



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 220 902**

⑤① Int. Cl.7: **C22C 21/12**  
**C22C 21/16**  
**C22C 21/18**

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧⑥ Número de solicitud europea: **03356108 .5**

⑧⑥ Fecha de presentación: **09.07.2003**

⑧⑦ Número de publicación de la solicitud: **1382698**

⑧⑦ Fecha de publicación de la solicitud: **21.01.2004**

⑤④ Título: **Elemento de estructura de avión de aleación Al.Cu.Mg.**

③⑩ Prioridad: **11.07.2002 FR 02 08737**

④⑤ Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.12.2004**

④⑤ Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.12.2004**

⑦③ Titular/es: **Pechiney Rhenalu**  
**7, place de Chancelier Adenauer**  
**75116 Paris, FR**

⑦② Inventor/es: **Warner, Timothy;**  
**Dif, Ronan;**  
**Bes, Bernard y**  
**Ribes, Hervé**

⑦④ Agente: **Aguilar Camprubí, M. Mireia**

ES 2 220 902 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).

# ES 2 220 902 T3

## DESCRIPCIÓN

Elemento de estructura de avión de aleación Al.Cu.Mg.

### 5 **Ámbito de la invención**

La invención se refiere a elementos de estructura de avión, particularmente a chapas para fuselaje de aviones comerciales de gran capacidad, realizados a partir de productos laminados, extrusionados o forjados de aleación AlCuMg en estado tratado por disolución, temple y endurecimiento por deformación en frío, y que presentan, con respecto a los productos del arte anterior utilizados para la misma aplicación, un compromiso mejorado entre las diferentes propiedades de uso requeridas.

### **Estado de la técnica**

15 El fuselaje de aviones comerciales de gran capacidad está típicamente constituido por una piel de chapas, de aleación de tipo AlCuMg, así como por tensores longitudinales y marcos circunferenciales. Se suele utilizar una aleación de tipo 2024 que tiene, según la denominación de la Aluminum Association o la norma EN 573-3, la siguiente composición química (% en peso):

20 Si < 0,5 Fe < 0,5 Cu: 3,8 – 4,9 Mg: 1,2 - 1,8 Mn: 0,3 – 0,9 Cr < 0,10 Zn < 0,25 Ti < 0, 15.

También se utilizan variantes de esta aleación. Se pide a estos elementos estructurales un compromiso entre varias propiedades tales como: la resistencia mecánica (i.e. las características mecánicas estáticas), la tolerancia a los daños (tenacidad y velocidad de agrietamiento en fatiga), la resistencia a la fatiga (particularmente en ciclo bajo), la resistencia a las diferentes formas de corrosión, la aptitud a la conformación. En algunos casos, particularmente para los aviones supersónicos, la resistencia al flujo puede ser crítica.

Con el fin de mejorar el compromiso entre las diferentes propiedades requeridas, particularmente la resistencia mecánica y al tenacidad, se han propuesto diversas soluciones alternativas. Boeing ha desarrollado la aleación 2034 de composición:

Si < 0,10 Fe < 0,12 Cu: 4,2 – 4,8 Mg: 1,3 - 1,9 Mn: 0,8 – 1,3 Cr < 0,05 Zn < 0,20 Ti < 0,15 Zr: 0,08 - 0, 15.

Esta aleación ha sido objeto de la patente EP 0 031 605 (= US 4 336 075). Presenta, con respecto a la 2024 en estado T351, un mayor límite de elasticidad específico debido al aumento de la proporción de manganeso y a la adición de otro antirrecristalizante (Zr), así como una tenacidad y una resistencia a la fatiga mejoradas.

La patente US 5 652 063 (Alcoa) se refiere un elemento de estructura de avión realizado a partir de una aleación de composición (% en peso):

40 Cu: 4,85 – 5,3 Mg: 0,51 – 1,0 Mn: 0,4 – 0,8 Ag: 0,2 - 0,8 Si < 0,1 Fe < 0,1 Zr < 0,25 con Cu/Mg incluidos entre 5 y 9.

45 La chapa de esta aleación en estado T8 presenta un límite de elasticidad > 77 ksi (531 MPa).

La aleación está particularmente destinada a los aviones supersónicos.

La patente EP 0 473 122 (= US 5 213 639) de Alcoa describe una aleación, registrada en la Aluminum Association como 2524, de composición: Si < 0,10 Fe < 0,12 Cu: 3,8 - 4,5 Mg: 1,2 – 1,8 Mn: 0,3 – 0,9 que puede contener eventualn, en otro antirrecristalizante (Zr, V, Hf, Cr, Ag o Sc). Esta aleación está destinada más particularmente a las chapas finas para fuselaje y presenta una tenacidad y una resistencia a la propagación de grietas mejoradas con respecto a la 2024.

55 La solicitud de patente EP 0 731 185 de la solicitante se refiere a una aleación, registrada ulteriormente bajo el n°2024A, de composición: Si < 0,25 Fe < 0,25 Cu: 3,5 – 5 Mg: 1 – 2 Mn < 0,55 con la relación  $0 < Mn - 2Fe < 0,2$ .

Las chapas espesas realizadas con esta aleación presentan a la vez una tenacidad mejorada y un nivel reducido de esfuerzos residuales, sin pérdida para las otras propiedades.

60 La patente US 5 593 516 (Reynolds) se refiere a una aleación para aplicaciones aeronáuticas que contiene 2,5 a 5,5% Cu y 0,1 a 2,3% Mg, en la que las proporciones de Cu y Mg quedan mantenidas por debajo de su límite de solubilidad en el aluminio, y están unidas mediante las ecuaciones:

65 
$$Cu_{\text{máx}} = 5,59 - 0,91 \text{ Mg y } Cu_{\text{mín}} = 4,59 - 0,91 \text{ Mg.}$$

## ES 2 220 902 T3

La aleación puede contener también: Zr < 0,20% V < 0,20% Mn < 0,80% Ti < 0,05% Fe < 0,15% Si < 0,10%.

5 Las patentes US 5 376 192 y US 5 512 112, procedentes de la misma solicitud inicial, se refieren a aleaciones de este tipo que contienen de 0,1 a 1% de plata. Se puede notar que la utilización de plata en este tipo de aleación conduce a un aumento de coste de elaboración y a dificultades para el reciclaje de los residuos de fabricación.

La solicitud de patente EP 1 170 394 A2 (Alcoa) describe cuatro aleaciones de tipo AlCu que tienen, respectivamente, la composición

10 Cu 4,08, Mn 0,29, Mg 1,36, Zr 0,12, Fe 0,02, Si 0,01;

Cu 4,33, Mn 0,30, Mg 1,38, Zr 0,10, Fe 0,01, Si 0,00;

15 Cu 4,09, Mn 0,58, Mg 1,35, Zr 0,11, Fe 0,02, Si 0,01; y

Cu 4,22, Mn 0,66, Mg 1,32, Zr 0,10, Fe 0,01, Si 0,01.

20 La patente enseña como transformar estos productos en chapas que presenten una estructura en granos alargados, en la que los granos muestran una relación longitud por espesor superior a 4. Este producto, que respeta a la vez una microestructura y una textura bien específicas, tiene buenas características de resistencia mecánica y de tolerancia a los daños. Uno de los inconvenientes de estas aleaciones radica en el hecho de que se basan en un aluminio de gran pureza (muy pequeña proporción de silicio y hierro), que es caro. Otra patente del mismo solicitante, US 5 630 889 divulga una chapa en estado T6 o T8 de aleación AlCuMg que contiene:

25 Cu 4,66, Mg 0,81, Mn 0,62, Fe 0,06, Si 0,09, Zn 0,36%.

30 Una adición de plata mejora las propiedades de esta aleación. Sin embargo, la plata es un elemento costoso y limita las posibilidades de reciclaje de los productos así obtenidos así como de sus residuos de producción, lo que contribuye a aumentar aún más el precio de coste de los susodichos productos.

35 La presente invención tiene por objeto obtener elementos de estructura de avión, y particularmente elementos de fuselaje, de aleación AlCuMg, que presenten, con respecto al arte anterior, una tolerancia a los daños mejorada, una resistencia mecánica por lo menos igual, una resistencia a la corrosión mejorada, y esto sin recurrir a elementos adicionales costosos y molestos para el reciclaje.

### Objeto de la invención

40 La invención tiene por objeto un producto deformado en caliente, particularmente un producto laminado, extrusionado o forjado, de aleación de composición (% en peso):

Cu 3,80 - 4,30, Mg 1,25 - 1,45, Mn 0,20 - 0,50, Zn 0,40 - 1,30, Zr  $\leq$  0,05, Fe < 0,15, Si < 0,15, Ag < 0,01

45 otros elementos < 0,05 cada uno y < 0,15 en total, resto Al,

el susodicho producto puede tratarse por disolución, temple y endurecimiento por deformación en frío, con una deformación permanente incluida entre 0,5% y 15% preferentemente entre 1% y 5% y más preferentemente entre 1,5% y 3,5%. El endurecimiento por deformación en frío puede obtenerse por tracción controlada y/o transformación en frío, por ejemplo laminado o estirado.

50 La invención también tiene por objeto un elemento de estructura para construcción aeronáutica, particularmente un elemento de fuselaje de aeronave, fabricado a partir de tal producto deformado en caliente, y particularmente a partir de tal producto, laminado.

### 55 Descripción de la invención

Salvo mención contraria, todas las indicaciones relativas a la composición química de las aleaciones se expresan en porcentaje másico. Por consiguiente, en una expresión matemática, "0,4 Zn" significa: 0,4 veces proporción de zinc, expresada en porcentaje másico; esto se aplica mutatis mutandis a los otros elementos químicos. La denominación de las aleaciones sigue las reglas de The Aluminum Association. Los estados metalúrgicos vienen definidos en la norma europea EN 515. Salvo mención contraria, las características mecánicas estáticas, es decir la resistencia a la ruptura  $R_m$ , el límite elástico  $R_{p0,2}$ , y el alargamiento a la ruptura A se determinan con una prueba de tracción: según la norma EN 10002-1. El término "producto extrusionado" incluye los productos llamados "estirados", es decir productos que se elaboran por un extrusionado seguido de un estirado.

65 En las aleaciones AlCuMg del arte anterior más eficientes para la fabricación de elementos de estructura de fuselaje de avión, un buen nivel de tenacidad se obtiene al especificar niveles muy bajos de hierro y de silicio y al limitar las proporciones de cobre y de magnesio para facilitar la disolución de las partículas intermetálicas gruesas. Para obtener

## ES 2 220 902 T3

un nivel suficiente de resistencia mecánica, el especialista es propenso a mantener una proporción significativa de manganeso, puesto que esto contribuye al endurecimiento de la aleación. La casi totalidad de las aleaciones de la serie 2xxx no contienen más de 0,25% de zinc.

5 La proporción de cobre de la aleación según la invención está incluida entre 3,80 y 4,30% y preferentemente entre 4,05 y 4,30%; se sitúa pues en la mitad inferior del intervalo de proporción de la aleación 2024, para limitar la fracción volumétrica residual de partículas gruesas del cobre. Por la misma razón, el intervalo de la proporción de magnesio, que debe estar incluido entre 1,25 y 1,45% y preferentemente entre 1,28 y 1,42%, está desplazado hacia abajo con respecto al de la 2024. La proporción de manganeso se mantiene entre 0,20 y 0,50%, preferentemente entre 0,30 y 0,50  
10 y más preferentemente entre 0,35 y 0,48%. La puesta por obra de la invención no necesita ninguna adición significativa de circonio a una proporción superior a 0,05%.

La presente invención necesita un cuidadoso control de la proporción de zinc, puesto que la aleación es pobre en cobre, magnesio y manganeso. La proporción de zinc debe estar incluida entre 0,40 y 1,30% preferentemente entre 0,50  
15 y 1,10% y más preferentemente entre 0,50 y 0,70%. En un modo de realización ventajoso, cuando las proporciones de cobre, magnesio y manganeso son inferiores a respectivamente 4,20% 1,38% y 0,42% es preferible que la proporción de zinc sea por lo menos igual a  $(1,2\text{Cu} - 0,3\text{Mg} + 0,3\text{Mn} - 3,75)$ .

Según las observaciones de la solicitantes, esta disminución de la proporción de cobre, magnesio y manganeso y  
20 la adición de una cantidad exactamente controlada de zinc conduce, con la utilización de procedimientos de puesta por obra adecuados, a chapas que tienen aproximadamente la misma resistencia mecánica, pero una mayor tolerancia a los daños con respecto a las chapas que no contienen esta adición de zinc, a una conformabilidad por lo menos tan buena y a una mayor resistencia a la corrosión.

25 Cada una de las proporciones de silicio y de hierro se mantiene por debajo de 0,15% y preferentemente por debajo de 0,10%, para obtener una buena tenacidad. El especialista sabe que la disminución de la proporción de hierro y silicio mejora la tolerancia a los daños de las aleaciones AlCuMg y AlZnMgCu utilizados en la construcción aeronáutica (véase el artículo de J.T. Staley, "Microstructure and Toughness of High Strength Aluminium Alloys", publicado en "Properties Related to Fracture Toughness", ASTM STP605, ASTM, 1976, pp. 71-103). Sin embargo, es únicamente  
30 en casos muy específicos (según el tipo de aleación y la aplicación deseada), que el incremento de tolerancia a los daños inherente a la utilización de un aluminio que contiene menos de 0,06% de hierro y menos de 0,06% de silicio es suficientemente importante como para poder valorizarse. La puesta por obra de la presente invención no exige que cada proporción, de hierro y de silicio, sea inferior a 0,06% porque en el intervalo de composición seleccionado, la tolerancia a los daños es muy buena.

35 Por último, contrariamente a las aleaciones descritas en las patentes US 5 376 192, US 5 512 112 y US 5 593 516, la aleación no contiene ninguna adición de plata, ni de otro elemento susceptible de aumentar el coste de producción de la aleación y de contaminar las otras aleaciones producidas en el mismo centro por reciclaje de los residuos de fabricación.

40 El procedimiento de fabricación preferido comprende la colada de placas, en el caso en el que el producto que va a fabricarse es una chapa laminada, o de palanquillas en el caso en el que se trata de un perfil extrusionado o de una pieza forjada. La placa la palanquilla se escalpa y homogeneiza después entre y 450 y 500°C. Después, se efectúa la transformación en caliente por laminado, extrusionado o forjado eventualmente completada con una etapa de transformación en frío. El semiproducto laminado, extrusionado o forjado se disuelve después entre 480 y 505°C, para que esta disolución sea tan completa como posible, es decir que efectivamente, la mayor cantidad de fases potencialmente solubles, particularmente los precipitados  $\text{Al}_2\text{Cu}$  y  $\text{Al}_2\text{CuMg}$ , se vuelvan a disolver. La calidad de la disolución puede apreciarse por análisis entálpico diferencial (AED) midiendo la energía específica con ayuda de el área del pico en termograma. Preferentemente, esta energía específica debe ser inferior a 2 J/g.

50 Después, se procede al temple con agua fría continuación a un endurecimiento por deformación en frío que conducen a un alargamiento permanente incluido entre 0,5% y 15%. Este endurecimiento por deformación 1 en frío puede ser una tracción controlada con un alargamiento permanente incluido entre 1 y 5% lo que lleva el producto a un estado T351. Se prefiere una tracción controlada con un alargamiento permanente incluido entre 1,5% y 3,5%. También  
55 puede ser una transformación en frío por laminado en el caso de las chapas o por estirado en el caso de los perfiles, con un alargamiento permanente que puede ir hasta 15% lo que lleva el producto al estado T39 o al estado T3951 si se combina el laminado o el estirado con la tracción. Por último, el producto se somete a un envejecimiento natural a temperatura ambiente. La microestructura final suele ser ampliamente recristalizada, con granos relativamente finos y bastante equiaxiales.

60 El producto según la presente invención se presta bien a la utilización a modo de elemento de estructura de aeronave, por ejemplo a modo de elemento de piel de fuselaje, y particularmente a modo de elemento para la chapa de revestimiento (piel) de fuselaje. Estas chapas, preferentemente enchapadas, tienen un espesor incluido entre 1 y 16 mm, y presentan una buena resistencia a la corrosión intergranular así como a la corrosión con un ensamblaje remachado. Presentan una resistencia a la ruptura en sentido L y/o sentido TL superior a 430 MPa, y preferentemente superior a 440 MPa, y un límite de elasticidad en sentido L y/o TL superior a 300 MPa, y preferentemente superior a 320 MPa. Presentan una buena conformabilidad (alargamiento a la ruptura en sentido L y/o TL superior a 19% y preferentemente superior a 20%), y una tolerancia a los daños Kr, calculada a partir de una curva R obtenida según

## ES 2 220 902 T3

ASTM E 561 para un valor  $\Delta a_{\text{eff}}$  de 60 mm, superior a  $165 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$  en los sentidos T-L y L-T, superior a  $180 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$  en el sentido L-T, así como una velocidad de propagación de grietas  $da/dN$ , determinada según la norma ASTM E 647 en el sentido T-L o L-T para un valor  $\Delta K$  de  $50 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ , inferior a  $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm / ciclo}$  (y preferentemente inferior a  $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm / ciclo}$ ) y una relación de cargas  $R=0,1$ . Este tipo de compromiso de propiedades es particularmente adecuado para el revestimiento de fuselajes. La chapa según la invención puede ser una chapa enchapada en por lo menos una cara con una aleación de la serie 1xxx, y preferentemente con una aleación seleccionada en el grupo constituido por las aleaciones 1050, 1070, 1300 y 1145.

Puesto que el remache es el modo de ensamblaje más frecuentemente utilizado para pieles de fuselaje, para la aplicación como revestimiento de fuselaje, se prefieren las chapas enchapadas según la invención que resisten particularmente bien a la corrosión por acoplamiento galvánico en un ensamblaje remachado. Más particularmente, se prefieren chapas enchapadas Iur muestran una corriente de corrosión galvánica interior a  $4 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , y preferentemente inferior a  $2,5 \mu\text{cm}^2$ , para una exposición que va hasta 200 horas, durante pruebas de corrosión en un ensamblaje remachado, colocando la aleación del alma en una solución no desaireada que contiene 0,06 M de NaCl y la aleación de enchapado en una solución a 0,02 M de  $\text{AlCl}_3$  desaireada por barboteo de nitrógeno.

En los ejemplos indicados a continuación, se describen a título de ilustración modos de realización ventajosos de la invención. Estos ejemplos no tienen ningún carácter limitativo.

### 20 Ejemplos

#### Ejemplo 1

Se han elaborado cuatro aleaciones N0, N1, N2 e N3 cuya composición química era conforme a la invención.

El metal líquido ha sido tratado, primero, en el horno de mantenimiento por inyección de gas con ayuda de un rotor de tipo conocido bajo la marca IRMA, y después en una cuchara de tipo conocido bajo la marca Alpur. El afinado ha sido realizado en línea, es decir entre el horno de mantenimiento y la cuchara Alpur, con hilo AT5B (0,7 kg/t para N0, N1 y N3, 0,3 kg/t para N2). Se han colado placas de 3,0 m de largo con una sección de 1450 mm x 377 mm (excepto para N3: sección 1450 x 446 mm). Han sido distendidas durante 10 h a  $350^\circ\text{C}$ .

Placas de aleación 2024 según el arte anterior (referencias E y F) también han sido elaboradas según el mismo procedimiento.

Las composiciones químicas de las aleaciones N0, N1, N2, N3, E y F, medidas en un peón de espectrometría tomado en el canal de colada, vienen reunidas en el Cuadro 1:

CUADRO 1

*Composición química*

| Aleación                                   | Si   | Fe   | Cu    | Mn    | Mg    | Zn    | Cr    |
|--|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N0   | 0,03 | 0,08 | 4,16  | 0,41  | 1,35  | 0,59* | 0,001 |
| N1   | 0,03 | 0,08 | 4,00  | 0,40  | 1,22  | 0,63  |       |
| N2   | 0,03 | 0,07 | 3,98  | 0,39  | 1,32  | 0,59  |       |
| N3   | 0,06 | 0,07 | 4,14  | 0,43  | 1,26  | 1,28* |       |
| E  | 0,06 | 0,19 | 4,14  | 0,51  | 1,36  | 0,11  | 0,007 |
| F  | 0,06 | 0,16 | 4,15  | 0,51  | 1,38  | 0,12  | 0,014 |
| Enchapado<br>1050                          | 0,14 | 0,25 | 0,003 | 0,029 | 0,001 | 0,017 |       |
| * análisis químico efectuado en soluciones |      |      |       |       |       |       |       |

En todos los casos, el enchapado de aleación 1050 corresponde a unos 2% del espesor.

## ES 2 220 902 T3

Para las aleaciones según el arte anterior (aleaciones E y F), las placas han sido recalentadas a una temperatura del orden de los 450°C y laminadas en caliente después con un laminador de reversión hasta un espesor de unos 20 mm. Las bandas así obtenidas han sido laminadas en un tren laminador de tres cajas hasta un espesor final de aproximadamente 5 mm, y bobinadas (a temperaturas de 320°C y 260°C, respectivamente para las aleaciones F y E).  
5 En el caso de la aleación F, la bobina así obtenida ha sido laminada en trío hasta un espesor de 3,2 mm. Chapas han sido cortadas, disueltas en horno de baño de sal a una temperatura de 498,5°C durante un tiempo de 30 min. (chapa E de 5 mm de espesor) o 25 min. (chapa F de 3,2 mm de espesor), y acabadas (desarrugamiento seguido de una tracción controlada con un alargamiento permanente incluido entre 1,5 y 3%).

10 Tratándose de las aleaciones según la invención, la placa N0 ha sido sometida al siguiente ciclo de homogeneización:

8 h a 495°C + 12 h a 500°C (valores nominales)

15 mientras que las aleaciones N1, N2 y N3 han sido sometidas a una homogeneización de 12 h a 500°C.

Después de un recalentamiento (unas 18 h entre 425 y 445°C), las placas han sido laminadas en caliente (temperatura de entrada: 413°C) hasta un espesor de unos 90 mm. La banda N0 así obtenida ha sido cortada en dos en el sentido perpendicular a la dirección de laminado. Se han obtenido así dos bandas, con las referencias N01 y N02. Estas bandas  
20 han sido laminadas en un laminador en caliente de 3 cajas hasta un espesor final de 6 mm (temperatura de bobinado de unos 320 - 325°C).

Una placa de la aleación N1 y N3 y una placa de la aleación N3 han sido laminadas en caliente a 5,5 mm antes de su laminado en frío a un espesor final de 3,2 mm, y otra placa de la aleación N1 ha sido laminada en caliente a 4,5 mm  
25 antes de su laminado en frío o un espesor final de 1,6 mm.

Una placa de la aleación N2 ha sido laminada en caliente a un espesor final de 6 mm (temperatura de bobinado en tándem 270°C).

30 La bobina N01 no ha sido sometida a otra pasada de laminado, mientras que la bobina N02 ha sido laminado en frío hasta un espesor final de 3,2 mm.

Una vez cortadas, las chapas han sido sometidas a una disolución en un horno de baño de sal (espesor 6 mm: 60 minutos a 500°C; espesor 3,2 mm: 40 minutos a 500°C; espesor 1,6 mm: 30 minutos a 500°C) y después a un temple  
35 en agua a unos 23°C. Después del temple, las chapas han sido sometidas a un desarrugamiento y a una tracción con un alargamiento permanente acumulado incluido entre 1,5 y 3,5%. El tiempo de espera entre temple y desarrugamiento no ha sobrepasado las 6 hora.

Se han medido la resistencia a la ruptura  $R_m$  (en MPa), el límite de elasticidad convencional a 0,2% de alargamiento  
40  $R_{p0,2}$  (en MPa) y el alargamiento a la ruptura  $A$  (en %) mediante una prueba de tracción según, EN 10002-1.

Los resultados de las medidas de las características mecánicas estáticas en estado T351 vienen presentadas en el Cuadro 2:

45

(Cuadro pasa a página siguiente)

50

55

60

65

## ES 2 220 902 T3

CUADRO 2

*Características mecánicas estáticas*

| Chapa | Ep<br>[mm] | Sentido L            |                            |       | Sentido TL           |                            |       |
|-------|------------|----------------------|----------------------------|-------|----------------------|----------------------------|-------|
|       |            | R <sub>m</sub> [MPa] | R <sub>p0,2</sub><br>[MPa] | A [%] | R <sub>m</sub> [MPa] | R <sub>p0,2</sub><br>[MPa] | A [%] |
| N01   | 6,0        | 442                  | 336                        | 22,8  | 442                  | 323                        | 23,5  |
| N02   | 3,2        | 456                  | 353                        | 20,3  | 449                  | 318                        | 24,7  |
| N1    | 1,6        | 455                  | 359                        | 20,2  | 434                  | 298                        | 21,8  |
| N1    | 3,2        | 460                  | 360                        | 19,3  | 438                  | 308                        | 22,3  |
| N2    | 6          | 471                  | 384                        | 19,8  | 462                  | 343                        | 19,9  |
| N3    | 3,2        | 453                  | 360                        | 21,3  | 443                  | 317                        | 24,2  |
| E     | 5,0        | No medido            |                            |       | 456                  | 341                        | 17,7  |
| F     | 3,2        |                      |                            |       | 454                  | 318                        | 19,2  |

La aptitud a la conformación caracterizada por la ductilidad en tracción (valor del alargamiento A) parece mejor para la aleación según la invención, y esto, para los dos espesores considerados. La conformabilidad de las chapas con un espesor superior a 4 mm también ha sido caracterizada con ayuda de la prueba LDH (Limit Dome Height) en formatos de 500 mm x 500 mm en estado T351. Han sido obtenidos los siguientes resultados:

Chapa N01 (esp. 6 mm):                      LDH = 81 mm

Chapa E (esp. 5 mm):                         LDH = 75 mm

Esto confirma la mejor aptitud a la conformación de la aleación según la invención.

La tolerancia al daño ha sido caracterizada de varias maneras. La curva R ha sido medida según la norma ASTM E 561 en probetas de tipo CCT, de anchura W = 760 mm, 2a<sub>0</sub> = 253 mm, e = espesor de la chapa, con un control de desplazamiento de pistón y una velocidad de tracción de 1 mm/min., utilizando un montaje anticombadura de acero. Las probetas han sido tomadas en el sentido T-L y en el sentido L-T. El valor de K<sub>r</sub> [MPa√m] ha sido calculado para diferentes valores de Δa<sub>eff</sub> [mm].

Los resultados vienen indicados en el Cuadro 3:

(Cuadro pasa a página siguiente)

# ES 2 220 902 T3

CUADRO 3

Resultados de la prueba de curva R

| Chapa | Ep<br>[mm] | sentido | K <sub>r</sub> [MPa√m] para un valor Δ a <sub>eff</sub> de |          |          |          |          |          |
|-------|------------|---------|--|----------|----------|----------|----------|----------|
|       |            |         | 10<br>mm   | 20<br>mm | 30<br>mm | 40<br>mm | 50<br>mm | 60<br>mm |
| N02   | 3,2        | T-L     | 81   | 108      | 129      | 148      | 164      | 180      |
| N01   | 6,0        | T-L     | 77   | 105      | 127      | 144      | 159      | 173      |
| N1    | 1,6        | T-L     | 102  | 123      | 138      | 152      | 164      | 175      |
| N1    | 3,2        | T-L     | 85   | 110      | 130      | 147      | 161      | 175      |
| N2    | 6          | T-L     | 89   | 117      | 137      | 153      | 167      | 179      |
| N3    | 3,2        | T-L     | 91   | 119      | 139      | 155      | 168      | 181      |
| F     | 3,2        | T-L     | 82   | 107      | 125      | 139      | 151      | 162      |
| E     | 5,0        | T-L     | 83   | 105      | 120      | 132      | 142      | 151      |
| N2    | 3,2        | L-T     | 84   | 119      | 145      | 166      | 184      | 199      |
| N1    | 6,0        | L-T     | 90   | 122      | 145      | 163      | 179      | 193      |
| N1    | 1,6        | L-T     | 92   | 118      | 138      | 157      | 174      | 191      |
| N1    | 3,2        | L-T     | 88   | 119      | 142      | 162      | 179      | 196      |
| N2    | 6          | L-T     | 87   | 121      | 145      | 164      | 180      | 194      |
| N3    | 3,3        | L-T     | 93   | 125      | 148      | 168      | 184      | 199      |
| E     | 5,0        | L-T     | 104  | 126      | 141      | 154      | 165      | 174      |

Se observa que para valores elevados de Δa<sub>eff</sub> [mm], el producto según la invención supera el producto estándar de aleación 2024.

El producto según la invención presenta pues una mayor resistencia a la ruptura en el caso de un panel grietado.

La velocidad de agrietamiento da/dN (en mm/ciclo) para diferentes niveles de ΔK (expresados en MPa√m) ha sido determinada según la norma ASTM E 647 en probetas de tipo CCT tomadas en el sentido T-L y en el sentido L-T, de anchura W = 400 mm, 2a<sub>0</sub> = 4 mm, e = espesor de la chapa, en condiciones de R 0,1 y con un esfuerzo máximo de 120 MPa y un dispositivo anticombadura para las probetas con un espesor inferior a 3,2 mm. Los resultados vienen indicados en el Cuadro 4.

# ES 2 220 902 T3

## CUADRO 4

*Resultados de la prueba de velocidad de propagación*

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55  
60  
65

| Chapa | Ep<br>[mm] | sentido | da/dN [mm ciclo] para<br>$\Delta K$ [MPa $\sqrt{m}$ ] de |                   |                  |                  |                  |
|-------|------------|---------|--|-------------------|------------------|------------------|------------------|
|       |            |         | 10   | 20                | 30               | 40               | 50               |
| N02   | 3,2        | T-L     | 1,5<br>$10^{-4}$   | 6,5<br>$10^{-4}$  | 1,5<br>$10^{-3}$ | 0,4<br>$10^{-2}$ | 1,0<br>$10^{-2}$ |
| N01   | 6,0        | T-L     | 1,5<br>$10^{-4}$   | 9,3<br>$10^{-4}$  | 1,8<br>$10^{-3}$ | 0,6<br>$10^{-2}$ | 1,4<br>$10^{-2}$ |
| N1    | 1,6        | T-L     | 1,6<br>$10^{-4}$   | 4,6<br>$10^{-4}$  | 1,4<br>$10^{-3}$ | 0,4<br>$10^{-2}$ | 1,0<br>$10^{-2}$ |
| N1    | 3,2        | T-L     | 1,8<br>$10^{-4}$   | 7,2<br>$10^{-4}$  | 1,6<br>$10^{-3}$ | 0,4<br>$10^{-2}$ | 1,0<br>$10^{-2}$ |
| N2    | 6          | T-L     | 2,1<br>$10^{-4}$   | 8,7<br>$10^{-4}$  | 2,3<br>$10^{-3}$ | 0,6<br>$10^{-2}$ | 1,6<br>$10^{-2}$ |
| N3    | 3,2        | T-L     | 1,6<br>$10^{-4}$   | 7,0<br>$10^{-4}$  | 1,4<br>$10^{-3}$ | 0,4<br>$10^{-2}$ | 0,8<br>$10^{-2}$ |
| F     | 3,2        | T-L     | 1,4<br>$10^{-4}$   | 8,2<br>$10^{-4}$  | 3,2<br>$10^{-3}$ | 1,0<br>$10^{-2}$ | 2,9<br>$10^{-2}$ |
| E     | 5,0        | T-L     | 1,9<br>$10^{-4}$   | 14,0<br>$10^{-4}$ | 6,1<br>$10^{-3}$ | 1,9<br>$10^{-2}$ | 4,4<br>$10^{-2}$ |
| N02   | 3,2        | L-T     | 1,5<br>$10^{-4}$   | 5,4<br>$10^{-4}$  | 1,8<br>$10^{-3}$ | 0,5<br>$10^{-2}$ | 1,4<br>$10^{-2}$ |
| N01   | 6,0        | L-T     | 1,8<br>$10^{-4}$   | 8,8<br>$10^{-4}$  | 1,4<br>$10^{-3}$ | 0,5<br>$10^{-2}$ | 1,1<br>$10^{-2}$ |
| N1    | 1,6        | L-T     | 1,2  | 4,42              | 1,2              | 0,3              | 0,8              |

## ES 2 220 902 T3

|    |    |     |           |           |           |           |           |           |
|----|----|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|    |    |     | $10^{-4}$ | $10^{-4}$ | $10^{-3}$ | $10^{-2}$ | $10^{-2}$ |           |
| 5  | N1 | 3,2 | L-T       | 1,7       | 4,9       | 1,8       | 0,6       | 1,6       |
|    |    |     |           | $10^{-4}$ | $10^{-4}$ | $10^{-3}$ | $10^{-2}$ | $10^{-2}$ |
| 10 | N2 | 6   | L-T       | 1,9       | 10,4      | 2,5       | 0,7       | 1,3       |
|    |    |     |           | $10^{-4}$ | $10^{-4}$ | $10^{-3}$ | $10^{-2}$ | $10^{-2}$ |
| 15 | N3 | 3,2 | L-T       | 1,66      | 5,1       | 1,6       | 0,4       | 1,0       |
|    |    |     |           | $10^{-4}$ | $10^{-4}$ | $10^{-3}$ | $10^{-2}$ | $10^{-2}$ |
| 20 | E  | 5,0 | L-T       | 1,5       | 7,6       | 2,4       | 0,8       | 2,2       |
|    |    |     |           | $10^{-4}$ | $10^{-4}$ | $10^{-3}$ | $10^{-2}$ | $10^{-2}$ |

Se observa que las chapas de 2024, particularmente para  $\Delta K \geq 20 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ , presentan una velocidad de agrietamiento dos a tres veces más elevada que para el producto según la invención. Este último permite pues intervalos de inspección más largos (a masa estructura determinada) o bien aligeramientos de la estructura a intervalo de inspección fijado.

En lo que se refiere a las curvas R y a los valores de  $\Delta M$ , conviene notar que los valores más significativos con respecto al comportamiento de Id estructura real de una aeronave se sitúan en el campo incluido entre 15 y 60  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ .

En efecto, los esfuerzos de fatiga en una piel de fuselaje suelen ser del orden de los 50 a 100 Mpa, para defectos detectables del orden de los 20 a 50 mm, sabiendo que  $K = \sigma \sqrt{(\pi a)}$ , donde  $\sigma$  es el esfuerzo y el parámetro  $a$  significa el tamaño del defecto.

Para un espaciamiento entre tensores superior a 100 mm, los valores de K con ruptura para una carga límite superior a 200 MPa son superiores a unos 120  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  para las curvas R descritas, con K aparentes ( $K_I$ ) superiores a unos 110  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ . Esto significa que la porción dimensionadora de la curva R está constituida por puntos que corresponden a un avance de grieta estática  $\Delta a_{\text{eff}}$  de más de 20 mm.

También se ha caracterizado la resistencia de las chapas a la corrosión. Se observa que la aleación según la invención muestra intrínsecamente, es decir una vez retirado el enchapado por mecanizado, una resistencia a la corrosión intergranular, medida según la norma ASTM G 110, sensiblemente comparable a la de la 2024 de referencia.

En chapas enchapadas, la medida del potencial de corrosión en el alma y en el enchapado según la norma ASTM G 69 ha dado los resultados indicados en el Cuadro 5 a continuación. Estos resultados no muestran ninguna diferencia significativa en lo que se refiere al intervalo de potencial entre alma y enchapado (característica del poder de protección catódica de un enchapado). Esto es asombroso en la medida en que, de conformidad con los datos publicados (véase particularmente "ASM Handbook", 9<sup>th</sup> Edition, Volumen 13, "Corrosion", página 584, figura 5), la adición de zinc; en una aleación de aluminio disminuye significativamente el potencial de corrosión, lo que hubiera tenido que tener por efecto limitar el intervalo de potencial entre alma y enchapado de la aleación según la invención.

55

60

65

## ES 2 220 902 T3

CUADRO 5

*Potenciales [mV/ECS] e intervalos de potencial [mV]*

| Chapa | Ep [mm] | Potencial del alma [mV/ECS] | Potencial del enchapado [mV/ECS] | Intervalo de potencial [mV] |
|-------|---------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| N02   | 3,2     | -620                        | -768                             | 148                         |
| N01   | 6,0     | -611                        | -801                             | 190                         |
| N1    | 1,6     | -634                        | -772                             | 138                         |
| N1    | 3,2     | -632                        | -775                             | 143                         |
| N2    | 6       | -636                        | -770                             | 134                         |
| N3    | 3,2     | -636                        | -755                             | 119                         |
| E     | 5,0     | -609                        | -775                             | 166                         |

En cambio, y de forma asombrosa, se observa que durante una prueba de corrosión por acoplamiento galvánico en un ensamblaje remachado, el producto según la invención se comporta de manera significativamente mejor. Según las observaciones de la solicitante, esta prueba, que ha sido descrita por: ejemplo en la patente EP 0 623 462 B1, es particularmente pertinente para evaluar la aptitud de chapas enchapadas para su uso en la construcción aeronáutica. La prueba consiste en medir la corriente que se establece naturalmente entre el ánodo (aleación de enchapado colocada en una célula que contiene una solución de  $\text{AlCl}_3$  (0,02 M, desaireada por barboteo de nitrógeno)) y el cátodo "aleación del alma colocada en una célula que contiene una solución de  $\text{NaCl}$  (0,06 M, aireada)), un puente salino garantiza el contacto electrolítico entre las dos células. Los dos elementos (enchapado y alma) tienen la misma superficie (2,54  $\text{cm}^2$ ). Se registran las densidades de corriente de acoplamiento durante todo el tiempo de la prueba. Se observa que la corriente alcanza una etapa después de unas 55 horas y casi no sigue evolucionando durante el tiempo de las pruebas (200 h o 15 días, según la muestra). Los resultados vienen resumidos en el Cuadro 6.

CUADRO 6

*Simulación electroquímica del ensamblaje*

|  | Chapa N2 | Chapa N1 | Chapa F | Chapa E   |
|--|----------|----------|---------|-----------|
| Corriente etapa después de 55 horas [ $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ]              | 1,6      | 1,2      | 2,8     | 2,4       |
| Pérdida de masa medida [ $\text{mg}/\text{cm}^2$ ] después de 5 días de prueba | 1,06     | 0,79     | 1,57    | No medida |

A título de comparación, los ejemplos descritos en el fascículo de patente EP 0 623 462 B1 dan para la aleación estándar 2024 enchapada con una aleación 1070 una corriente etapa de  $3,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

## ES 2 220 902 T3

Se observa que el producto según la invención (N1 y N2) presenta una corriente de corrosión y una pérdida de masa mucho más bajas que el producto estándar según el arte anterior. Para algunas aplicaciones, por ejemplo elementos estructurales para aeronaves, esta ofrece una ventaja muy significativa en términos de vida útil.

### 5 Ejemplo 2

A partir de chapas laminadas en caliente y eventualmente en frío (estado F) de la aleación según la invención (véase el ejemplo 1), se han elaborado varios otros estados metalúrgicos en forma de formato con dimensiones de 600 mm (sentido L) x 160 mm (sentido TL) x espesor. Las chapas brutas de laminado con un espesor de 3,2 mm (en estado  
10 bruto de laminado en frío) o de 6,0 mm (en estado bruto de laminado en caliente) han sido sometidas a una disolución seguida de un temple, una maduración y una tracción controlada, como viene indicado en el Cuadro 7:

CUADRO 7

*Condiciones de elaboración de las chapas del ejemplo 2*

15

20

25

30

35

40

45

| Referencia | Espesor<br>[mm] | Tiempo de<br>disolución<br>a 500° C<br>[min.] | Tiempo de<br>maduración | Tracción<br>controlada |
|------------|-----------------|---|-------------------------|------------------------|
| NOA        | 3,2             | 30  | < 2 h                   | 2 ‰                    |
| NOB        | 3,2             | 30  | < 2 h                   | 4 ‰                    |
| NOC        | 3,2             | 30  | < 2 h                   | 6 ‰                    |
| NOD        | 3,2             | 30  | 24 h                    | 2 ‰                    |
| NOE        | 3,2             | 30  | 24 h                    | 6 ‰                    |
| NOF        | 6,0             | 40  | < 2 h                   | 2 ‰                    |
| NOG        | 6,0             | 40  | < 2 h                   | 4 ‰                    |
| NOH        | 6,0             | 40  | < 2 h                   | 6 ‰                    |
| NOI        | 6,0             | 40  | 24 h                    | 2 ‰                    |
| NOJ        | 6,0             | 40  | 24 h                    | 6 ‰                    |

50

Las referencias que terminan en A, D, F e I corresponden a estados T351. Las diferentes muestras han sido caracterizadas por pruebas de tracción (sentido L y TL) así como por pruebas de tenacidad.

55

La tenacidad ha sido evaluada, en primer lugar, en los sentidos T-L y L-T con ayuda del esfuerzo máximo  $R_c$ , (en MPa) y de la energía de flujo  $E_{ec}$  según la prueba Kahn. El esfuerzo Kahn es igual a la relación de la carga máxima  $F_{m\acute{a}x}$  que puede soportar la probeta en la sección de la probeta (producto del espesor B por la anchura W). La energía de flujo se determina como el área por debajo de la curva Fuerza-Desplazamiento hasta la fuerza máxima  $F_{m\acute{a}x}$  soportada por la probeta. La prueba viene descrita en el artículo "Kahn-type Tear Test and Crack Toughness of Aluminum Alloy Sheet", publicado en la revista Materials Research & Standards, Abril de 1964, p. 151 - 155. La probeta utilizada para la prueba de tenacidad Kahn viene descrita, por ejemplo, en el "Metals Handbook", 8<sup>th</sup> Edition, vol. 1, American Society for Metals, pp. 241-242.

60

La tenacidad también ha sido abordada para las chapas con un espesor de 6 mm, con ayuda de una prueba de tipo curva R, en el sentido T-L, pero en probetas de tamaño más restringido que el que viene descrito en el ejemplo 1. se han utilizado probetas de tipo CT, de anchura  $W = 127$  mm,  $a_0 = 38,5$  mm,  $e =$  espesor de la chapa, con un control de desplazamiento de pistón y una velocidad de tracción de 1 mm/min.

65

Los diferentes resultados vienen indicados en los Cuadros 8 y 9 a continuación.

## ES 2 220 902 T3

CUADRO 8

*Características mecánicas estáticas*

| Referencia | Maduración | Tracción | Características estáticas sentido L |                            |          | Características estáticas sentido TL |                            |          |
|------------|------------|----------|-------------------------------------|----------------------------|----------|--------------------------------------|----------------------------|----------|
|            |            |          | R <sub>m</sub><br>[MPa]             | R <sub>p0,2</sub><br>[MPa] | A<br>[%] | R <sub>m</sub><br>[MPa]              | R <sub>p0,2</sub><br>[MPa] | A<br>[%] |
| NOA        | < 2 h      | 2 %      | 450                                 | 345                        | 21,6     | 444                                  | 307                        | 23,7     |
| NOB        | < 2 h      | 4 %      | 456                                 | 369                        | 21,4     | 448                                  | 322                        | 21,1     |
| NOC        | < 2 h      | 6 %      | 464                                 | 394                        | 17,6     | 453                                  | 339                        | 18,2     |
| NOD        | 24 h       | 2 %      | 457                                 | 351                        | 22,1     | 449                                  | 313                        | 23,2     |
| NOE        | 24 h       | 6 %      | 473                                 | 413                        | 18,7     | 464                                  | 352                        | 18,6     |
| NOF        | < 2 h      | 2 %      | 433                                 | 334                        | 22,5     | 432                                  | 297                        | 21,5     |
| NOG        | < 2 h      | 4 %      | 437                                 | 353                        | 22,3     | 436                                  | 308                        | 21,1     |
| NOH        | < 2 h      | 6 %      | 443                                 | 375                        | 19,5     | 443                                  | 324                        | 20,9     |
| NOI        | 24 h       | 2 %      | 440                                 | 338                        | 24,1     | 443                                  | 308                        | 23,1     |
| NOJ        | 24 h       | 6 %      | 459                                 | 399                        | 20,2     | 460                                  | 347                        | 18,6     |

CUADRO 9

*Características de tenacidad*

| Referencia | Maduración | Tracción | Prueba en probeta «Kahn»       |               | Prueba de curva R en probeta CT127 |                             |
|------------|------------|----------|--------------------------------|---------------|------------------------------------|-----------------------------|
|            |            |          | Re [MPa] / E <sub>ec</sub> [J] |               | Sentido T-L                        |                             |
|            |            |          | Sentido T-L                    | Sentido L-T   | K <sub>app</sub><br>[MPa√m]        | K <sub>eff</sub><br>[MPa√m] |
| NOA        | < 2 h      | 2 %      | 163 /<br>15,0                  | 166 /<br>15,4 | No medido                          |                             |
| NOB        | < 2 h      | 4 %      | 164 /<br>13,3                  | 169 /<br>13,7 | No medido                          |                             |
| NOC        | < 2 h      | 6 %      | 167 /<br>12,3                  | 172 /<br>12,9 | No medido                          |                             |

## ES 2 220 902 T3

|    |     |       |     |               |               |           |       |
|----|-----|-------|-----|---------------|---------------|-----------|-------|
| 5  | N0D | 24 h  | 2 % | 164 /<br>14,3 | 168 /<br>15,5 | No medido |       |
| 10 | N0E | 24 h  | 6 % | 172 /<br>12,0 | 176 /<br>12,4 | No medido |       |
| 15 | N0F | < 2 h | 2 % | 160 /<br>29,0 | 163 /<br>30,7 | 99,3      | 149,2 |
| 20 | N0G | < 2 h | 4 % | 165 /<br>28,4 | 166 /<br>27,8 | 99,9      | 137,6 |
| 25 | N0H | < 2 h | 6 % | 167 /<br>25,5 | 167 /<br>25,1 | 93,8      | 125,5 |
| 30 | N0I | 24 h  | 2 % | 165 /<br>30,0 | 165 /<br>28,9 | 99,6      | 149,3 |
|    | N0J | 24 h  | 6 % | 172 /<br>24,0 | 172 /<br>24,2 | 101,1     | 137,1 |

### 35 Ejemplo 3

Chapas elaboradas según el ejemplo 2 han sido sometidas a un endurecimiento por deformación de 5% (por tracción controlada) después del temple. Los Cuadros 10 y 11 muestran los resultados de las caracterizaciones.

40 CUADRO 10

*Características mecánicas estáticas*

| 45 Chapa | Ep<br>[mm] | Sentido L               |                            |       | Sentido TL              |                            |       |
|----------|------------|-------------------------|----------------------------|-------|-------------------------|----------------------------|-------|
|          |            | R <sub>m</sub><br>[MPa] | R <sub>p0,2</sub><br>[MPa] | A [%] | R <sub>m</sub><br>[MPa] | R <sub>p0,2</sub><br>[MPa] | A [%] |
| 50 N1    | 1,6        | 468                     | 404                        | 20,1  | 456                     | 341                        | 20,6  |
| N1       | 3,2        | 472                     | 408                        | 18,2  | 464                     | 348                        | 19,3  |
| 55 N2    | 6          | 488                     | 422                        | 19,1  | 475                     | 368                        | 20,2  |

60

65

# ES 2 220 902 T3

CUADRO 11

*Resultados de la prueba de curva R en chapas extendidas 5%*

| Chapa | Ep<br>[mm] | Sentido | K <sub>r</sub> [MPa√m] para un valor Δ a <sub>eff</sub> de |          |          |          |          |          |
|-------|------------|---------|--|----------|----------|----------|----------|----------|
|       |            |         | 10<br>mm   | 20<br>mm | 30<br>mm | 40<br>mm | 50<br>mm | 60<br>mm |
| N1    | 1,6        | T-L     | 66   | 91       | 112      | 130      | 148      | 164      |
| N1    | 3,2        | T-L     | 96   | 124      | 144      | 160      | 173      | 186      |
| N2    | 6          | T-L     | 84   | 111      | 131      | 147      | 161      | 173      |
| N1    | 1,6        | L-T     | 86   | 111      | 132      | 152      | 171      | 189      |
| N1    | 3,2        | L-T     | 101  | 133      | 157      | 178      | 195      | 212      |
| N2    | 6          | L-T     | 82   | 112      | 136      | 157      | 175      | 192      |

## ES 2 220 902 T3

### REIVINDICACIONES

1. Producto deformado en caliente, particularmente laminado, extrusionado o forjado, de aleación de tipo AlCuMg, **caracterizado** porque comprende (% en peso):
- Cu 3,80 - 4,30, Mg 1,25 - 1,45, Mn 0,20 - 0,50, Zn 0,40 - 1,30, Fe < 0,15, Si < 0,15, Zr  $\leq$  0,05,  
Ag < 0,01  
otros elementos < 0,05 cada uno y < 0,15 en total, resto Al.
2. Producto según la reivindicación 1, en el que Cu 4,05 - 4,30.
3. Producto según la reivindicación 1 ó 2, en el que Mg 1,28 - 1,42.
4. Producto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que Mn 0,30 - 0,50 y preferentemente Mn 0,35 - 0,48.
5. Producto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que Zn 0,50 - 1,10 y preferentemente Zn 0,50 - 0,70.
6. Producto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que Fe < 0,10.
7. Producto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que Si < 0,10.
8. Producto según la reivindicación 1, en el que Cu < 4,20, Mg < 1,38, Mn < 0,42, Zn  $\geq$  (1,2 Cu - 0,3 Mg + 0,3 Mn - 3,75).
9. Producto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque ha sido disuelto, templado y endurecido por deformación permanente incluida 0,5% y 15%, preferentemente incluida entre 1% y 5% y más preferentemente entre 1,5% y 3,5%.
10. Producto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado** porque el susodicho producto es una chapa con un espesor incluido entre 1 y 16 mm.
11. Producto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado** porque la susodicha chapa es una chapa enchapada en por lo menos una cara con una aleación de la serie 1xxx, y preferentemente con una aleación seleccionada en el grupo constituido por las aleaciones 1050, 1070, 1300 y 1145.
12. Producto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado** porque su resistencia a la ruptura en sentido L y/o sentido TL es superior a 430 MPa y preferentemente superior a 440 MPa.
13. Producto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado** porque su límite de elasticidad en sentido L y/o en sentido TL es superior a 300 MPa y preferentemente superior a 320 MPa.
14. Producto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado** porque su alargamiento a la ruptura en sentido L y/o sentido TL es superior a 19% y preferentemente superior a 20%.
15. Producto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, **caracterizado** porque su tolerancia a los daños Kr, calculada a partir de una curva R obtenida según ASTM E 561 para un valor  $\Delta a_{\text{eff}}$  de 60 mm, es superior a 165 MPa $\sqrt{\text{m}}$  en los sentidos T-L y L-T.
16. Producto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, **caracterizado** porque su tolerancia a los daños Kr, calculada a partir de una curva R obtenida según ASTM E 561 para un valor  $\Delta a_{\text{eff}}$  de 60 mm, es superior a 180 MPa $\sqrt{\text{m}}$  en el sentido L-T.
17. Producto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, **caracterizado** porque su velocidad de propagación de grietas da/dN, determinada según la norma ASTM E 647 en el sentido T-L o L-T para una relación de carga R=0,1 y un valor  $\Delta K$  de 50 MPa $\sqrt{\text{m}}$ , es inferior a 2,5  $10^{-2}$  mm / ciclo y preferentemente inferior a 2,0  $10^{-2}$  mm / ciclo.
18. Chapa enchapada según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, **caracterizada** porque la corriente de corrosión galvánica es inferior a 4  $\mu\text{A}/\text{m}^2$  para una exposición que va hasta 200 horas, durante pruebas de corrosión en un ensamblaje remachado, colocando la aleación del alma en una solución aireada que contiene 0,06 M de NaCl y la aleación de enchapado en una solución a 0,02 M de AlCl<sub>3</sub> desaireada por barboteo de nitrógeno.
19. Chapa plaqueada según la reivindicación 18, **caracterizada** porque la susodicha corriente de corrosión galvánica es inferior a 2,5  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

## ES 2 220 902 T3

20. Elemento de estructura de aeronave realizada a partir de por lo menos un producto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 19.

5 21. Elemento de estructura según la reivindicación 20, **caracterizado** porque el susodicho elemento de estructura es un elemento de piel de fuselaje.

22. Procedimiento de fabricación de un producto deformado en caliente según una de las reivindicación, 1 a 19, que comprende las siguientes etapas:

10 (a) colada de una placa o palanquilla,

(b) homogeneización entre 450°C y 500°C,

15 (c) transformación en caliente por extrusionado, laminado o forjado,

(d) eventualmente una transformación en frío,

(e) disolución entre 480°C y 505°C,

20 (f) temple,

(g) endurecimiento por deformación permanente incluida entre 0,5% y 15%.

25 23. Procedimiento según la reivindicación 22, en el que el endurecimiento por deformación se efectúa para conducir a una deformación permanente incluida, entre 1 y 5% y preferentemente entre 1,5 y 3,5%.

30

35

40

45

50

55

60

65