



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 355 320**

51 Int. Cl.:  
**B21C 23/22** (2006.01)  
**B21K 25/00** (2006.01)  
**B21D 53/92** (2006.01)  
**G02B 6/38** (2006.01)  
**B21B 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08799826 .6**  
96 Fecha de presentación : **18.03.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2125259**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.12.2009**

54 Título: **Producto elaborado que incluye un sensor óptico y su procedimiento de fabricación.**

30 Prioridad: **23.03.2007 FR 07 02141**  
**21.06.2007 US 945459 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**24.03.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**24.03.2011**

73 Titular/es: **ALCAN RHENALU**  
**17, place des Reflets - La Défense 2**  
**92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es: **Ehrstrom, Jean-Christophe;**  
**Cervi, Laurent;**  
**Eberl, Frank y**  
**Salvia, Michelle**

74 Agente: **Mir Plaja, Mireia**

ES 2 355 320 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 2 355 320 T3

## DESCRIPCIÓN

Producto elaborado que incluye un sensor óptico y su procedimiento de fabricación.

### 5 **Campo técnico de la invención**

La presente invención hace referencia a los productos elaborados y a los elementos estructurales de aleación de aluminio, especialmente para la construcción aeronáutica. Los productos elaborados pueden ser productos laminados (como planchas finas, planchas medias, planchas gruesas), productos extruidos (como barras, perfiles o tubos) y  
10 productos forjados.

### **Estado de la técnica**

Las estructuras inteligentes han demostrado sus múltiples aplicaciones susceptibles de aumentar el rendimiento en el campo de la industria aeroespacial. Los datos recogidos por los sensores incorporados en la estructura pueden tener numerosas aplicaciones, tanto para el vuelo como para el diseño y el mantenimiento de los aparatos.

En particular, la inclusión de sensores en los elementos estructurales ofrece posibilidades de mejora en el seguimiento del estado de las estructuras, además de abrir las puertas a nuevas posibilidades de diseño.

Así pues, el cálculo de la tolerancia al deterioro de las estructuras consiste en evaluar el número de ciclos o de picos de tensión que la estructura puede soportar entre el momento en que un fallo es detectable y el momento en que dicho fallo es lo suficientemente grande como para que se considere crítico. La gravedad se puede valorar según un cálculo de la inestabilidad, con la curva R obtenida según la norma ASTM E561 del material, o según una evaluación como, por ejemplo, “la fisura no debe exceder el equivalente al doble del espacio que hay entre dos larguerillos”. El número de picos de tensión calculados de esta forma, o de vuelos, en el caso de una estructura aeronáutica, debe ser inferior o igual al intervalo de inspección previsto para la estructura, dentro de un margen de seguridad mínimo.

El fallo detectable es aquel que puede detectarse visualmente. En un panel rigidizado, sería una fisura de unas pocas decenas de milímetros en la piel del fuselaje, en ambos lados de un rigidizador roto, algo que ocurre con cierta frecuencia. Ahora bien, esta última hipótesis perjudica mucho al cálculo. La carga soportada por el rigidizador, considerando que está roto, se transfiere a la piel donde se encuentra la fisura. Por eso, la resistencia a la fractura por deformación plana aumenta mucho. Además, para garantizar el intervalo de inspección deseado, nos vemos obligados a aumentar el grosor de la piel, con el inconveniente que implica aumentar, en torno a un 20%, el peso del panel.

Si se añade un sensor que indique si el rigidizador está roto o no, se podría conseguir un ahorro de peso del orden que acabamos de mencionar. Dicho sensor puede funcionar según varios principios físicos: vibraciones, corrientes, propagación de la luz.

Incorporar un sensor dentro de un elemento estructural metálico es difícil, especialmente por el riesgo que existe de que se deteriore el sensor o el elemento estructural al fabricarlos.

Por ello, se propone colocar el sensor en la superficie del elemento estructural. La patente US 4.636.638 describe un método para pegar una fibra óptica en la superficie de un elemento estructural cerca de los principales puntos de esfuerzo.

La patente US 5.525.796 describe una mejora del procedimiento anterior, según el cual la fibra óptica, envuelta por una funda metálica, se suelda a la superficie del elemento estructural.

La solicitud de patente CA 2.334.051 describe un método y un sistema para detectar la temperatura y la tensión mecánica mediante haces de fibra óptica dispuestos en forma de red de Bragg sobre un substrato y protegidos mediante una capa protectora. Colocar el sensor sobre la superficie del elemento estructural plantea numerosos problemas: El sensor sólo es capaz de detectar fallos en la superficie y puede sufrir daños accidentales. Además, colocar el sensor en la superficie alarga y encarece la fabricación, porque es un paso que tiene que realizarse durante las últimas fases de fabricación del avión, concretamente después de aplicar el acabado superficial.

La patente US 5.283.852 propone incorporar la fibra óptica dentro un tubo protector al realizar la colada del metal.

No obstante, la deformación del metal durante las etapas de deformación de la pieza colada, necesarias para fabricar el elemento estructural, podría romper la fibra a pesar del tubo protector. Además, si la fibra incorporada dentro del tubo protector no está directamente en contacto con el elemento estructural, no será muy sensible a los esfuerzos ni a las roturas del mismo.

La patente US 6.685.365 propone colocar haces de fibra óptica entre dos láminas de aluminio y unir las a baja temperatura. Este método, pensado para fabricar cables ópticos, no está adaptado a la fabricación de elementos estructurales, ya que las propiedades mecánicas del conjunto son insuficientes.

## ES 2 355 320 T3

El problema al que da respuesta la presente invención es el de incorporar un sensor en forma de fibra dentro de un elemento estructural de aleación de aluminio, sin modificar las propiedades del sensor ni del elemento estructural de forma significativa, para poder detectar un deterioro o roturas del elemento estructural.

### 5 Objeto de la invención

Un primer objeto de la invención es un procedimiento de fabricación de un producto elaborado destinado a la fabricación de un elemento estructural monolítico de aleación de aluminio que comprende una etapa en la que se ensamblan, por deformación en caliente, al menos dos subelementos metálicos tras haber incorporado entre ellos al menos un sensor en forma de fibra que permite detectar el deterioro o la rotura del elemento estructural con el uso.

Un segundo objeto de la invención es un producto elaborado o un elemento estructural monolítico de aleación de aluminio dentro del cual se incorpora al menos un sensor en forma de fibra que permite detectar el deterioro o rotura del elemento estructural, que se caracteriza por estar fabricado el producto mediante un procedimiento según la invención y por que al menos el 80% de la superficie de la funda, o preferiblemente la totalidad de la misma, está en contacto directo con al menos una aleación de aluminio de dicho producto elaborado.

Un tercer objeto de la invención es un panel de fuselaje o de ala que comprende un elemento estructural según la invención.

### Descripción de los dibujos

La figura 1 representa de manera esquemática una fibra óptica.

La figura 2 muestra las radiografías obtenidas de las muestras 1 (Fig. 2a), 2 (Fig. 2b), 3 (Fig. 2c) y 4 (Fig. 2d).

La figura 3 muestra las radiografías obtenidas de las muestras 5 (Fig. 3a), 7 (Fig. 3b), 8 (Fig. 3c) y 9 (Fig. 3d).

La figura 4 es una representación simplificada en negativo de la figura 2 para las muestras 1 (Fig. 4a), 2 (Fig. 4b), 3 (Fig. 4c) y 4 (Fig. 4d).

La figura 5 es una representación simplificada en negativo de la figura 3 para las muestras 5 (Fig. 5a), 7 (Fig. 5b), 8 (Fig. 5c) y 9 (Fig. 5d).

### 35 Descripción detallada de la invención

A menos que se indique lo contrario, las definiciones de la norma europea EN 12258-1 serán de aplicación.

El término “plancha” se utiliza para productos laminados de cualquier grosor.

El término “producto elaborado” hace referencia a un semiproducto listo para ser transformado en elemento estructural, especialmente mediante aserrado, mecanizado o conformación. En algunos casos, el producto elaborado se puede utilizar directamente como elemento estructural. Los productos elaborados pueden ser productos laminados (como planchas finas, planchas medias, planchas gruesas), productos extruidos (como barras, perfiles o tubos) y productos forjados.

El término “elemento estructural” o “elemento estructural” hace referencia a un elemento utilizado en construcción mecánica cuyas características mecánicas estáticas o dinámicas tienen una importancia particular para el rendimiento y la integridad de la estructura, y para el que, generalmente, se efectúa o se recomienda efectuar un cálculo estructural. En el caso de un avión, estos elementos estructurales abarcan, en particular, los elementos que componen el fuselaje, como la piel, los rigidizadores o larguerillos, los mamparos, las cuadernas circulares, elementos de las alas (como el forro, los larguerillos, las costillas y los largueros) y el empenaje, compuesto por los estabilizadores horizontales y verticales, así como los largueros del suelo, los rieles para los asientos y las escotillas. El término “elemento estructural monolítico” hace referencia a un elemento estructural 5 que se ha obtenido uniendo una única pieza de producto elaborado, sin ensamblaje (como el remachado, la soldadura o el encolado), con otra pieza.

Según la invención, se ensamblan, en una etapa de la fabricación de un elemento estructural de aleación de aluminio, al menos dos subelementos metálicos por deformación en caliente, tras haber incorporado entre ellos al menos un sensor en forma de fibra que permite detectar el deterioro o rotura del elemento estructural con el uso.

Así pues, contrariamente a lo que se suele pensar, se puede incorporar un sensor en el elemento estructural en una etapa de la fabricación de deformación en caliente sin provocar la rotura del sensor y conservando unas propiedades de uso satisfactorias del elemento estructural.

El índice de deformación en caliente debe ser suficiente para obtener un elemento estructural monolítico.

Para garantizar un contacto directo entre el sensor y la aleación de aluminio del elemento estructural, el sensor debe introducirse entre al menos dos subelementos metálicos que se ensamblarán mediante deformación en caliente

## ES 2 355 320 T3

para formar una sola pieza metálica. Los subelementos metálicos pueden estar completamente separados antes de la etapa de deformación, pero también pueden presentar una continuidad del material. Los subelementos metálicos se pueden preensamblar con anterioridad a la deformación en caliente mediante encolado, soldadura, remachado o cualquier otro método apropiado para facilitar su solidaridad en el transcurso del ensamblado por deformación en caliente. Cada subelemento representa ventajosamente un volumen significativo, al menos el 10% o, preferiblemente, al menos el 15% del volumen final. La invención hace referencia preferiblemente a piezas obtenidas a partir de placas o palanquillas de aleación de aluminio coladas mediante colada semicontinua, no a partir de piezas obtenidas mediante metalurgia de polvos o sinterización, ya que con estas últimas técnicas no se pueden obtener elementos estructurales con la calidad suficiente para las aplicaciones aeronáuticas. El procedimiento según la invención permite incorporar el sensor en el interior del producto elaborado o del elemento estructural. De esta forma, en un plano perpendicular a la dirección de un sensor cualquiera en forma de fibra, la distancia mínima entre este sensor y la superficie del producto elaborado o del elemento estructural es ventajosamente superior a 0,5 mm o 1 mm y preferiblemente superior a 2 mm o incluso 5 mm y aún más preferiblemente superior a 10 mm. En una forma de realización preferida, la distancia mínima de 5 mm entre un sensor y la superficie del producto elaborado o del elemento estructural, en un plano perpendicular a la dirección de la fibra, es la más elevada de las distancias posibles.

El índice de deformación en caliente está ventajosamente comprendido entre el 2 y el 95% y preferiblemente entre el 10 y el 70%. Se entiende por índice de deformación en caliente la relación entre, por un lado, la diferencia entre la suma de las dimensiones iniciales de los subelementos y las dimensiones finales del producto resultante de la deformación en caliente, y por otro lado, la suma de las dimensiones iniciales de los subelementos, considerando estas dimensiones en la dirección principal de deformación, a partir del momento en que la fibra está en contacto con al menos un subelemento. Para una deformación por aplastamiento o laminado, el índice de deformación en caliente es igual a la relación  $(E_0 - E_f)/E_0$  donde  $E_f$  es el grosor final y  $E_0$  es la suma de los grosores iniciales de los subelementos. Para una deformación mediante extrusión, el índice de deformación en caliente es igual a la relación  $(S_0 - S_f)/S_0$  donde  $S_f$  es la sección final y  $S_0$  es la suma de las secciones iniciales de los subelementos. El índice de deformación en caliente durante la etapa de deformación en caliente es ventajosamente superior al 10% y preferiblemente superior al 15% para poder garantizar la continuidad del material de la pieza obtenida. No obstante, si el índice de deformación en caliente es muy elevado, se puede dañar el sensor fácilmente. Así pues, el índice de deformación en caliente debe ser preferiblemente inferior al 70%, más preferiblemente inferior al 40% y más preferiblemente aún inferior al 25%.

En el caso del laminado, se conoce, por ejemplo, el ensamblaje de planchas por el procedimiento del chapado, en el que dos planchas se ensamblan durante una etapa de laminado en caliente. El forjado en caliente también permite ensamblar dos subelementos metálicos.

Cuando el sensor se introduce entre dos subelementos destinados a ensamblarse mediante laminado o forjado, resulta ventajoso hacerlo solidario a, al menos, uno de los subelementos. En una forma de realización de la invención, el sensor se ubica en una muesca realizada en uno de los dos subelementos, para que esté protegido del contacto directo con el otro subelemento durante la deformación. La anchura de la muesca es preferiblemente del mismo tamaño que el diámetro del sensor para que éste último se mantenga durante la deformación. En una forma ventajosa, la muesca se realiza mediante un rayo láser y preferiblemente al tratamiento láser le sigue un tratamiento superficial de neutralización. En el caso de la extrusión, se conoce, por ejemplo de US 4.215.560, los procedimientos de coextrusión en los que se introduce un hilo en la cámara de extrusión entre dos subelementos formados por las aberturas de una herramienta. En relación con la palanquilla de partida, los subelementos ya se han deformado cuando entran en contacto con el hilo. El índice de deformación en caliente considerado en el marco de la invención corresponde al índice de deformación de los subelementos a partir del momento en el que éstos entran en contacto con la fibra. Debe escogerse el momento óptimo para introducir la fibra: Si se introduce demasiado pronto, provoca una tensión de tracción elevada sobre la fibra debido a la relación de extrusión, mientras que si se introduce demasiado tarde, se reduce la distancia de contacto entre los materiales, hecho que puede tener como consecuencia fallos de contacto entre la fibra y el elemento estructural, además de un fallo de ensamblaje de los subelementos. En el caso de la extrusión, se conoce de la misma forma, por ejemplo de FR 2 876 924 A1, la extrusión de palanquillas compuestas que comprenden al menos dos subelementos. De forma ventajosa, la fibra se puede introducir en una muesca realizada en uno de los subelementos.

La temperatura de deformación en caliente es un parámetro importante del procedimiento. La temperatura de deformación en caliente está ventajosamente comprendida entre 350°C y 550°C y preferiblemente comprendida entre 450°C y 500°C. De hecho, si la temperatura es demasiado baja, el sensor es demasiado poco dúctil y suele romperse durante la deformación. Si la temperatura es demasiado baja, existe también el riesgo de no conseguir una continuidad del material suficiente entre los dos subelementos metálicos. En cambio, si la temperatura es demasiado elevada, las propiedades del sensor se pueden degradar.

El sensor en forma de fibra preferible es una fibra óptica. Entre todos los sensores clásicos, la fibra óptica tiene muchas ventajas. De hecho, su funcionamiento es inmune a las interferencias electromagnéticas. Su resistencia en entornos extremos (productos químicos, materiales radiactivos, vibraciones, temperaturas muy elevadas, sobre todo si la funda y el núcleo no están fabricados con materiales orgánicos) es excelente. Además, cuando se introduce dentro de estructuras metálicas, no necesita aislamiento eléctrico porque la fibra es aislante. Además, sirven simultáneamente como elemento sensor y como vehículo de la información, por lo que el tiempo de respuesta es muy corto.

## ES 2 355 320 T3

La fibra óptica conduce la luz por reflexión entre el núcleo y la funda. La figura 1 representa esquemáticamente un haz de fibra óptica de diámetro  $b$ . El núcleo (2), de diámetro  $a$  e índice de refracción  $n_c$ , está envuelto por una funda (1), con índice de refracción  $n_g$ . El núcleo y la funda se caracterizan por tener un índice de refracción diferente (fibra con salto de índice). No obstante, hay fibras para las que esta diferencia no se expresa mediante un salto de índice sino mediante un gradiente.

Existen dos grandes familias de fibras ópticas: monomodal y multimodal.

Estos dos tipos de fibras se caracterizan por su geometría, en particular por el diámetro del núcleo; por sus propiedades ópticas, en particular por los índices de refracción del núcleo y de la funda; así como por sus condiciones de uso, concretamente por la longitud de onda de la luz a lo largo de la fibra.

La fibra monomodal tiene unas excelentes cualidades de transmisión, a saber, su gran anchura de banda y alta velocidad, y se suele utilizar en el sector de las telecomunicaciones. La fibra multimodal tiene un núcleo de diámetro relativamente grande, es decir, superior a  $10\ \mu\text{m}$ , lo cual simplifica el dispositivo experimental (conexiones y alineación con la fuente de luz), y una gran apertura digital (ángulo máximo que describe el rayo guiado respecto al eje de la fibra). La transmisión o ausencia de transmisión de la luz a través de la fibra óptica permite detectar la rotura del elemento estructural. Esta respuesta binaria se puede obtener con todos los tipos de fibra óptica. Además, la modificación de las propiedades de transmisión de la luz por la fibra óptica debido a la tensión permite, incluso antes de que se rompa, detectar un deterioro del elemento estructural, pero esta respuesta compleja se obtiene más fácilmente con la fibra óptica monomodal.

A pesar de esta característica de la fibra monomodal, es ventajoso utilizar una fibra óptica multimodal, ya que los sensores son resistentes a las temperaturas y deformaciones elevadas. Sin embargo, requieren una gran intensidad luminosa. De manera ventajosa, se utiliza una fibra multimodal cuyo diámetro total  $b$  está entre  $30$  y  $500\ \mu\text{m}$  y preferiblemente entre  $50$  y  $150\ \mu\text{m}$  o  $130\ \mu\text{m}$ . En otra forma de realización de la invención, se utiliza fibra óptica monomodal que incorpora interferómetros (por ejemplo, interferómetros Fabry-Perot) o redes de Bragg. Preferiblemente, en el núcleo y la funda se utiliza fibra multimodal de sílice fundido, porque es más resistente a la temperatura y por su carácter menos local para medir la deformación en comparación con una red de Bragg.

El procedimiento según la invención no exige recubrir siempre el sensor con un revestimiento protector. En particular, un revestimiento protector metálico no siempre es necesario para poder introducir el sensor. En el caso de la fibra óptica, los revestimientos metálicos son caros, pero la invención permite, en ciertas formas de realización, ahorrarse este paso. En una forma de realización ventajosa de la invención, al menos el 80%, o preferiblemente la totalidad, de la superficie de la funda (1) de la fibra óptica multimodal utilizada está en contacto directo con una aleación de aluminio del producto elaborado o del elemento estructural. En otra forma de realización de la invención, se utiliza una fibra recubierta de un revestimiento protector, como un revestimiento metálico, preferiblemente de cobre o de algún polímero, preferiblemente poliimida. El revestimiento protector permite, en determinados casos, manipular las fibras con mayor facilidad y evita que se rompan durante la deformación en caliente.

La temperatura de deformación preferible comprendida entre  $350^\circ\text{C}$  y  $550^\circ\text{C}$  es particularmente ventajosa cuando el sensor es una fibra óptica y, en particular, una fibra óptica multimodal. Se han observado frecuentes roturas de la fibra óptica a temperaturas de deformación inferiores a  $350^\circ\text{C}$  o incluso inferiores a  $450^\circ\text{C}$ . Se puede observar un deterioro de la fibra óptica cuando la temperatura sobrepasa los  $550^\circ\text{C}$ .

Existe un punto óptimo entre el índice de deformación en caliente y la temperatura de deformación. Una temperatura de deformación elevada permite, por ejemplo, utilizar índices de deformación en caliente más pequeños.

En una forma de realización preferida de la invención se efectúan las siguientes etapas sucesivas:

- a) colada de una palanquilla en aleación 2XXX, 6XXX o 7XXX
- b) opcionalmente, homogeneización
- c) coextrusión con fibra óptica multimodal a una temperatura comprendida entre  $350^\circ\text{C}$  y  $550^\circ\text{C}$
- c) solución
- d) temple
- e) tracción controlada
- f) opcionalmente, revenido

El procedimiento según la invención permite fabricar un producto elaborado de aleación de aluminio destinado a la fabricación de un elemento estructural monolítico de aleación de aluminio dentro del cual se incorpora al menos

## ES 2 355 320 T3

5 un sensor en forma de fibra que permite detectar el deterioro o rotura del elemento estructural, que se caracteriza por que al menos el 80% de la superficie de la funda y preferiblemente la totalidad de la superficie de dicho sensor está en contacto directo con al menos una aleación de aluminio del citado producto elaborado. De hecho, la incorporación del sensor durante una etapa de deformación en caliente permite garantizar un contacto directo en todos los puntos.

10 El procedimiento según la invención se puede utilizar para fabricar productos elaborados, preferiblemente planchas y perfiles, y elementos estructurales de aleación de aluminio forjado. En particular, la invención se puede utilizar con aleaciones sin tratamiento térmico, como las aleaciones 1XXX, 3XXX, 5XXX y algunas aleaciones de la serie 8XXX, y de manera ventajosa con aleaciones 5XXX que contengan escandio, con una concentración preferible del 0,001 al 5% en peso y más preferiblemente aún del 0,01 al 0,4% o incluso el 0,3% en peso. Preferiblemente, se utiliza al menos una aleación de aluminio con tratamiento térmico. En particular, la invención se puede utilizar para fabricar productos elaborados o elementos estructurales que contengan una aleación de aluminio del grupo constituido por las aleaciones 2XXX, 4XXX, 6XXX, 7XXX y 8XXX que contienen litio. El producto elaborado es, ventajosamente, una plancha. En 15 una forma de realización ventajosa de la invención, el elemento estructural se obtiene mediante mecanizado integral a partir de una plancha según la invención. En el caso de las planchas de fuselaje, que suelen disponer de un chapado, el sensor se introduce de forma ventajosa entre el alma y el laminado. En una forma de realización ventajosa de la invención también se puede introducir el sensor en las posiciones que, tras el mecanizado integral, se convertirán en rigidizadores integrales.

20 Preferiblemente, el producto elaborado es una plancha destinada a utilizarse como rigidizador en la industria aeronáutica.

25 Los elementos estructurales según la invención son especialmente ventajosos para la realización de paneles de fuselaje o de paneles del ala porque permiten reducir el peso en torno al 20%. De hecho, permiten calcular las estructuras sin tener que hacer la hipótesis de que los únicos fallos detectables son los que se pueden detectar visualmente. Además, los sensores introducidos dentro de los elementos estructurales son sensibles a su rotura sin quedar afectados por los daños accidentales, como ocurre con los sensores colocados en la superficie. Además, los sensores que están completamente envueltos por la aleación de aluminio del elemento estructural están protegidos durante las etapas de 30 fabricación que siguen a la deformación en caliente, como por ejemplo, el mecanizado o el tratamiento superficial. No obstante, la invención no se limita a los elementos estructurales destinados a las aplicaciones aeronáuticas. Los elementos estructurales, según la invención, también pueden tener aplicaciones ventajosas en la construcción aeroespacial, naval, de puentes y de edificios.

### 35 Ejemplo

En este ejemplo, se realizó una plancha en la que se incorporó una fibra óptica. Se mecanizaron dos lotes de dos muestras de aleación AA6056 con las siguientes dimensiones: 100 mm x 17 mm x 0,8 mm y 100 mm x 17 mm x 1,6 mm. Se realizó mediante láser una muesca de 150  $\mu\text{m}$  de ancho y 150  $\mu\text{m}$  de profundidad en sentido longitudinal en la muestra de 0,8 mm de grosor. Se realizó un tratamiento superficial de neutralización tras el tratamiento con láser. En cada muesca, se introdujo una fibra óptica multimodal con núcleo y funda de sílice fundido de un diámetro total de 100  $\mu\text{m}$ .

45 Se introdujo un apilamiento que consistía en una muestra de 0,8 mm de grosor en la que se introdujo la fibra óptica y una muestra de 1,6 mm de grosor que se deformó por aplastamiento en caliente bajo una máquina del tipo "Servotest"<sup>®</sup>. Los ensayos se realizaron a dos temperaturas: 400°C y 475°C. Todos los ensayos permitieron ensamblar las muestras excepto el ensayo n°6, en el que las condiciones de transformación no permitieron ensamblar las dos muestras. Tras la deformación en caliente, las 12 muestras se radiografiaron para observar el estado de la fibra. Las radiografías obtenidas de los ensayos, todas hechas desde arriba, se presentan en las figuras 2 y 4 (ensayos 1 a 4) y en 50 las figuras 3 y 5 (ensayos 5 y 7 a 9). En un caso, se realizó un test para comprobar que la fibra transmitía la luz. Todos los resultados se presentan en la tabla 1.

55

60

65

# ES 2 355 320 T3

TABLA 1

N° ensayo	Aplastamiento (mm)	Índice de deformación en caliente (%)	Temperatura (°C)	Estado de la fibra (observación por radiografía)	Transmisión de la luz
1	1,03	43 %	475	Rota	No calculado
2	1	42 %	475	Rota	No calculado
3	1,53	64 %	475	Parece intacta	No calculado
4	0,62	26 %	475	Parece intacta	No calculado
5	0,4	17 %	475	Parece intacta	Sí
6	0,44	18 %	400		
7	1,65	69 %	400	Rota	No calculado
8	1,65	69 %	400	Rota	No calculado
9	1,03	43 %	400	Rota	No calculado

La deformación en caliente a una temperatura de 475°C permite, en la mayoría de los casos, obtener una fibra intacta. Los índices de deformación en caliente del 17 y el 26% parecen ser particularmente favorables.

# ES 2 355 320 T3

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de fabricación de un producto elaborado destinado a la fabricación de un elemento estructural monolítico de aleación de aluminio que comprende una etapa en la que se ensamblan, por deformación en caliente, al menos dos subelementos metálicos tras haber incorporado entre ellos al menos un sensor en forma de fibra que permite detectar el deterioro o rotura del elemento estructural con el uso.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que el índice de deformación en caliente está comprendido entre el 2% y el 95% y preferiblemente entre el 10% y el 70%.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 2 en el que la temperatura está comprendida entre 350°C y 550°C durante dicha deformación en caliente.
- 15 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 en el que dicho sensor en forma de fibra es una fibra óptica multimodal.
5. Procedimiento según la reivindicación 4 en el que dicha fibra tiene un diámetro total comprendido entre 30 y 500  $\mu\text{m}$ .
- 20 6. Procedimiento según la reivindicación 4 o la reivindicación 5 en el que el núcleo y la funda de dicha fibra son de sílice fundido.
- 25 7. Producto elaborado de aleación de aluminio, destinado a la fabricación de un elemento estructural monolítico de aleación de aluminio dentro del cual se incorpora al menos un sensor en forma de fibra que permite detectar el deterioro o rotura del elemento estructural, que se **caracteriza** por que el producto ha sido fabricado mediante un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, y por que al menos el 80% de la superficie de la funda y preferiblemente la totalidad de la superficie de dicho sensor está en contacto directo con al menos una aleación de aluminio de dicho producto elaborado.
- 30 8. Producto elaborado según la reivindicación 7 en el que la distancia entre cualquier sensor y la superficie del producto elaborado, en un plano perpendicular a la dirección de dicho sensor en forma de fibra, es superior a 0,5 mm y preferiblemente superior a 5 mm.
- 35 9. Producto elaborado según la reivindicación 7 o la reivindicación 8 en el que dicho sensor en forma de fibra es una fibra óptica multimodal.
10. Producto elaborado según la reivindicación 9 en el que dicha fibra tiene un diámetro total comprendido entre 30 y 500  $\mu\text{m}$ .
- 40 11. Producto elaborado según la reivindicación 9 o la reivindicación 10 en el que el núcleo y la funda de dicha fibra son de sílice fundido.
- 45 12. Producto elaborado según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11 en el que al menos el 80% de la superficie de la funda y preferiblemente la totalidad de la superficie de la funda (1) de la fibra óptica multimodal utilizada está en contacto directo con al menos una aleación de aluminio de dicho producto.
13. Producto elaborado según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12 que comprende una aleación de aluminio perteneciente al grupo de las aleaciones 2XXX, 4XXX, 6XXX, 7XXX y 8XXX que contienen litio.
- 50 14. Producto elaborado según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 13 consistente en una plancha.
15. Producto elaborado según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 13 consistente en un perfil.
- 55 16. Elemento estructural obtenido a partir de un producto elaborado según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 15.
17. Panel de fuselaje que comprende un elemento estructural según la reivindicación 16.
- 60 18. Panel de ala que comprende un elemento estructural según la reivindicación 16.
- 65

Figura 1

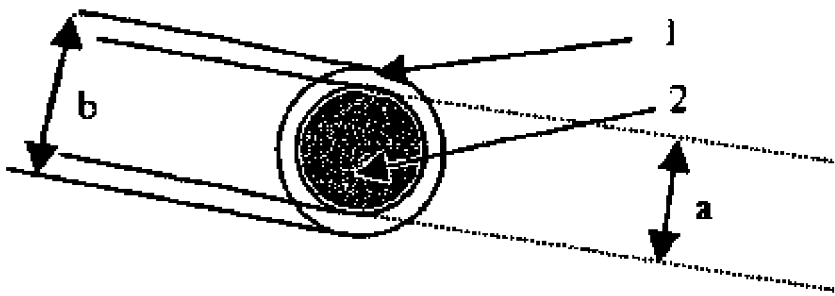
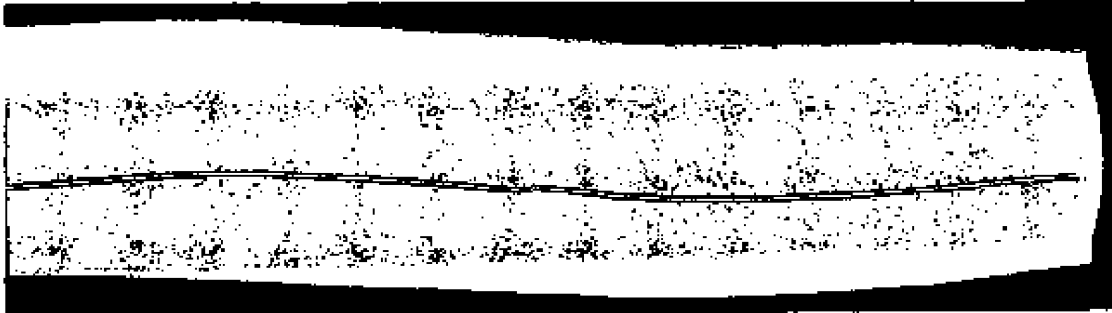
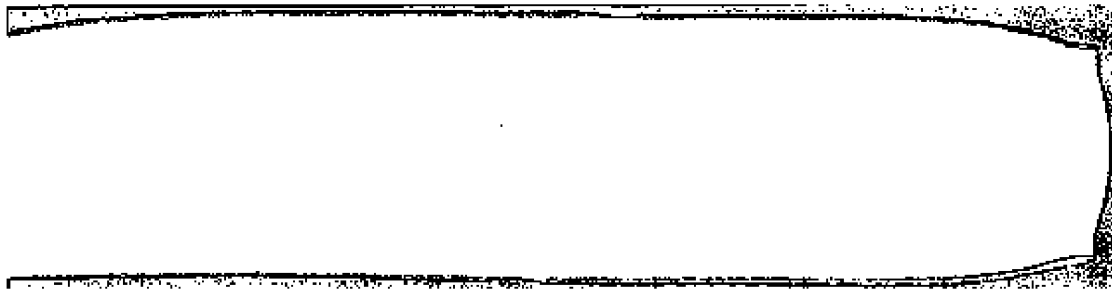


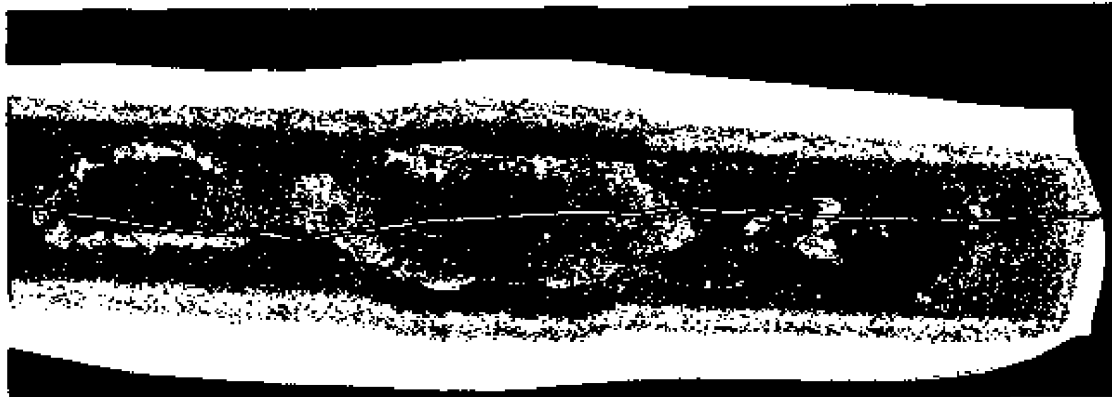
Figura 2



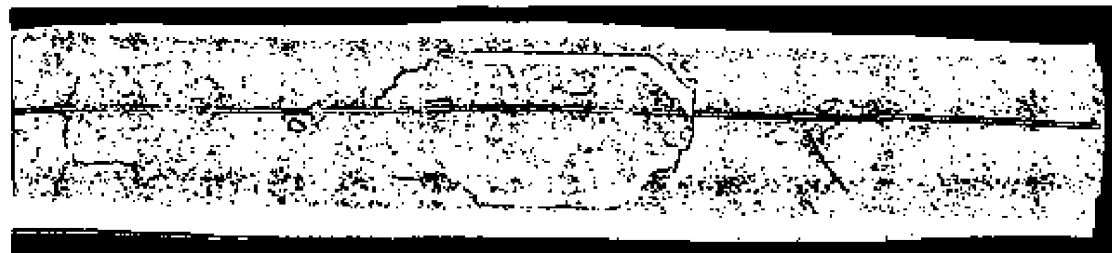
*Figura 2a: Ensayo 1*



*Figura 2b: Ensayo 2*

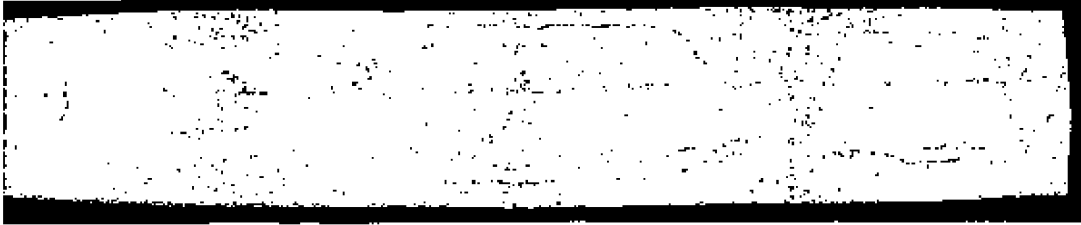


*Figura 2c: Ensayo 3*

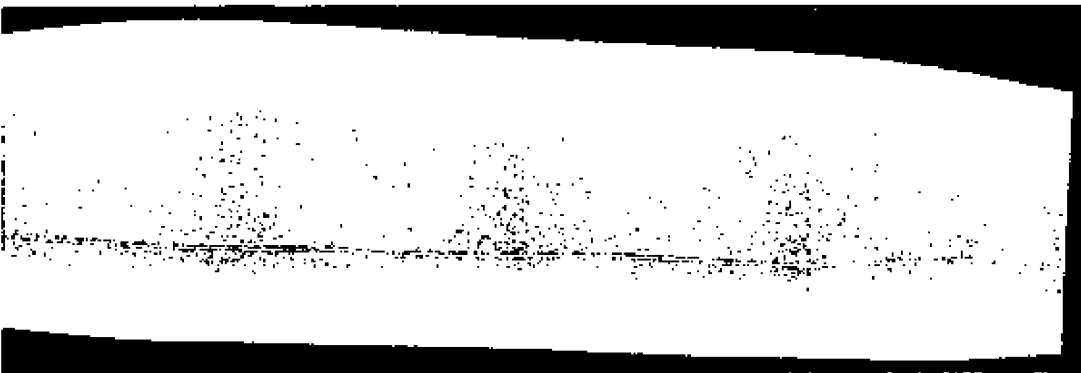


*Figura 2d: Ensayo 4*

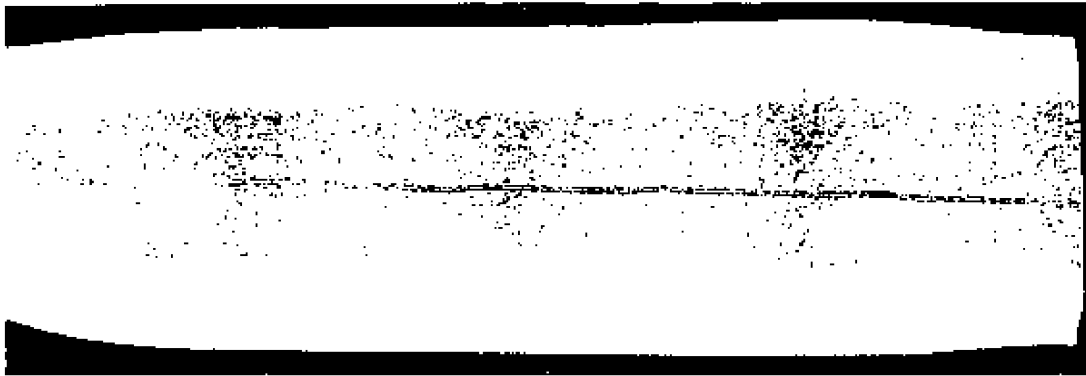
Figura 3



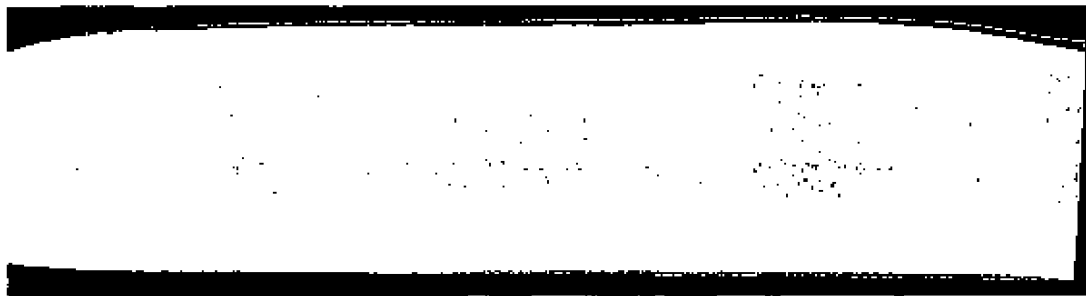
*Figura 3a: Ensayo 5*



*Figura 3b: Ensayo 7*

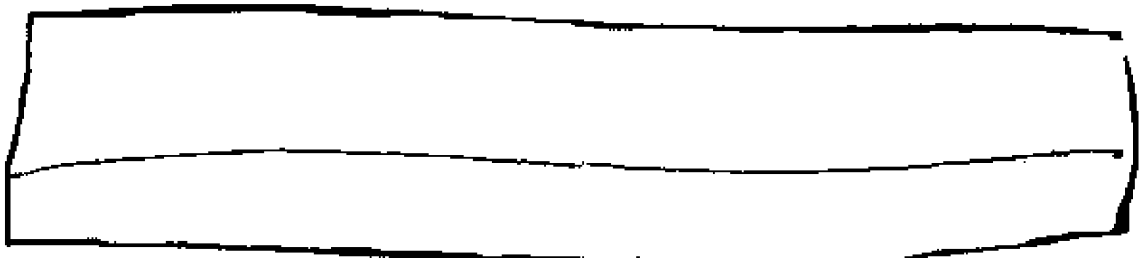


*Figura 3c: Ensayo 8*

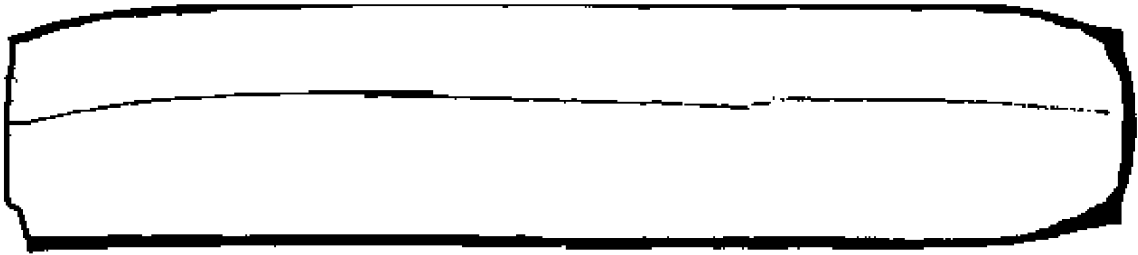


*Figura 3d: Ensayo 9*

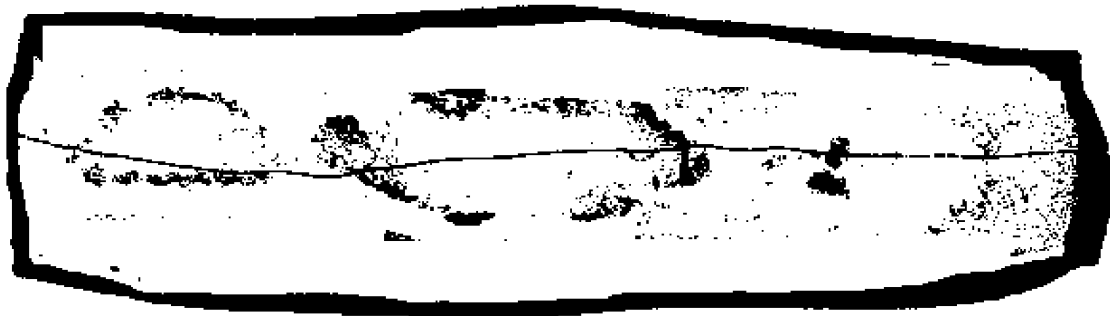
Figura 4



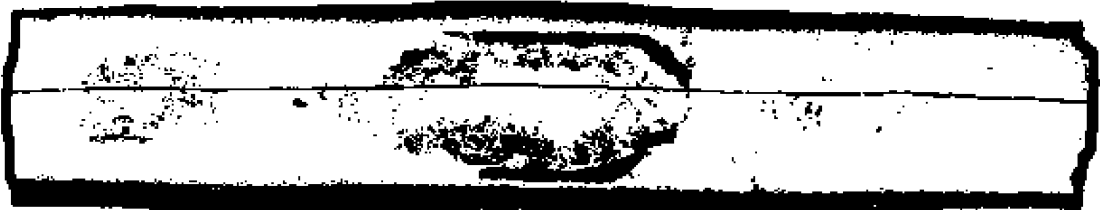
*Figura 4a: Ensayo 1*



*Figura 4b: Ensayo 2*



*Figura 4c: Ensayo 3*

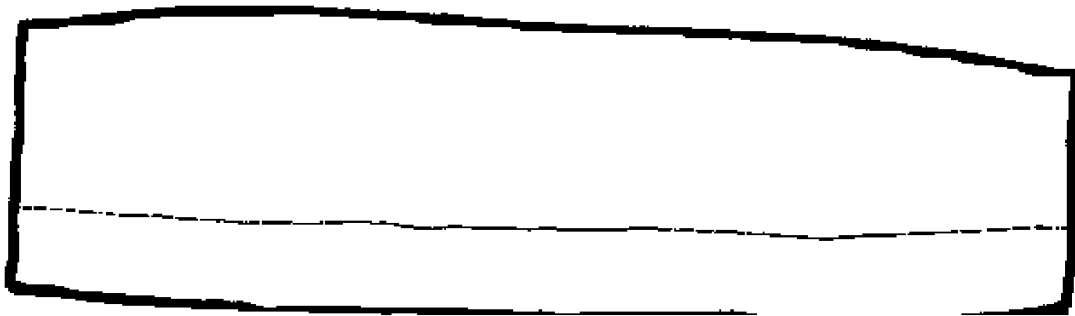


*Figura 4d: Ensayo 4*

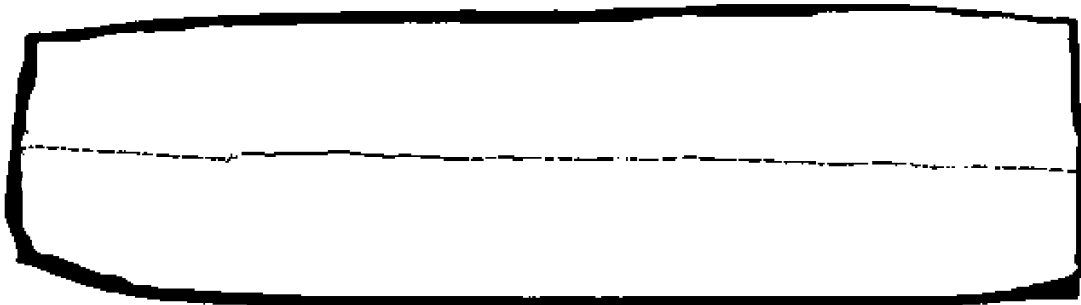
Figura 5



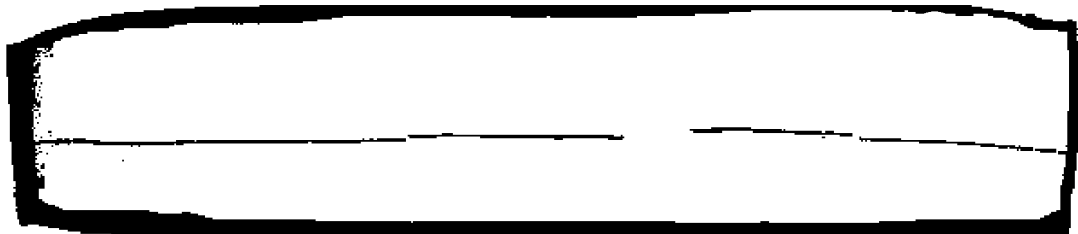
*Figura 5a: Ensayo 5*



*Figura 5b: Ensayo 7*



*Figura 5c: Ensayo 8*



*Figura 5d: Ensayo 9*