



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: 2 660 050

51 Int. CI.:

B64C 1/12 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

Fecha de presentación y número de la solicitud europea: 15.04.2016 E 16165511 (3)
Fecha y número de publicación de la concesión europea: 29.11.2017 EP 3085616

(54) Título: Tiras antifisuras incrustadas en estructuras metálicas

(30) Prioridad:

24.04.2015 US 201514696364

Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente: 20.03.2018

(73) Titular/es:

THE BOEING COMPANY (100.0%) 100 North Riverside Plaza Chicago, IL 60606-2016, US

(72) Inventor/es:

NORDMAN, PAUL S.

(74) Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

DESCRIPCIÓN

Tiras antifisuras incrustadas en estructuras metálicas

Antecedentes

Es posible añadir bandas antifisuras al revestimiento de una aeronave para dotarla de tolerancia al daño. Por ejemplo, es posible añadir bandas antifisuras para detener la propagación de fisuras en un revestimiento de aeronave.

A falta de bandas antifisuras, pueden configurarse estructuras de refuerzo tales como bastidores y larguerillos para detener la propagación de fisuras en el revestimiento de una aeronave. Estas estructuras de refuerzo se aumentan de tamaño para soportar tanto cargas regulares como cargas de detención de daño.

Normalmente, las tiras antifisuras se sujetan y/o se adhieren de manera individual a porciones específicas de una superficie interna del revestimiento de aeronave.

Es con respecto a estas y otras consideraciones por lo que se presenta la divulgación realizada en el presente documento.

El documento US 6814823 divulga un sistema y método de fabricación de un objeto tridimensional por deposición secuencial de material y su refuerzo con fibras.

Sumario

20

25

30

35

De acuerdo con la invención, un método comprende la incrustación de bandas antifisuras en la estructura metálica de una aeronave que tiene un contorno y espesor completamente formados. Las bandas antifisuras incluyen tiras de fibras que son esencialmente más resistentes y rígidas que la estructura metálica de aeronave. Las fibras están incrustadas por debajo de al menos una superficie de la estructura metálica de aeronave por consolidación ultrasónica.

De acuerdo con otra realización del presente documento, un sistema comprende una estructura metálica, incluyendo las bandas antifisuras fibras que son esencialmente más resistentes y rígidas que la estructura metálica, y un ejecutor terminal para incrustar las fibras de las bandas antifisuras por debajo de una superficie de la estructura metálica. El ejecutor terminal incluye un cabezal para depositar las tiras sobre la superficie de la estructura metálica, una bocina con forma de rueda para aplicar presión en las fibras mientras se depositan las fibras y un generador para aplicar vibraciones ultrasónicas en la bocina con forma de rueda.

De acuerdo con la invención, una aeronave comprende un fuselaje, un conjunto de ala y un empenaje. El revestimiento metálico de al menos uno del fuselaje, el conjunto de ala y el empenaje incluye bandas antifisuras incrustadas. Las bandas antifisuras incrustadas incluyen fibras incrustadas por debajo de una superficie del revestimiento metálico. Las fibras son esencialmente más rígidas y resistentes que el revestimiento metálico. Las bandas antifisuras no cubren por completo el revestimiento metálico.

Estas características y funciones pueden conseguirse de manera independiente en varias realizaciones o pueden combinarse en otras realizaciones. Es posible observar detalles adicionales de las realizaciones con referencia a la siguiente descripción y a los siguientes dibujos.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es una ilustración de un método para añadir características de detención de daño a una estructura metálica de aeronave.

Las FIGS 2A y 2B son ilustraciones de un revestimiento de aeronave que tiene bandas antifisuras incrustadas.

40 La FIG. 3 es una ilustración de un sistema para incrustar bandas antifisuras en una estructura de aeronave.

La FIG. 4 es una ilustración de una aeronave.

La FIG. 5 es una ilustración de un panel de revestimiento antes de incrustar las bandas antifisuras.

La FIG. 6 es una ilustración del panel de revestimiento tras haber incrustado las bandas antifisuras.

Descripción detallada

15

20

25

40

50

Se hace referencia a la FIG. 1, que ilustra un método para añadir características de detención de daño a un revestimiento metálico de aeronave. El revestimiento metálico de aeronave puede incluir una o más láminas de un metal tal como el aluminio.

Las características de detención de daño incluyen bandas antifisuras, que están diseñadas y colocadas para detener la propagación de fisuras en el revestimiento metálico de aeronave. Cada banda antifisuras tiene la forma de una tira de fibras que se extienden preferentemente en una única dirección (esto es, las fibras son unidireccionales). En algunas configuraciones, sin embargo, las fibras pueden tener forma de tejido o malla.

Estas *fibras son* esencialmente más resistentes que el revestimiento metálico de aeronave. Las fibras pueden ser al menos seis veces más resistentes que el revestimiento metálico de aeronave.

Preferentemente, las bandas antifisuras no están incrustadas en la totalidad del revestimiento metálico de aeronave. Si las fibras son esencialmente más resistentes que el revestimiento metálico de aeronave, entonces, una fisura en el revestimiento metálico de aeronave puede estar soportada por una banda antifisuras relativamente más estrecha. Considérese un ejemplo en el que las fibras tienen una resistencia de 3,103 GPa (450 ksi) y el revestimiento metálico de aeronave tiene una resistencia de 483 MPa (70 ksi). Si el revestimiento metálico de aeronave y la banda antifisuras tienen cada uno un 50 % del área con un 50 % de volumen de fibra, la resistencia de la banda antifisuras incrustada es, en teoría, 1,793 GPa (260 ksi). Considérese ahora que un revestimiento de 1,016 mm (0,040 pulgadas) de grosor en una condición de tolerancia al daño soporta una carga a una presión de 37,9 Mpa (20 ksi), y que las bandas antifisuras están separadas entre sí a 45,72 cm (18 pulgadas). Supóngase que una fisura se propaga en el revestimiento metálico de aeronave entre dos bandas antifisuras. Para esta fisura de 45,72 cm (18 pulgadas) de ancho, la carga en cada extremo de la fisura es 37,9 MPa x 45,72 cm x 1,016 mm /2 = 3.266 kg (20 ksi x 18 in x .040 in / 2 = 7,200 lb). Si la resistencia de la región de banda antifisuras incrustada es 1,793 GPa (260 ksi), entonces el área de banda antifisuras requerida para soportar la carga es 3.266 kg / 1,793 GPa = 17,87 mm² (7.200 lb / 260 ksi = 0.0277 pulgadas cuadradas). Si cada banda antifisuras tiene un espesor de 0.254 mm (0.010 pulgadas), y si las bandas antifisuras están incrustadas en superficies opuestas del revestimiento metálico de aeronave, entonces el ancho de cada banda antifisuras puede ser 17,87 mm² / 0,254 mm = 35,31 mm (.0277 in²/.010 in/2 = 1,39 pulgadas). Por lo tanto, unas bandas antifisuras muy estrechas pueden soportar la carga de la fisura.

El revestimiento metálico de aeronave es esencialmente más grueso que las bandas antifisuras. En general, la relación entre el espesor de revestimiento y el espesor de banda antifisuras es de aproximadamente 10:1.

La relación entre el espesor de revestimiento y el diámetro de fibra es de aproximadamente 100:1. Tan solo como un ejemplo, un tipo de fibra individual tiene un diámetro de 10,16 μ m (0,0004 pulgadas) de diámetro y el revestimiento metálico de aeronave tiene un espesor de 101,6 μ m (0,040 pulgadas). Las fibras pueden tener forma de mechas (una mecha es un conjunto suelto de fibras sin retorcer). Por ejemplo, una mecha tiene 400 fibras.

Las mechas pueden estar dispuestas lado a lado. Por ejemplo, una banda antifisuras que tiene un ancho de tres pulgadas puede formarse extendiendo 75 mechas lado a lado.

Las fibras pueden ser esencialmente más rígidas que el revestimiento metálico de aeronave. Las fibras pueden ser al menos cinco veces más rígidas que la estructura metálica de aeronave. En algunas configuraciones, sin embargo, las fibras pueden ser menos de cinco veces más rígidas y pueden ser incluso tan rígidas como el revestimiento metálico de aeronave.

Las fibras también pueden tener una deformación a la rotura más baja que la estructura metálica de aeronave.

Las fibras pueden ser metálicas o no metálicas, siempre que sean esencialmente más resistentes que el revestimiento metálico de aeronave. Para los revestimientos metálicos de aeronave hechos de aluminio y metales similares, las fibras pueden seleccionarse de un grupo que consiste en fibras de aramida, fibras cerámicas y fibras de carburo de silicio. Estas fibras son esencialmente más rígidas que el revestimiento de aluminio de aeronave y tienen una deformación a la rotura más baja que el revestimiento de aluminio de aeronave. Estas fibras también son compatibles con el aluminio y no hacen que el revestimiento de aluminio de aeronave se corroiga.

En el bloque 110, el método comienza con un revestimiento metálico de aeronave que tiene un contorno y espesor completamente formados. La razón para comenzar con tal estructura es que doblar y estirar el revestimiento metálico de aeronave resultará complicado después de haber incrustado las bandas antifisuras. Es posible retirar posteriormente porciones del revestimiento metálico de aeronave (por ejemplo, pueden formarse aperturas, puede añadirse un sistema de pintura) sin afectar al espesor y contorno del revestimiento metálico de aeronave.

ES 2 660 050 T3

Se hace referencia adicional a la FIG. 2A. En el bloque 120 del método, las bandas antifisuras se incrustan en el revestimiento metálico 210 de aeronave al incrustar ovillos de fibras 200 por debajo de al menos una superficie 212 del revestimiento metálico 210 de aeronave por consolidación ultrasónica. En la FIG. 2A, las fibras 200 incrustadas se representan mediante líneas discontinuas y las fibras 200 antes de ser incrustadas se representan mediante líneas continuas. Las fibras 200 pueden incrustarse al menos a 25,4 µm (0,001 pulgadas) por debajo de la superficie 212 del revestimiento metálico 210 de aeronave.

La consolidación ultrasónica puede incluir (a) la aplicación de presión usando una bocina 230 con forma de rueda para forzar las fibras 200 contra el revestimiento metálico 210 de aeronave mientras que (b) se aplican vibraciones ultrasónicas de alta frecuencia (normalmente 20.000 hercios) a las fibras 200 y al revestimiento metálico 210 de aeronave. Esta combinación de presión y vibraciones hace que las fibras 200 se incrusten en el revestimiento metálico 210 de aeronave. En algunos casos, el revestimiento metálico 210 de aeronave puede calentarse hasta unos 149 °C (300 °F) para un procesamiento mejor. A continuación, se describe un ejemplo de un sistema para incrustar las bandas antifisuras.

10

20

30

35

Las bandas antifisuras pueden incrustarse por debajo de una única superficie 212 del revestimiento metálico 210 de aeronave (ya sea una superficie interna o una superficie externa), como se ilustra en la FIG. 2A, o pueden incrustarse por debajo de ambas superficies del revestimiento metálico 210 de aeronave.

Se hace referencia adicional a la FIG. 2B, que ilustra las fibras 200 incrustadas por debajo de las superficies opuestas 212 y 214 del revestimiento metálico 210 de aeronave. Las bocinas 230 y 240 con forma de rueda en ambas superficies 212 y 214 aplican presión de incrustación y transmiten vibraciones acústicas a las fibras 200 y al revestimiento metálico 210 de aeronave. Las vibraciones se aplican preferentemente a ambas superficies 212 y 214 del revestimiento metálico 210 de aeronave. Si las vibraciones se aplican únicamente a una superficie 212 o 214, la inercia del revestimiento metálico 210 de aeronave puede evitar que las vibraciones incrusten las fibras 200 por debajo de la otra superficie.

Con referencia a la FIG. 1, en el bloque 130, el revestimiento metálico de aeronave con las bandas antifisuras incrustadas está ensamblado en una subestructura de refuerzo. Por ejemplo, el revestimiento metálico de aeronave puede sujetarse a unos montantes de refuerzo tales como bastidores y larguerillos.

Las bandas antifisuras incrustadas aumentan a nivel local la resistencia del revestimiento metálico de aeronave para soportar una carga que se propaga desde un área dañada. Las bandas antifisuras incrustadas funcionan tan bien como, o mejor que, las bandas antifisuras convencionales, las cuales se adhieren o se fijan a una superficie del revestimiento metálico de aeronave.

Sin embargo, puesto que las bandas antifisuras están incrustadas en el revestimiento metálico de aeronave, estas pueden ser más pequeñas que las bandas antifisuras convencionales. Como resultado, las bandas antifisuras incrustadas pueden ser más ligeras que las bandas antifisuras convencionales. Las bandas antifisuras más ligeras pueden reducir el peso, combustible y otros costes de funcionamiento de la aeronave. Además, se elimina el material y los procesos para afianzar las bandas antifisuras incrustadas (por ejemplo, sujeciones o adhesivo).

El método no está limitado al revestimiento metálico de aeronave. Este puede usarse para incrustar bandas antifisuras en otras estructuras metálicas de aeronave. Por ejemplo, las bandas antifisuras pueden incrustarse por debajo de las superficies de las estructuras metálicas de aeronave tales como montantes de refuerzo metálicos (por ejemplo, bastidores, larguerillos, largueros, mamparos de presión y costillas).

A continuación, se hace referencia a la FIG. 3, que ilustra un sistema 310 de incrustación para incrustar bandas antifisuras en una estructura metálica. El sistema 310 de incrustación incluye un soporte 305 (por ejemplo, un tablero) para apoyar la estructura metálica y un ejecutor terminal 320 para incrustar las fibras de las bandas antifisuras por debajo de al menos una superficie de la estructura metálica. El ejecutor terminal 320 incluye un cabezal 330 para depositar las tiras de las fibras sobre una superficie de la estructura metálica, una bocina 340 con forma de rueda para presionar las fibras depositadas en la estructura metálica y un generador 350 (por ejemplo, transductores acústicos) para aplicar vibraciones ultrasónicas en la bocina 340 con forma de rueda. La bocina 340 con forma de rueda transmite las vibraciones ultrasónicas a las fibras depositadas a medida que las fibras depositadas están siendo presionadas al interior de la estructura metálica.

El ejecutor terminal 320 también puede incluir una fileta 360 para almacenar las mechas de fibras. La fileta 360 suministra las mechas al cabezal 330.

El sistema 310 de incrustación también puede incluir un sistema 370 de posicionamiento y orientación. El sistema 370 de posicionamiento y orientación puede incluir, por ejemplo, un robot, un pórtico o una combinación de los dos. El sistema 370 de posicionamiento y orientación puede posicionar y orientar el ejecutor terminal 320 con relación al soporte 305 o puede posicionar y orientar el soporte 305 con relación al ejecutor terminal 320, o puede realizar una

ES 2 660 050 T3

combinación de los dos.

Aunque la FIG. 3 ilustra un único ejecutor terminal 320, el sistema 310 de incrustación no está limitado a ello. A modo de primer ejemplo, el sistema 310 de incrustación puede tener al menos un ejecutor terminal 320 adicional para incrustar bandas antifisuras por debajo de otra superficie (por ejemplo, opuesta) de la estructura metálica. A modo de segundo ejemplo, el sistema 310 de incrustación puede incluir ejecutores terminales 320 diferentes para incrustar bandas antifisuras en direcciones diferentes en la estructura metálica. A modo de tercer ejemplo, pueden usarse múltiples ejecutores terminales 320 para incrustar bandas antifisuras por debajo de porciones diferentes de la misma superficie.

A continuación, se hace referencia a la FIG. 4, que ilustra una aeronave 410. La aeronave 410 incluye un fuselaje 420, conjunto 430 de ala y un empenaje 440. Cada una de estas estructuras 420, 430 y 440 incluye un revestimiento metálico 422, 432, 442 y una subestructura de refuerzo 424, 434 y 444. La subestructura de refuerzo 424 del fuselaje 420 incluye bastidores y larguerillos. Las subestructuras de refuerzo 434 y 444 del conjunto 430 de ala y del empenaje 440 incluyen largueros, costillas y larguerillos. El revestimiento metálico 422, 432 y 442 de al menos uno del fuselaje 420 (es decir, revestimiento de fuselaje de aeronave), el conjunto 430 de ala y el empenaje 440 incluye bandas antifisuras incrustadas.

En algunas aeronaves 410, el revestimiento puede tener forma de paneles. Un panel de revestimiento incluye un revestimiento metálico de aeronave y puede incluir rigidizadores.

La FIG. 5 ilustra un panel 510 de revestimiento para un fuselaje antes de haber incrustado las bandas antifisuras. El revestimiento 520 del panel 510 de revestimiento tiene un contorno y espesor completamente formados. Las bandas antifisuras se incrustarán antes de fijar ningún montante de refuerzo al revestimiento 520.

La FIG. 6 ilustra el panel 510 de revestimiento tras haber incrustado una cuadrícula ortogonal de bandas antifisuras 610 y 620. Algunas de las bandas antifisuras 610 se extienden en dirección circunferencial, y otras bandas antifisuras 620 se extienden en dirección longitudinal o de delante hacia la popa. Las bandas antifisuras longitudinales 620 entrecortan las bandas antifisuras circunferenciales 610 en ángulos esencialmente rectos. En una intersección de dos bandas antifisuras 610 y 620, una de las bandas antifisuras está incrustada a mayor profundidad que la otra de las bandas antifisuras.

Un primer conjunto de bandas antifisuras 610 y 620 pueden estar incrustado por debajo de una superficie interior del revestimiento 520 y un segundo conjunto de bandas antifisuras 610 y 620 puede estar incrustado por debajo de una superficie externa del revestimiento 520. Por el contrario, las bandas antifisuras convencionales se fijan únicamente a una superficie interna de revestimiento.

Si las bandas antifisuras 610 y 620 están incrustadas por debajo de tanto la superficie interna como externa, las bandas antifisuras circunferenciales 610 incrustadas por debajo de las superficies interna y externa están preferentemente alineadas, y las bandas antifisuras longitudinales 620 incrustadas por debajo de las superficies interna y externa están preferentemente alineadas. Sin embargo, las bandas antifisuras 610 y 620 no se limitan a ello.

En el fuselaje, las bandas antifisuras circunferenciales 610 pueden colocarse en bastidores, pero no están limitadas a ello. las bandas antifisuras longitudinales 620 pueden colocarse en larguerillos, pero no están limitadas a ello.

Las bandas antifisuras no están limitadas a una cuadrícula ortogonal. Por ejemplo, las bandas antifisuras pueden estar dispuestas en un patrón con forma de diamante.

40

20

25

30

35

REIVINDICACIONES

- 1. Un método que comprende la incrustación de bandas antifisuras en una estructura metálica de aeronave que tiene un contorno y espesor completamente formados, incluyendo las bandas antifisuras tiras de fibras (200) que son esencialmente más resistentes y rígidas que la estructura metálica de aeronave, estando incrustadas las fibras por debajo de al menos una superficie (212) de la estructura metálica de aeronave por consolidación ultrasónica, en donde las fibras (200) están incrustadas en superficies internas y externas del revestimiento metálico (210) de aeronave, en donde se aplica una presión y unas vibraciones de incrustación en las fibras en ambas superficies del revestimiento metálico de aeronave durante la consolidación ultrasónica, y que comprende, además, el ensamblado del revestimiento metálico de aeronave a una subestructura de refuerzo tras haber incrustado las bandas antifisuras en el revestimiento metálico de aeronave.
- 2. El método según la reivindicación 1, en donde las fibras (200) son al menos seis veces más resistentes que la estructura metálica de aeronave.
- 3. El método según las reivindicaciones 1 o 2, en donde las fibras (200) son al menos cinco veces más rígidas que la estructura metálica de aeronave.
- 4. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las bandas antifisuras no cubren por completo la estructura metálica de aeronave.
 - 5. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, la formación completa de la estructura metálica de aeronave antes de incrustar las bandas antifisuras.
- 6. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las fibras (200) se seleccionan de un grupo que consiste en fibras de aramida, fibras cerámicas y fibras de carburo de silicio.
 - 7. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las fibras (200) de cada banda antifisuras son unidireccionales y están incrustadas en forma de mecha; y en donde las mechas están incrustadas al menos a 25,4 µm (0,001 pulgadas) por debajo de al menos una superficie (212) de la estructura metálica de aeronave.
- 8. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la estructura metálica de aeronave incluye un revestimiento metálico (210) de aeronave; y en donde las fibras (200) están incrustadas en el revestimiento metálico de aeronave.
- 9. El método según la reivindicación 8, en donde una relación entre el espesor de revestimiento y el espesor de banda antifisuras es de aproximadamente 10:1, en donde el revestimiento metálico (210) de aeronave incluye el revestimiento de fuselaje de aeronave, y en donde las bandas antifisuras se extienden en direcciones circunferenciales y longitudinales por el revestimiento de fuselaje de aeronave.
 - 10. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la estructura metálica de aeronave incluye un revestimiento metálico de aeronave que está en forma de paneles, y en donde las fibras (200) están incrustadas por debajo de las superficies interior y exterior del revestimiento metálico de aeronave.
- 35 11. Método para proporcionar una aeronave que comprende la incrustación de bandas antifisuras en una estructura metálica de aeronave de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
 - 12. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde una bocina (230) con forma de rueda aplica una presión de incrustación en las fibras (200), y en donde las vibraciones ultrasónicas se aplican en la bocina a medida que la bocina presiona las fibras al interior de la estructura metálica.
- 40 13. Una aeronave (410) que comprende:

un fuselaje (420);

10

un conjunto (430) de ala; y

un empenaje (440);

en donde el revestimiento metálico de al menos uno del fuselaje, el conjunto de ala y el empenaje incluye bandas 45 antifisuras incrustadas, incluyendo las bandas antifisuras incrustadas fibras incrustadas por debajo de una superficie del revestimiento metálico, siendo las fibras esencialmente más rígidas y más resistentes que el revestimiento

ES 2 660 050 T3

metálico, **caracterizado por que** las bandas antifisuras no cubren por completo el revestimiento metálico, en donde las fibras están incrustadas por debajo de al menos una superficie (212) de la estructura metálica de aeronave por consolidación ultrasónica, en donde las fibras (200) están incrustadas en superficies internas y externas del revestimiento metálico (210) de aeronave, en donde se aplica una presión y unas vibraciones de incrustación a las fibras en ambas superficies del revestimiento metálico de aeronave durante la consolidación ultrasónica, y en donde el revestimiento metálico de aeronave se ensambla a una subestructura de refuerzo tras haber incrustado las bandas antifisuras en el revestimiento metálico de aeronave.

- 14. La aeronave de la reivindicación 13, en donde un primer conjunto de las bandas antifisuras se extiende en una dirección circunferencial por el revestimiento, y un segundo conjunto de bandas antifisuras se extiende en una dirección longitudinal por el revestimiento.
- 15. Una aeronave obtenida de acuerdo con el método de la reivindicación 11.

10

FIG. 1











