de ensayo correlativos, la aleación se midió para determinar las propiedades de resistencia, alargamiento, tenacidad a la fractura, resistencia al craqueo por corrosión bajo tensión, y resistencia a la corrosión por exfoliación, etc. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

25 Tabla 4. Propiedades de forjado industrial con un espesor de 220 mm

Condiciones de tratamiento térmico	Sitios de muestreo	L			L-T	ST			ST	Resistencia SCC ≥ días	EXCO
		UTS MPa	TYS MPa	EL %	K _{IC} MPa·m ^{1/2}	UTS MPa	TYS MPa	EL %	K _{IC} MPa·m ^{1/2}		
T76	d/15	523	506	14,6							
	d/4	509	487	14,7							
	d/2	510	490	15,0	37,2	505	485	6,0	23,0	30	EA
T74	d/15	510	472	16,5							
	d/4	501	463	16,0							
	d/2	495	455	15,8	41,1	495	425	6,7	24,2	30	EA

[Observación]: La resistencia SCC se midió bajo las siguientes condiciones: las muestras se cargaron en una disolución de NaCl al 3,5% en peso, y la carga se ajustó como 75% TYS.

30 En la Tabla 4 se puede observar que los productos de forja de gran espesor (220 mm) preparados a partir de las aleaciones de la presente invención presentan las denominadas "combinación superior de diversas propiedades" y "baja sensibilidad al templado". Por ejemplo, los productos de aleaciones, ya sea bajo las condiciones T76 o bajo las condiciones T74, presentaron buenas propiedades de resistencia SCC y de resistencia a la corrosión por exfoliación, al tiempo que la resistencia a la fluencia en la dirección L presentó un cambio inferior a 4% desde la subsuperficie hasta el centro de los productos. Bajo las condiciones T76, cuando la resistencia a la fluencia en la dirección L no fue inferior a 490 MPa, las aleaciones pudieron mantener el alargamiento por encima del 14% y la tenacidad a la

5 fractura por encima de $37\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ (L-T); y cuando la resistencia a la fluencia en la dirección S-T no fue inferior a 480 MPa, las aleaciones pudieron mantener el alargamiento por encima del 6% y la tenacidad a la fractura por encima de $23\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ (S-T). Bajo las condiciones T74, cuando la resistencia a la fluencia en la dirección L no fue inferior a 450 MPa, las aleaciones pudieron mantener el alargamiento en 15% o superior y la tenacidad a la fractura en $41\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ o superior (L-T); y cuando la resistencia a la fluencia en la dirección S-T no fue inferior a 420 MPa, las aleaciones pudieron mantener el alargamiento en 6% o superior y la tenacidad a la fractura en $24\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ o superior (S-T). Ajustando las condiciones de tratamiento térmico de la aleación, se pueden obtener más y mejores combinaciones globales de diversas propiedades.

10 La Figura 8 muestra las fotografías TEM a una profundidad de 1/4 y en el centro de los productos que tienen un espesor de 220 mm realizadas a partir de las aleaciones de la presente invención después del templado. Se puede observar que a una profundidad de 1/4 del producto forjado, no se observó ninguna fase precipitada por templado visible dentro de la matriz y en los límites del grano; e incluso en el centro del producto forjado donde la velocidad de templado-enfriamiento es menor, no se observó ninguna fase precipitada observable presente dentro de la matriz, sino que tan solo se encontró una pequeña cantidad de fase η fina similar a una lámina en los límites del grano. Los resultados anteriormente identificados demuestran, en la microestructura, que las aleaciones de la presente invención tienen baja sensibilidad al templado.

Ejemplo 4

20 Se llevó a cabo otro ensayo industrial por medio de procedimientos bien conocidos que incluyen la fundición, desgasificación, retirada de inclusión, y colada DC, para producir un lote de lingotes moldeados por colada redondos con un diámetro de 980 mm. La composición de los lingotes se muestra en la Tabla 5. Los lingotes se homogenizaron bajo las condiciones de $(465\pm 5^\circ\text{C}/24\text{h})+(475\pm 3^\circ\text{C}/24\text{h})$, y posteriormente se enfriaron al aire lentamente. Los lingotes enfriados se pelaron y aserraron para formar blancos de $\Phi 950 \times 1.500$ mm.

Tabla 5 Composición de las aleaciones preparadas en un ensayo industrial posterior

Aleaciones de la presente invención (SI/NO)	Zn (% en peso)	Mg (% en peso)	Cu (% en peso)	Zr (% en peso)	Concentración de las principales impurezas (% en peso)
SI	7,60	1,78	1,39	0,04	Fe=0,04, Si=0,06, Ti=0,02

25 Se precalentó un blanco a $420\pm 10^\circ\text{C}$ durante 6 h, y posteriormente se sometió a una forja completa tres veces en una máquina de forja libre para formar un producto de forja libre cúbico con unas dimensiones de 2.950 mm (longitud) x 1.000 mm (anchura) x 360 mm (espesor). El producto de forja libre se sometió a un tratamiento térmico en disolución, y se templó por inmersión en agua a temperatura ambiente. Posteriormente, el producto se sometió a una precompresión en frío con una deformación total de 1-3% para eliminar la tensión residual. El producto de aleación se sometió a un tratamiento de envejecimiento, para mejorar la resistencia y la tenacidad por el procedimiento T74. Según los patrones de ensayo correlativos, la aleación se midió para determinar las propiedades de resistencia, alargamiento, tenacidad a la fractura, resistencia al craqueo por corrosión bajo tensión, y resistencia a la corrosión por exfoliación. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6 Propiedades de productos industriales forjados con un espesor de 360 mm

Condiciones de tratamiento térmico	Sitio de muestreo	L			L-T	ST			S-T	Resistencia SCC \geq días	EXCO
		UTS MPa	TYS MPa	EL %	K_{IC} $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$	UTS MPa	TYS MPa	EL %	K_{IC} $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$		
T74	d/15	505	474	13,6							
	d/4	497	463	14,1							
	d/2	483	452	14,6	37,4	482	427	6,5	24,1	30	EA

35 [Observación]: La resistencia SCC se midió bajo las siguientes condiciones: las muestras se cargaron en una disolución de NaCl al 3,5% en peso, y la carga se ajustó como 75% TYS.

40 En la Tabla 6 se puede observar que los productos de forja de un espesor extremadamente grande (360 mm) preparados a partir de las aleaciones de la presente invención poseen las denominadas "combinación superior de diversas propiedades" y "baja sensibilidad al templado". Por ejemplo, bajo las condiciones T74, los productos de aleaciones presentaron buenas propiedades de resistencia SCC y de resistencia a la corrosión por exfoliación, al

5 tiempo que la resistencia a la fluencia en la dirección L de la aleación presentó un cambio inferior a 6% desde la subsuperficie hasta el centro del producto. Cuando la resistencia a la fluencia en la dirección L no fue inferior a 450 MPa, la aleación pudo mantener el alargamiento por encima del 13% y la tenacidad a la fractura por encima de 37 MPa·m^{1/2} (L-T); y cuando la resistencia a la fluencia en la dirección S-T no fue inferior a 420 MPa, la aleación pudo mantener el alargamiento por encima del 6% y la tenacidad a la fractura por encima de 24 MPa·m^{1/2} (S-T). Ajustando las condiciones de tratamiento térmico de la aleación, se pueden obtener más y mejores combinaciones globales de diversas propiedades.

Ejemplo 5

10 Un blanco preparado según el Ejemplo 4, se precalentó a 420±10°C durante 6 h, y posteriormente se sometió a una forja completa tres veces en una máquina de forja libre para formar un producto de forja libre cúbico con unas dimensiones de 2.950 mm (longitud) x 1.000 mm (anchura) x 360 mm (espesor). Posteriormente, el producto de forja libre se precalentó a 410±10°C durante 3 h, y luego se sometió a enrollado en caliente para formar un producto de chapa de 6.980 mm (longitud) x 1.000 mm (anchura) x 152 mm (espesor). La chapa gruesa se sometió a un tratamiento térmico en disolución, y se enfrió por medio de templado por rociado con agua a temperatura ambiente.

15 Posteriormente, la placa se sometió a un preestiramiento en frío con una deformación total de 1-3% para eliminar la tensión residual. El producto de aleación se sometió a un tratamiento de envejecimiento, para mejorar la resistencia y la tenacidad por los procedimientos T76, T74, o T73. Según los patrones de ensayo correlativos, la aleación se midió para determinar las propiedades de resistencia, alargamiento, tenacidad a la fractura, resistencia al craqueo por corrosión bajo tensión, y resistencia a la corrosión por exfoliación. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

20 Tabla 7 Propiedades de chapa industrial de 152 mm (espesor)

Condiciones de tratamiento térmico	Sitios de muestreo	L			L-T	Resistencia SCC ≥ días	EXCO
		UTS MPa	TYS MPa	EL %	K _{IC} MPa·m ^{1/2}		
T76	d/15	540	515	12,8			
	d/4	531	506	12,1			
	d/2	528	502	11,1	39,4	30	EA
T74	d/15	515	485	13,5			
	d/4	505	474	13,1			
	d/2	503	471	13,4	42,7	30	EA
T73	d/15	495	461	14,3			
	d/4	487	453	13,7			
	d/2	485	449	14,1	45,2	30	EA

[Observación]: La resistencia SCC se midió bajo las siguientes condiciones: las muestras se cargaron en una disolución de NaCl al 3,5% en peso, y la carga se ajustó como 75% TYS.

25 La Figura 9, compara la combinación de propiedades TYS-K_{IC} de la placa con un espesor de 152 mm de la presente invención, con los resultados como se muestra en la Figura 2 y Tabla 5 de CN1780926A, y los resultados como se muestra en la Tabla 3 de CN1489637A, ambos de los cuales se incorporan en su totalidad en la presente invención como referencia. La solicitud de patente china anteriormente identificada que ha sido publicada, proporcionó ejemplos (Ejemplo 3, Ejemplo 1). Aunque la composición de las dos aleaciones anteriormente mencionadas fue diferente a las de la presente invención, los supuestos objetos de las mismas fueron optimizar la composición y

30 ajustar las proporciones de las aleaciones para disminuir la sensibilidad al templado de los materiales de aleaciones. En comparación, se ha encontrado que las aleaciones de la presente invención tenían una combinación de propiedades TYS-K_{IC} similares a las de las dos referencias anteriormente mencionadas, pero presentaron mejores propiedades de alargamiento y combinación de las tres propiedades TYS-EL-K_{IC}. La Figura 9, además proporcionó los datos de propiedad reprobables de los productos gruesos realizados a partir de aleaciones AA7050/7010 (véase, AIMS03-02-022, Diciembre, 2001), aleaciones AA7050/7040 (véase, AIMS03-02-019, Septiembre, 2001), y aleaciones AA7085 (véase, AIMS03-02-25, Septiembre, 2002) (típicamente, las propiedades mínimas garantizadas).

Ejemplo 6

5 Se llevó a cabo un ensayo industrial para la producción de productos de chapa de espesor medio, mediante procedimientos bien conocidos que incluyen la fundición, desgasificación, retirada de inclusión, y colada DC, para producir un lote de lingotes planos con unas dimensiones de 1.100 mm (anchura) x 270 mm (espesor). La composición de los lingotes moldeados por colada se muestra en la Figura 8. Los lingotes moldeados por colada se homogenizaron bajo las condiciones de $(465\pm 5^{\circ}\text{C}/24\text{h})+(475\pm 3^{\circ}\text{C}/24\text{h})$, y posteriormente se enfriaron al aire lentamente. Los lingotes enfriados se sometieron a molienda y aserrado de superficie para formar blancos cúbicos con unas dimensiones de 1.500 mm (longitud) x 1.100 mm (anchura) x 250 mm (espesor).

Tabla 8 Composición de chapas industriales de espesor medio

Aleaciones de la presente invención (SI/NO)	Zn (% en peso)	Mg (% en peso)	Cu (% en peso)	Zr (% en peso)	Concentración de las principales impurezas (% en peso)
SI	7,52	1,78	1,47	0,19	Fe=0,06, Si=0,05, Ti=0,02

10 Se precalentó un blanco a $420\pm 10^{\circ}\text{C}$ durante 4 h, y posteriormente se sometió a enrollado en caliente para formar un producto de chapa de espesor medio con unas dimensiones de 12.500 mm (longitud) x 1.000 mm (anchura) x 30 mm (espesor). El producto de chapa de espesor medio se sometió a un tratamiento térmico en disolución, y se enfrió por medio de templado por rociado con agua a temperatura ambiente. Posteriormente, la placa se sometió a un preestiramiento en frío con una deformación total de 1-3% para eliminar la tensión residual.

15 El producto de aleación se sometió a un tratamiento de envejecimiento, para mejorar la resistencia y la tenacidad por los procedimientos T76, T74, o T77. Según los patrones de ensayo correlativos, la aleación se midió para determinar las propiedades de resistencia, alargamiento, tenacidad a la fractura, resistencia al craqueo por corrosión bajo tensión, y resistencia a la corrosión por exfoliación. Los resultados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 9. Propiedades de chapas industriales de espesor medio

Condiciones de tratamiento térmico	L			L-T	Conductividad MS/m	EXCO
	UTS MPa	TYS MPa	EL %	K_{IC} MPa·m ^{1/2}		
T74	530	505	18,0	80	24,1	EA
T76	560	535	18,7	74	23,3	EA
T77	575	555	16,7	67	23,1	EA

20 [Observación]: La propiedad K_{IC} se usó únicamente como referencia porque el requisito de $P_{max}/P_Q \leq 1,1$ no se satisfizo, y las grietas por fatiga bajo tensión prefabricada presentaron un fenómeno de expansión inestable.

25 En la Tabla 9 se puede observar que, en comparación con los resultados como se muestran en la Tabla 6 del Ejemplo 4 de CN 1780926A (las partes relacionadas con la chapa que tiene un espesor de 30 mm), las aleaciones de la presente invención presentaron una mejor combinación de las tres propiedades TYS-EL- K_{IC} , es decir, cuando la resistencia a la fluencia fue similar, las aleaciones de la presente invención presentaron propiedades notablemente mejoradas de alargamiento y de tenacidad a la fractura.

REIVINDICACIONES

5 1. Un producto de aleación de aluminio adaptado para fabricar componentes estructurales, realizado a partir de lingotes moldeados por colada directa (DC), consistiendo dicha aleación en un porcentaje en peso (% en peso), de Zn 7,5-8,7, Mg 1,1-2,3, Cu 0,5-1,9, Zr 0,03-0,20, siendo Al el equilibrio, elementos incidentales e impurezas, en donde las concentraciones de Zn, Mg, Cu, y Zr satisfacen las expresiones de:

(a) $10,5 \leq \text{Zn} + \text{Mg} + \text{Cu} \leq 11,0$;

(b) $5,3 \leq (\text{Zn} / \text{Mg}) + \text{Cu} \leq 6,0$; y

(c) $(0,24 - D / 4.800) \leq \text{Zr} \leq (0,24 - D/5.000)$,

10 en donde, D es la longitud mínima de una sección de línea que conecta dos puntos cualesquiera en la periferia de la sección transversal del lingote y que pasa a través del centro geométrico de la sección transversal, y $250 \text{ mm} \leq D \leq 1.000 \text{ mm}$, en donde los productos de aleaciones de aluminio comprenden además al menos un elemento microaleante incidental seleccionado del grupo que consiste en Mn, Sc, Er, y Hf, con la condición de que las concentraciones del elemento microaleante satisfagan la expresión de $(0,24 - D / 4.800) \leq (\text{Zr} + \text{Mn} + \text{Sc} + \text{Er} + \text{Hf}) \leq (0,24 - D / 5.000)$, y en donde los productos de aleación de aluminio comprenden además: Fe $\leq 0,50\%$ en peso, Si $\leq 0,50\%$ en peso, Ti $\leq 0,10\%$ en peso, y/u otros elementos de impurezas cada uno $\leq 0,08\%$ en peso, y en total $\leq 0,25\%$ en peso.

20 2. Productos de aleación de aluminio adaptados para fabricar componentes estructurales según la reivindicación 1, consintiendo dicha aleación en, en % en peso: Zn 7,5-8,4, Mg 1,65-1,8, Cu 0,7-1,5, Zr 0,03-0,20, siendo Al el equilibrio, elementos incidentales e impurezas, en donde las concentraciones de Zn, Mg, Cu, y Zr satisfacen las expresiones de:

(a) $10,6 \leq \text{Zn} + \text{Mg} + \text{Cu} \leq 10,8$;

(b) $5,5 \leq (\text{Zn} / \text{Mg}) + \text{Cu} \leq 5,7$; y

(c) $(0,24 - D / 4.800) \leq \text{Zr} \leq (0,24 - D/5.000)$,

25 3. Productos de aleación de aluminio adaptados para fabricar componentes estructurales según la reivindicación 1, en donde la concentración de Cu no es mayor que la concentración de Mg.

4. Productos de aleación de aluminio adaptados para fabricar componentes estructurales según la reivindicación 1, en donde los productos de aleación de aluminio tienen un espesor máximo de la sección transversal que es un valor entre 250 y 360 mm, y dicha aleación contiene en % en peso, una concentración de Cu de 0,5-1,45.

30 5. Productos de aleación de aluminio adaptados para fabricar componentes estructurales según la reivindicación 1, en donde los productos de aleación de aluminio tienen un espesor máximo de la sección transversal que es un valor entre 30 y 360 mm, y los productos de aleación de aluminio son productos forjados, productos de chapa, productos extruidos, o productos moldeados por colada.

6. Productos de aleación de aluminio adaptados para fabricar componentes estructurales según la reivindicación 1, en donde los lingotes son redondos o planos.

35 7. Un método para producir productos deformados de la aleación de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende las etapas de:

(1) proporcionar lingotes moldeados por colada directa;

(2) homogenizar los lingotes después del moldeo por colada;

40 (3) trabajar en caliente los lingotes homogenizados una o más veces hasta formar los productos de aleación con las dimensiones deseadas;

(4) tratar térmicamente en disolución los productos de aleación deformados;

(5) enfriar rápidamente los productos de aleación tratados térmicamente en disolución hasta la temperatura ambiente; y

45 (6) envejecer los productos de aleación para mejorar la resistencia y la tenacidad, para lograr los productos de aleación deformados deseados.

8. El método según la reivindicación 7, que además comprende, entre las etapas 5) y 6), la etapa de predeformar los productos de aleación enfriados, estando la deformación total en el intervalo de 1-5% para eliminar eficazmente la tensión interna residual.

9. Un método para producir productos moldeados por colada de las aleaciones de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende las etapas de:

(1) producir lingotes moldeados por colada;

(2) tratar térmicamente en disolución los lingotes resultantes; y

5 (3) envejecer los lingotes tratados térmicamente en disolución para formar los productos moldeados por colada de aleación deseados.

10. Productos de aleación de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, o productos de aleación de aluminio preparados mediante el método según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en donde las resistencias a la fluencia sobre la superficie, en el sitio de diversas profundidades bajo la superficie, y en el centro presentan una diferencia del 10% o inferior.

15. Productos de aleación de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, o productos de aleación de aluminio preparados mediante el método según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en donde los productos de aleación de aluminio se sueldan con un material seleccionado del grupo que consiste en los mismos o diferentes materiales de aleación para formar un producto nuevo, en donde la soldadura se selecciona del grupo que consiste en soldadura por fricción-agitación, soldadura por fusión, soldadura blanda/fuerte, soldadura por haz de electrones, soldadura por láser, y cualquier combinación de las mismas.

20. Productos de aleación de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, o productos de aleación de aluminio preparados mediante el método según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en donde los productos de aleación de aluminio se procesan hasta obtener los componentes finales por medios seleccionados del grupo que consiste en mecanizado mecánico, mecanizado por molienda química, mecanizado por descarga eléctrica, o mecanizado por láser, y cualquier combinación de los mismos.

13. Productos de aleación de aluminio según la reivindicación 12, en donde los componentes finales se seleccionan del grupo que consiste en partes de aeronaves, partes de vehículos, naves espaciales, y troquel de formación.

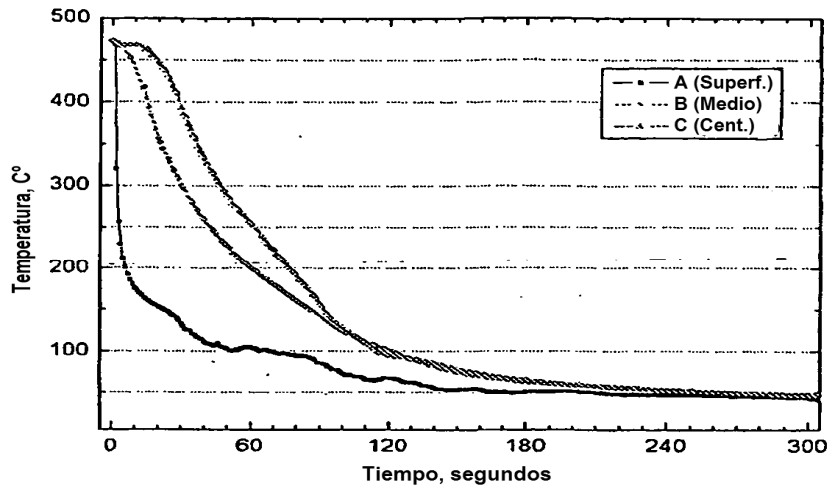


Figura 1

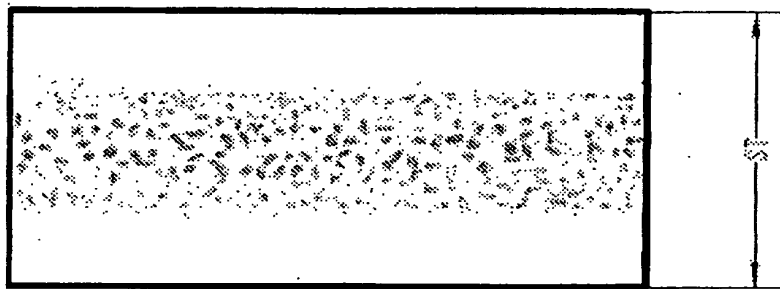


Figura 2

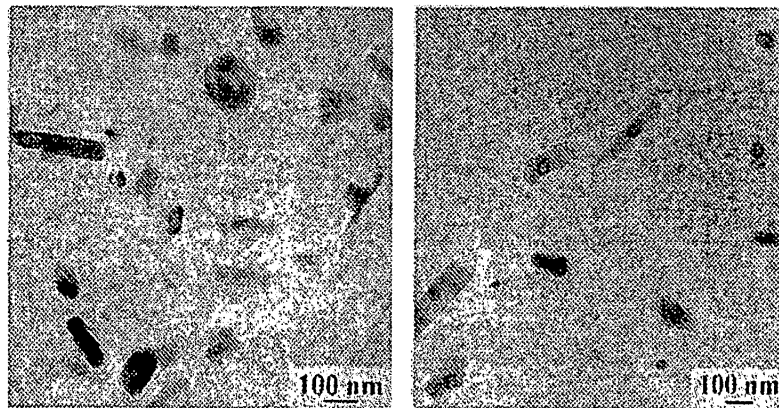


Figura 3

Producto de forja libre cúbico

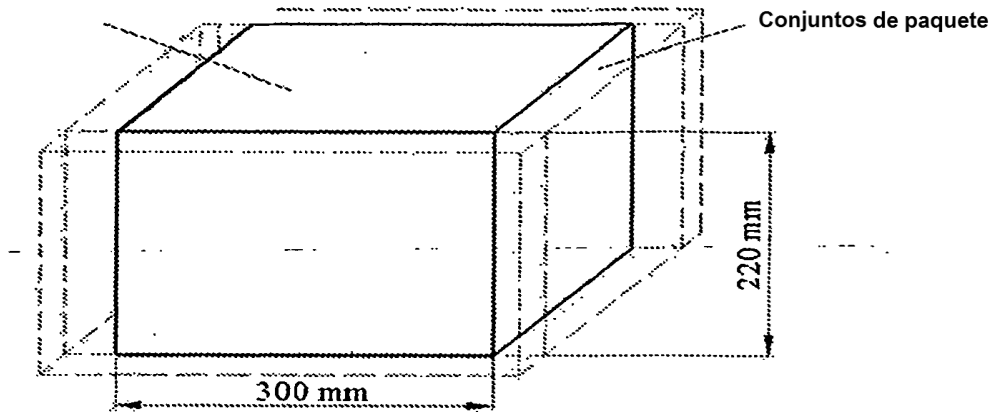


Figura 4

Muestra sometida a templado de extremo

Producto de forja libre cúbico

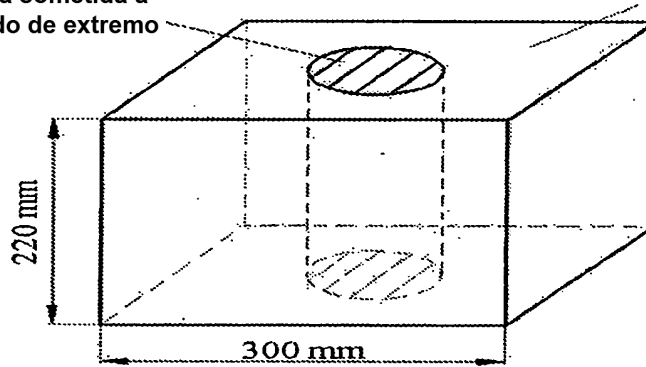


Figura 5

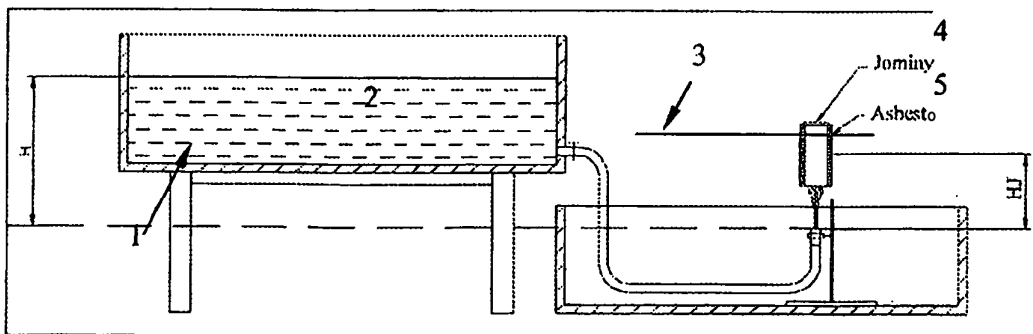


Figura 6

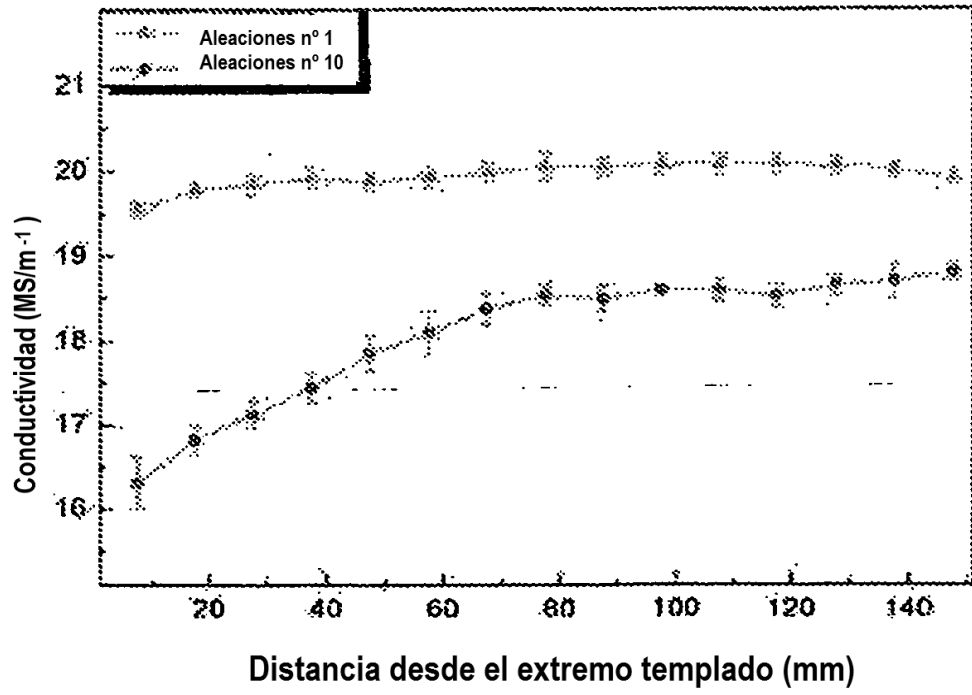


Figura 7

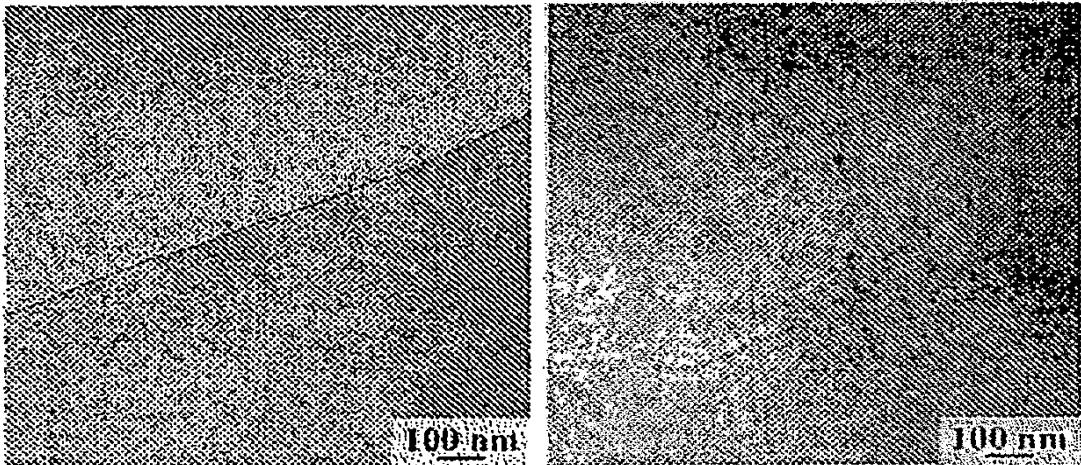


Figura 8

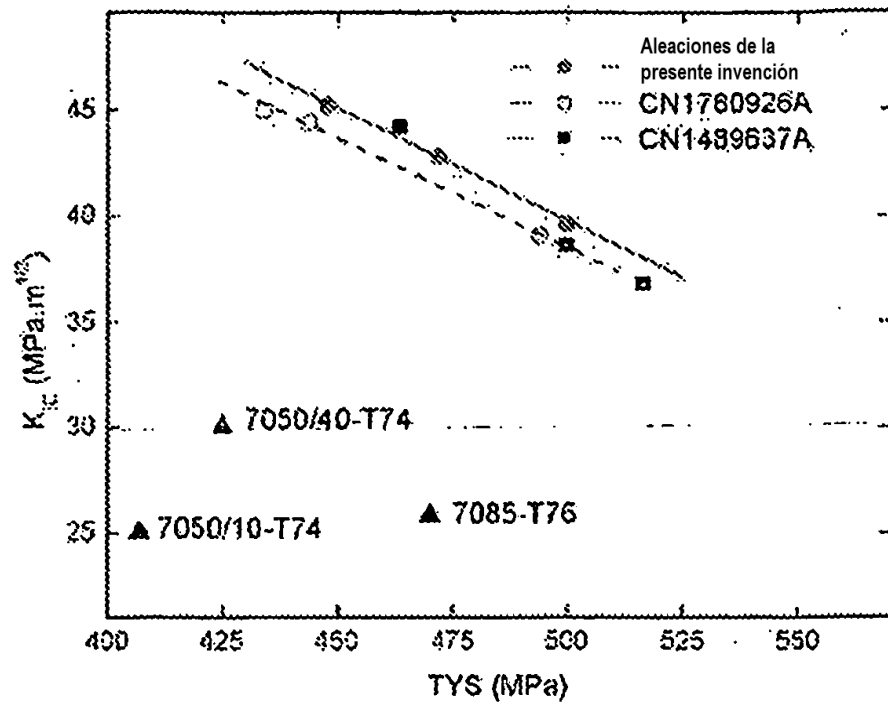


Figura 9