

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 568 778**

51 Int. Cl.:

B64D 45/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.04.2010 E 10715055 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.02.2016 EP 2419333**

54 Título: **Lámina de protección contra rayos con conductor estampado**

30 Prioridad:

17.04.2009 US 170352 P

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

04.05.2016

73 Titular/es:

**3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY
(100.0%)**

**3M Center Post Office Box 33427
Saint Paul, MN 55133-3427, US**

72 Inventor/es:

HEBERT, LARRY S.

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

Observaciones :

Véase nota informativa (Remarks) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 568 778 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Lámina de protección contra rayos con conductor estampado

5 **Campo de la divulgación**

La presente divulgación se refiere a una lámina de protección contra rayos que incluye una película eléctricamente conductora estampada en una pluralidad de formaciones de colinas, típicamente para su uso sobre una superficie exterior de un avión.

10

Antecedentes de la divulgación

La caída de un rayo sobre un avión en vuelo no es un fenómeno raro. Se estima que las caídas sobre aviones de transporte civil llegan a aproximadamente una caída por avión por año. La tendencia actual en la ingeniería aeronáutica es el uso de materiales de peso más ligero, menos sistemas mecánicos y más sistemas electrónicos. Los sistemas electrónicos son frecuentemente más sensibles que los sistemas mecánicos a las perturbaciones electromagnéticas tales como las generadas por los rayos. Recientemente, se están usando materiales de matrices de resina reforzados con fibra no conductores eléctricamente o parcialmente conductores para fabricar más piezas de los aviones, así como para generadores eólicos, automóviles, artículos deportivos, muebles, autobuses, camiones y otras aplicaciones donde materiales rígidos, de peso ligero, o la consolidación de piezas es beneficiosa. Estas estructuras de peso más ligero ofrecen una protección menos efectiva contra los rayos que las estructuras de aluminio tradicionales.

15

20

25

30

35

Las condiciones en el lugar de la incidencia del rayo son extremas. En las incidencias de rayos en un avión, se esperan transitorios de corriente eléctrica tan elevados como 200.000 amperios con transferencias de carga que superan los 200 culombios. (SAE ARP5412 Revision A, Aircraft Lightning Environment and Related Test Waveforms, SAE International, 01-nov-1999). Las incidencias de los rayos en generadores eólicos varían grandemente por su localización geográfica en altura, pero se esperan transitorios de corriente eléctrica tan elevados como 100.000 amperios con transferencias de carga tan elevadas como 300 culombios. (Technical Report 61400-24, Wind Turbine Generator Systems - Part 24: Lightning Protection, International Electrotechnical Commission, 1ª edición 2002-07). La temperatura del plasma en la columna del rayo se ha estimado que es de aproximadamente 27.727 °C (aproximadamente 28.000 °K). ("A numerical modeling of an electric arc and its interaction with the anode: part III. Application to the interaction of a lightning strike and an aircraft in flight," F Lago, J J Gonzalez, P Freton, F Uhlig, N Lucius y G P Piau 2006 J. Phys. D: Appl. Phys. 39 2294-2310). Gran parte del daño producido por la caída de un rayo es el resultado de extremos niveles de calor en la localización de la caída producida por la temperatura elevada dentro del arco del rayo y el calentamiento óhmico de los materiales.

40

45

50

Algunos investigadores notifican el uso de sistemas de protección contra rayos que incluyen capas conductoras tales como tela de tejido metalizado, papel metalizado, películas metálicas sólidas, películas metálicas porosas, hilos metálicos, mallas metálicas, partículas metálicas, láminas metálicas expandidas, partículas de carbón o fibras de carbono. Algunos investigadores notifican el uso de sistemas de protección contra rayos que incluyen capas exteriores ionizables, tales como capas de pintura. Las caídas destruyen frecuentemente el mecanismo de protección en los lugares de incidencia y producen daños medibles en las estructuras modernas de peso ligero. Esto precisa de una reparación estructural costosa y una interrupción en el servicio relacionado. Las siguientes referencias pueden ser relevantes para dichas tecnologías: WO 2005/032812 A, US-2006/051592 A1, WO 2007/048426 A, US-2008/142238 A1, US-2004/0069895, US-4.920.163, EP-0227122 A, US-7.277.266 B1, US-2007/0236855 A1, WO 2007/123700 A1, US-2007/0230085 A1, EP-1.935.784 A2, WO 2008/040936 A1, US-4.352.142, W02008/076851 A1, US-2007/0141927 A1, US-2008/0145555 A1, EP-1.944.236 A2, US-2008/0170349 A1, FR-2.720.214 A1, US-2007/0258182 A1, US-2007/0093163 A1, US-2007/0201179 A1, US-5.127.601, US-3.989.984, WO 2008/015082 A1, WO 2008/006377 A1, WO 2008/046186 A1, WO 2007/142354 A1, WO 2008/048705 A2, WO 2008/056123 A1, EP-1.935.631 A3, RU-2.263.581, RU-2.217.320 C1, WO 2002/076430 A, RU-2.192.991 C, EP-1.011.182 A1, EP-0.900.647 A, EP-629.549 A, DE-10 2006 046 002 B4, EP-163.805 A1, US-5.132.168 A, US-3.755.713 A y US-2006/0143920 A1, US-2 734 007.

Sumario de la divulgación

Brevemente, la presente divulgación proporciona una lámina de protección contra rayos según la reivindicación 1, que comprende una película eléctricamente conductora sustancialmente continua que tiene un grosor t en la que la película eléctricamente conductora está estampada en una pluralidad de formaciones de colinas que tienen una altura h mayor que t , algunas realizaciones mayor que 3 veces t y en algunas realizaciones mayor que 10 veces t . En algunas realizaciones, t está entre 0,001 y 100 micrómetros. En algunas realizaciones, t está entre 0,01 y 10 micrómetros. En algunas realizaciones, h está entre 6 micrómetros y 1 mm. En algunas realizaciones, la lámina de protección contra rayos contiene una cantidad de material eléctricamente conductor que pesa menos de 50 g/m². En algunas realizaciones la lámina de protección contra rayos no incluye una capa eléctricamente conductora distinta de las películas eléctricamente conductoras sustancialmente continuas tal como se han descrito anteriormente, que tienen un grosor t y están estampadas en una pluralidad de formaciones de colinas que tienen una altura h mayor que t . En algunas realizaciones la lámina de protección contra rayos no incluye ninguna capa eléctricamente conductora distinta de las películas eléctricamente conductoras sustancialmente continuas que tienen un grosor entre 0,001 y 100 micrómetros. En algunas realizaciones la lámina de protección contra rayos no incluye ninguna capa

55

60

65

5 eléctricamente conductora distinta de las películas eléctricamente conductoras sustancialmente continuas que tienen un grosor entre 0,01 y 10 micrómetros. La lámina de protección contra rayos puede incluir adicionalmente una capa de soporte eléctricamente no conductora por debajo de la película eléctricamente conductora continua, en la que la capa de soporte tiene una superficie superior que tiene sustancialmente el mismo estampado de formaciones de colinas que la película eléctricamente conductora. La lámina de protección contra rayos incluye una capa discriminadora eléctricamente no conductora sobre la película eléctricamente conductora. En algunas realizaciones, la capa discriminadora puede cubrir partes de la película eléctricamente conductora, en la que las formaciones de colina comprenden cimbras que no están cubiertas por la capa discriminadora. En algunas realizaciones, la capa discriminadora puede cubrir la película eléctricamente conductora. La lámina de protección contra rayos puede incluir adicionalmente una capa adhesiva. La lámina de protección contra rayos puede no incluir adicionalmente ninguna capa adhesiva. La lámina de protección contra rayos puede incluir adicionalmente una o más capas de pintura ionizable.

15 En otro aspecto, la presente divulgación proporciona una estructura de avión compuesta que soporta la lámina de protección contra rayos descrita anteriormente.

La presente divulgación se refiere en general a la protección contra rayos comprendiendo las "láminas" varias "capas" y/o "películas", proporcionando la lámina de protección contra rayos una protección a una "estructura", típicamente una superficie de una aeronave o una nave espacial.

20 En la presente memoria con relación a una película o capa, "sustancialmente continua" significa que no tiene un estampado repetido de orificios o huecos que penetren a través de la película o capa distintos a los orificios o huecos accidentales o incidentales tales como para fijaciones, vías de paso y similares. Con relación a una película o capa, "esencialmente continua" significa que no tiene orificios o huecos que penetran a través de la película o capa distintos de los orificios o huecos accidentales o incidentales tales como para fijaciones, vías de paso, y similares.

25 En la presente memoria con relación a una película, "grosor" significa el grosor medio medido ortogonalmente al plano de la película, independientemente de cualquier estampado de la película, y en donde sea apropiado se puede tomar como el grosor nominal de la película usada en la realización de la presente divulgación antes del estampado.

30 En la presente memoria, una "formación de colina" en una película o capa significa un máximo local en la altura rodeada por áreas de altura más baja, altura que se mide ortogonal al plano general de la lámina (es decir, independientemente de dobleces o curvas que sigan dobleces o curvas en la superficie subyacente), siendo la altura positiva en la dirección de separación del lado de la estructura de la lámina. Las formaciones de colinas pueden incluir, sin limitación, conos, semiesferas, montículos, pirámides de 3, 4 o más lados, o troncos con bordes vivos o redondeados de cualquiera de los precedentes. En la presente memoria, la altura h de una formación de colina significa la diferencia en altura entre el máximo local y el mínimo local adyacente de la altura, promediado a lo largo de 360 grados. En algunas realizaciones, las formaciones de colina pueden incluir también, sin limitación, troncos con hoyuelos, por ejemplo, formas de "volcán" o tóricos biseccionados, en cuyo caso la altura h de la formación de colina se mide en el borde de la formación de colina.

40 En la presente memoria, una "formación de valle" en una película o capa significa un mínimo local en la altura rodeada por áreas de altura mayor. Las formaciones de valle pueden incluir, sin limitación, conos invertidos, semiesferas invertidas, montículos invertidos, pirámides invertidas de 3, 4 o más lados, o troncos invertidos de bordes vivos o redondeados de cualquiera de los precedentes. En la presente memoria, la profundidad d de una formación de valle significa la diferencia en altura entre el mínimo local y el máximo local adyacente de la altura, promediado a lo largo de 360 grados. En algunas realizaciones, las formaciones de valle pueden incluir también, sin limitación, troncos con hoyuelos invertidos, en cuyo caso la profundidad d de la formación de valle se mide en el/los punto(s) más profundo(s) de la formación de valle.

50 En la presente memoria, las "formaciones de crestas y zanjas" en una película o capa comprenden crestas y zanjas alternativas, que pueden ser lineales, curvadas o en ángulo. En algunas realizaciones, las formaciones de cresta y zanja pueden estar ramificadas. En algunas realizaciones, las formaciones de cresta y zanja pueden formar figuras cerradas. En la presente memoria, la altura h de una formación de cresta en un punto dado sobre una cresta significa la diferencia en altura entre el máximo local y la media de los mínimos locales adyacentes de la altura a lo largo de una línea perpendicular a la cresta en ese punto. En la presente memoria, la profundidad d de una formación de zanja en un punto dado sobre una zanja significa la diferencia en altura entre el mínimo local y la media de los máximos locales adyacentes de la altura a lo largo de una línea perpendicular a la zanja en ese punto.

55 En la presente memoria, "eléctricamente conductor" significa que tiene una elevada conductividad eléctrica, al menos tan alta como es característico en los metales en su estado metálico, tal como cobre, aluminio, níquel, cinc, plata, oro, titanio, cromo, platino, berilio, magnesio, hierro, y similares.

60 En la presente memoria, "eléctricamente no conductor" significa que tiene una conductividad eléctrica a temperatura ambiente, menor de la que es característica de los metales en su estado metálico, incluyendo típicamente semiconductores y aislantes a temperatura ambiente pero en algunas realizaciones incluyendo solo aislantes a temperatura ambiente y no semiconductores.

65

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es una sección transversal esquemática del sistema de protección contra rayos según la presente divulgación.

5 La Fig. 2 es una proyección ortogonal de una sección de una película estampada en una pluralidad de formaciones de colina según la presente divulgación.

Las Figs. 3A-3E son secciones transversales esquemáticas de sistemas de protección contra rayos según la técnica anterior, tal como se explica en los Ejemplos comparativos 1C-5C a continuación.

10 Las Fig. 4-7 son secciones transversales esquemáticas de sistemas de protección contra rayos según la presente divulgación, tal como se explica en los Ejemplos 6-9 a continuación.

Descripción detallada

15 La presente divulgación proporciona un sistema de protección contra rayos que incluye una lámina de protección contra rayos que incluye una película eléctricamente conductora estampada en una pluralidad de formaciones de colina, típicamente para su uso sobre una superficie exterior de un avión. Típicamente, un avión que use el sistema de protección contra rayos de la presente divulgación puede soportar la caída de un rayo sin requerir reparaciones que necesiten una interrupción del servicio. Típicamente, un avión que use el sistema de protección contra rayos de la presente divulgación puede soportar la caída de un rayo sin daños a la estructura del avión. En algunas realizaciones, un avión que use el sistema de protección contra rayos de la presente divulgación puede soportar la caída de un rayo sin daños a la película eléctricamente conductora de la lámina de protección contra rayos.

25 Con referencia a las Figs. 1 y 2, el sistema de protección contra rayos según la presente divulgación puede comprender una lámina 10 de protección contra rayos soportada sobre una estructura 20 que es típicamente una superficie de un avión o nave espacial. La lámina 10 de protección contra rayos incluye una película 30 eléctricamente conductora que tiene un grosor t estampado en una pluralidad de formaciones 40 de colina que tienen una altura h . En la realización representada en las Figs. 1 y 2, las formaciones de colina son troncos rectangulares (cuadrados) que tienen un ancho w y que están separadas por una distancia d . En algunas realizaciones tratadas en los ejemplos a continuación, las formaciones de colina son troncos rectangulares similares a los representados en las Figs. 1 y 2 excepto en que d es esencialmente cero y w varía en ambas direcciones x e y entre 0,28-0,38 mm (11 y 15 milésimas de pulgada). En algunas de las realizaciones tratadas en los ejemplos a continuación, la altura media h del tronco rectangular desde 0,635 mm (25 milésimas de pulgada) y las tiras planas del tronco rectangular tiene un ancho medio de aproximadamente 0,1 mm (aproximadamente 4 milésimas de pulgada). En otras realizaciones, las formaciones de colina pueden ser conos, semiesferas o montículos. En otras realizaciones, transformaciones de colina puede ser pirámides de 3, 4 o más lados. En otras realizaciones, las formaciones de colina pueden ser troncos de conos, semiesferas o montículos, con bordes vivos o redondeados. En otras realizaciones, las formaciones de colina pueden ser troncos de pirámides de 3, 4 o más lados con bordes vivos o redondeados. En otras realizaciones, las formaciones de colina pueden ser troncos con hoyuelos o cualquier otro de los precedentes, por ejemplo, formas de "volcán" o tóricos biseccionados. La distribución de las formaciones 40 de colina puede ser ordenada, repetitiva, caótica, aleatoria, o combinaciones de las mismas.

45 La película 30 eléctricamente conductora puede estar hecha de cualquier material adecuado. Típicamente la película 30 eléctricamente conductora comprende un material metálico. Típicamente la película 30 eléctricamente conductora comprende un metal. Típicamente la película 30 eléctricamente conductora comprende un material que tiene un equilibrio favorable de propiedades incluyendo elevada conductividad eléctrica, baja densidad y elevada resistencia a la corrosión. Los metales útiles pueden incluir, sin limitación, cobre, aluminio, níquel, cinc, plata, oro, titanio, cromo, platino, berilio, magnesio, hierro y similares, así como aleaciones metálicas de los mismos. Típicamente, la película 30 eléctricamente conductora es sustancialmente continua. En algunas realizaciones, la película 30 eléctricamente conductora es esencialmente continua. En algunas realizaciones, la película 30 eléctricamente conductora es continua.

50 El grosor t de la película 30 eléctricamente conductora puede ser cualquier grosor adecuado. Grosos más bajos pueden conducir a pesos menores. El grosor t es típicamente menor que 1 mm, más típicamente menor de 100 micrómetros, más típicamente menor de 50 micrómetros y típicamente menor de 10 micrómetros. En algunas realizaciones, el grosor t es menor de 5 micrómetros. En algunas realizaciones, el grosor t es menor de 2 micrómetros. En algunas realizaciones, el grosor t es menor de 1 micrómetro. El grosor t es típicamente al menos 0,001 micrómetros, más típicamente al menos 0,01 micrómetros y más típicamente al menos 0,1 micrómetros.

60 La altura h de las formaciones 40 de colina es mayor del grosor t de la película 30 eléctricamente conductora. Más típicamente, la altura h es mayor que 1,5 veces t . Más típicamente, la altura h es mayor que 2 veces t . Más típicamente, la altura h es mayor que 3 veces t . Más típicamente, la altura h es mayor que 5 veces t . Más típicamente, la altura h es mayor que 10 veces t . Más típicamente, la altura h es mayor que 20 veces t . Más típicamente, la altura h es mayor que 50 veces t . Más típicamente, la altura h es mayor que 100 veces t .

65 La altura h de las formaciones 40 de colina puede ser cualquier altura adecuada. La altura h de las formaciones 40 de

colina esta típicamente entre 0,1 micrómetros y 10 mm, más típicamente entre 1 micrómetro y 2 mm, y más típicamente entre 6 micrómetros y 1 mm. El ancho w de las formaciones 40 de colina puede ser cualquier ancho adecuado. El ancho w de las formaciones 40 de colina está típicamente entre 1 micrómetro y 50 mm, más típicamente entre 10 micrómetros y 10 mm, y más típicamente entre 20 micrómetros y 1 mm. El paso p de las formaciones de colina es igual al ancho w más la distancia d entre formaciones de colina. El paso p de las formaciones 40 de colina puede ser cualquier paso adecuado. El paso p de las formaciones 40 de colina está típicamente entre 10 micrómetros y 50 mm, más típicamente entre 50 micrómetros y 10 mm, y más típicamente entre 200 micrómetros y 1 mm.

La estructura 20 puede ser de cualquier material adecuado, típicamente un material usado en la construcción de un avión o turbina eólica, que puede incluir, sin limitación, metal, madera, polímeros, partículas o fibras de carbono, partículas o fibras de vidrio, compuestos que incluyen uno más de los anteriores, y otros similares.

Con referencia a las Figs. 1 y 2, el sistema de protección contra rayos según la presente divulgación puede comprender opcionalmente una capa 50 de soporte que soporta la película 30 eléctricamente conductora. En algunas realizaciones la capa 50 de soporte conforma el lado inferior de la película 30 eléctricamente conductora. En algunas realizaciones (no mostradas) la capa 50 de soporte rellena solo el lado inferior de las formaciones 40 de colina y no se extiende por debajo de la película 30 eléctricamente conductora. La capa 50 de soporte puede estar hecha de cualquier material adecuado. Típicamente, la capa 50 de soporte está hecha de un material eléctricamente no conductor, tal como, sin limitación, cerámica, materiales poliméricos o textiles o combinaciones de los mismos que pueden contener adicionalmente partículas, fibras o rellenos con formas. Los materiales útiles pueden incluir adicionalmente, sin limitación: epoxi, poliuretano, poliimida, poliéster, polietileno, policarbonato, poliacrilato, fluoropolímero, silicona y pueden incluir aditivos o combinaciones de aditivos que incluyen titanato de bario, titanato de plomo, titanato de estroncio, estanato de bario, titanato de bario estroncio, circonato de bario, óxido de cesio, óxido de lantano, óxido de titanio, óxido de cinc, carbono, sílice o aramida. En algunas realizaciones la capa 50 de soporte no contiene adhesivo. En algunas realizaciones la capa 50 de soporte no contiene un polímero sin curar. En algunas realizaciones la capa 50 de soporte no contiene adhesivo sensible a la presión.

Con referencia a las Figs. 1 y 2, el sistema de protección contra rayos según la presente divulgación puede comprender opcionalmente una capa discriminadora 60 por encima de la película 30 eléctricamente conductora. En algunas realizaciones la capa discriminadora 60 se adapta al lado superior de la película 30 eléctricamente conductora. En algunas realizaciones (no mostradas) la capa 50 de soporte rellena solo el volumen entre las formaciones 40 de colina y no cubre las cimas de las formaciones 40 de colina. La capa discriminadora 60 puede estar hecha de cualquier material adecuado. Típicamente, la capa discriminadora 60 está hecha de un material no conductor, típicamente con una elevada rigidez de eléctrica, típicamente mayor que la del aire, más típicamente mayor que 5 kV/mm, más típicamente mayor que 10 kV/mm, y en algunas realizaciones mayor que 25 kV/mm. Los materiales útiles pueden incluir, sin limitación, cerámica, materiales poliméricos o textiles o combinaciones de los mismos que pueden contener adicionalmente partículas, fibras o rellenos con forma. Los materiales útiles pueden incluir adicionalmente, sin limitación: epoxi, poliuretano, poliimida, poliéster, polietileno, policarbonato, poliacrilato, fluoropolímero, y pueden incluir aditivos o combinaciones de aditivos que incluyen titanato de bario, titanato de plomo, titanato de estroncio, estanato de bario, titanato de bario estroncio, circonato de bario, óxido de cesio, óxido de lantano, óxido de titanio, óxido de cinc, carbono, sílice o aramida.

Con referencia a las Figs. 1 y 2, el sistema de protección contra rayos según la presente divulgación puede comprender opcionalmente una o más capas 70 superficiales adicionales, tales como capas de pintura. Las capas 70 superficiales adicionales pueden estar hechas de cualquier material adecuado, incluyendo sin limitación pinturas estampadas o no estampadas. En una realización, el sistema de protección contra rayos según la presente divulgación incluye una o más capas 70 superficiales adicionales, que son capas de pintura ionizable. Dichas capas de pintura ionizable contiene componentes que se vaporizan tras la aplicación de calor o corriente eléctrica tal como la que está presente durante una caída de un rayo y de ese modo proporcionan un vapor eléctricamente conductor por encima de la lámina de protección contra rayos en el área de la caída lo que puede reducir momentáneamente la resistencia a la migración del punto de incidencia de la caída a otras localizaciones. Dichos componentes pueden incluir, sin limitación, pigmentos ionizables tales como dióxido de titanio, óxido de cinc, óxido de estaño, ortotitanato de cinc, óxido de hierro, óxido de cromo, tartrato ácido de cesio, oxalato de bario, sal de cesio, sal de bario o tartrato de cesio. En algunas realizaciones, las capas 70 superficiales adicionales están hechas de materiales que tienen una resistencia dieléctrica más baja que la capa discriminadora 60, típicamente menos del 90% de la resistencia dieléctrica de la capa discriminadora 60, más típicamente menos del 75% de la resistencia dieléctrica de la capa discriminadora 60, y más típicamente menos del 50% de la resistencia dieléctrica de la capa discriminadora 60. Las capas 70 superficiales adicionales pueden tener una superficie exterior que es generalmente plana (tal como se muestra) o estructurada (no mostrada), por ejemplo, en la forma de micro muescas o escamas. Dichas estructuras estampadas pueden usarse para reducir la resistencia a la fricción tal como se enseña, por ejemplo, en el documento US-5.133.516, para reducir el ruido, o con otras finalidades.

En algunas realizaciones, las funciones y características de la capa discriminadora 60 y de la capa 70 superficial adicional pueden combinarse en una única capa. En algunas realizaciones, la capa discriminadora 60 y la capa 70 superficial adicional pueden tener diferentes composiciones.

Con referencia a las Figs. 1 y 2, el sistema de protección contra rayos según la presente divulgación puede comprender opcionalmente una o más capas 80 eléctricamente conductoras adicionales. Las capas 80

eléctricamente conductoras adicionales pueden estar hechas de cualquier material adecuado, típicamente un material metálico, más típicamente un metal. Típicamente las capas 80 eléctricamente conductoras comprenden un material que tenga un balance de propiedades favorable que incluyen elevada conductividad eléctrica, baja densidad y elevada resistencia a la corrosión. Los metales típicos pueden incluir, sin limitación, cobre, aluminio, níquel, cinc, plata, oro, y similares así como aleaciones metálicas de los mismos. En algunas realizaciones, la capa 80 eléctricamente conductora adicional puede estar separada de la película 30 eléctricamente conductora por una capa 50 de soporte. En algunas realizaciones (no mostradas), la capa 80 eléctricamente conductora adicional puede estar en contacto eléctrico con la película 30 eléctricamente conductora. En algunas realizaciones, el sistema de protección contra rayos según la presente divulgación no comprende capas 80 eléctricamente conductoras adicionales. En algunas realizaciones, el sistema de protección contra rayos según la presente divulgación no comprende ninguna capa eléctricamente conductora que no esté estampada en una pluralidad de formaciones de colina que tengan una altura h mayor que t , más típicamente mayor que $2t$, más típicamente mayor que $10t$, y más típicamente mayor que $20t$. En algunas realizaciones, el sistema de protección contra rayos según la presente divulgación no comprende ninguna capa eléctricamente conductora que no sea una película eléctricamente conductora sustancialmente continua estampada en una pluralidad de formaciones de colina que tengan una altura h mayor que t , más típicamente mayor que $2t$, y más típicamente mayor que $10t$. En algunas realizaciones, el sistema de protección contra rayos según la presente divulgación no comprende ninguna capa eléctricamente conductora que no sea una película eléctricamente conductora esencialmente continua estampada en una pluralidad de formaciones de colina que tengan una altura h mayor que t , más típicamente mayor que $2t$, más típicamente mayor que $10t$, y más típicamente mayor que $20t$.

Con referencia a las Figs. 1 y 2, el sistema de protección contra rayos según la presente divulgación puede comprender opcionalmente una o más capas 90 no conductoras adicionales. Las capas 90 no conductoras adicionales pueden ser útiles para proporcionar un aislamiento adicional contra la transmisión de corriente eléctrica, calor, o ambos. Unas capas 90 no conductoras adicionales pueden ser útiles allá donde la estructura subyacente 20 sea eléctricamente conductora y/o galvánicamente incompatible con los materiales usados en el sistema de protección contra rayos de la presente invención. Las capas 90 no conductoras adicionales pueden estar hechas de cualquier material adecuado, incluidos, sin limitación, cerámica, materiales poliméricos o textiles o combinaciones de los mismos que pueden contener adicionalmente partículas, fibras o rellenos con forma. Los materiales útiles pueden incluir adicionalmente, sin limitación: epoxi, poliuretano, poliimida, poliéster, polietileno, policarbonato, poliacrilato, fluoropolímero, silicona, y pueden incluir aditivos o combinaciones de aditivos que incluyen titanato de bario, titanato de plomo, titanato de estroncio, estanato de bario, titanato de bario estroncio, circonato de bario, óxido de cesio, óxido de lantano, óxido de titanio, óxido de cinc, carbono, sílice o aramida. En algunas realizaciones la capa 90 no conductora adicional no contiene adhesivo. En algunas realizaciones la capa 90 no conductora adicional no contiene un polímero sin curar. En algunas realizaciones la capa 90 no conductora adicional no contiene adhesivo sensible a la presión.

Con referencia a las Figs. 1 y 2, el sistema de protección contra rayos según la presente divulgación puede comprender opcionalmente una o más capas adhesivas 100. La capa adhesiva 100 puede estar hecha de cualquier material adhesivo adecuado, incluidos, sin limitación, adhesivos sensibles a la presión, adhesivos de fusión en caliente, adhesivos curables, y similares, que pueden incluir adhesivo epoxi, de poliuretano, poliacrilato, polisulfuro, politioéter o de silicona. En algunas realizaciones, el sistema de protección contra rayos según la presente divulgación no comprende una capa adhesiva. En realizaciones en las que la lámina de protección contra rayos incluye una capa adhesiva, la lámina puede estar provista con un recubrimiento para liberación (no mostrado) a ser retirado de la capa adhesiva previamente a la aplicación de la lámina a la estructura. En algunas realizaciones, la lámina puede estar provista con un revestimiento (no mostrado) para proteger cualquiera o ambas superficies de la contaminación, daños de manejo o distorsión que se ha de retirar de la lámina previamente o después de la aplicación de la lámina a la estructura.

En algunas realizaciones, las funciones y características de la capa 50 de soporte y de la capa 90 no conductora adicional pueden combinarse en una única capa. En algunas realizaciones, la capa 50 de soporte y la capa 90 no conductora adicional pueden tener composiciones diferentes. En algunas realizaciones, las funciones y características de la capa 50 de soporte y de la capa adhesiva 100 pueden combinarse en una única capa. En algunas realizaciones, la capa 50 de soporte y la capa adhesiva 100 pueden tener diferentes composiciones. En algunas realizaciones, las funciones y características de la capa 90 no conductora adicional y la capa adhesiva 100 pueden combinarse en una única capa. En algunas realizaciones, la capa 90 no conductora adicional y la capa adhesiva 100 deben tener composiciones diferentes. En algunas realizaciones, las funciones y características de la capa 50 de soporte, la capa 90 no conductora adicional y la capa adhesiva 100 pueden combinarse en una única capa. En algunas realizaciones, la capa 50 de soporte, la capa 90 no conductora adicional y la capa adhesiva 100 deben tener composiciones diferentes.

Típicamente, la lámina de protección contra rayos de la presente divulgación es de peso ligero. En algunas realizaciones, la lámina de protección contra rayos pesa menos de 100 g/m^2 , en algunas realizaciones menos de 50 g/m^2 , en algunas realizaciones menos de 25 g/m^2 , en algunas realizaciones menos de 15 g/m^2 , y en algunas realizaciones menos de 10 g/m^2 . La lámina de protección contra rayos pesa típicamente al menos 1 g/m^2 . En algunas realizaciones, la lámina de protección contra rayos contiene una cantidad de material eléctricamente conductor que pesa menos de 50 g/m^2 , en algunas realizaciones menos de 35 g/m^2 , en algunas realizaciones menos de 20 g/m^2 , en algunas realizaciones menos de 10 g/m^2 , en algunas realizaciones menos de 4 g/m^2 . La lámina de protección contra rayos contiene típicamente al menos $0,5 \text{ g/m}^2$ de material eléctricamente conductor. En algunas realizaciones, la

película eléctricamente conductora estampada en una pluralidad de formaciones de colina que forma un componente de la lámina de protección contra rayos pesa menos de 50 g/m^2 , en algunas realizaciones menos de 35 g/m^2 , en algunas realizaciones menos de 20 g/m^2 , en algunas realizaciones menos de 10 g/m^2 , en algunas realizaciones menos de 4 g/m^2 . La película eléctricamente conductora estampada en una pluralidad de formaciones de colina que forma un

5 componente de la lámina de protección contra rayos pesa típicamente al menos $0,5 \text{ g/m}^2$.

Sin pretender imponer ninguna teoría, los autores creen que el sistema de protección contra rayos según la presente divulgación puede funcionar para impedir daños a la estructura del avión y/o a sí misma durante una caída de rayo mediante la estimulación de una multiplicidad de puntos de incidencia y mediante la estimulación de una rápida migración del punto de incidencia. En algunas realizaciones, las características de calor específico, conductividad térmica, densidad, grosor o área, conductividad eléctrica y temperatura de vaporización de la película eléctricamente conductora pueden combinarse de modo que, durante la incidencia del rayo en un punto de incidencia del rayo (típicamente una formación de colina), la conductividad eléctrica de la película eléctricamente conductora en o alrededor del punto de incidencia del rayo cae rápidamente (típicamente debido al calentamiento) hasta que la conductividad se convierte en menor a través del conductor que a través del (de los) discriminador(es), recubrimiento(s) y/o aire adyacentes. En algunas realizaciones, el uso de capas exteriores ionizables puede mejorar este efecto mediante el incremento temporal de la conductividad en el aire en la proximidad a un punto de incidencia en el momento de una caída del rayo. En algunas realizaciones, esto provoca la migración del punto de incidencia antes de que la temperatura de la película eléctricamente conductora se eleve por encima de su temperatura de vaporización. En algunas realizaciones, esto provoca la migración del punto de incidencia antes de que la temperatura del material de la estructura subyacente del avión se eleve por encima de su temperatura de vaporización. En algunas realizaciones, esto provoca la migración del punto de incidencia antes de que la temperatura del material de la estructura subyacente del avión se eleve por encima de su temperatura de transición vítrea. En algunas realizaciones, esto provoca la migración del punto de incidencia antes de que la temperatura del material de la estructura subyacente del avión se eleve por encima de su temperatura de umbral de daño.

El sistema de protección contra rayos según la presente divulgación puede realizarse por cualquier método adecuado. En algunas realizaciones, una lámina de protección contra rayos según la presente divulgación se realiza como un aplique y se fija a una pieza preexistente del avión. En algunas de dichas realizaciones, la lámina de protección contra rayos puede incluir una capa adhesiva para la fijación a la pieza. En algunas realizaciones, la lámina de protección contra rayos según la presente divulgación se incorpora en una pieza de avión durante la fabricación de la pieza. En algunas realizaciones, una lámina de protección contra rayos según la presente divulgación se fabrica durante la fabricación de una pieza de avión como una parte integral de la pieza.

En algunas realizaciones en la que una lámina de protección contra rayos según la presente divulgación protege una pieza compuesta, la lámina de protección contra rayos se dispone en una herramienta junto con capas de pre-impregnación o componentes compuestos similares previamente al curado, de modo que la lámina de protección contra rayos se convierte en parte integral de la pieza. Típicamente, la lámina de protección contra rayos sería la primera capa dispuesta en la herramienta o la última capa dispuesta en la herramienta de modo que forme la capa más exterior de la pieza. En algunas de dichas realizaciones, la capa más inferior de la lámina de protección contra rayos, más alejada de la superficie exterior de la pieza, comprende un adhesivo, que en algunas realizaciones puede ser un polímero no curado, en algunas realizaciones puede ser un polímero parcialmente curado, o en algunas realizaciones puede ser un polímero curable. En algunas de dichas realizaciones, la capa más inferior de la lámina de protección contra rayos, más alejada de la superficie exterior de la pieza, no comprende un adhesivo. En algunas de dichas realizaciones, la capa más inferior de la lámina de protección contra rayos, más alejada de la superficie exterior de la pieza, no comprende un polímero sin curar.

La película eléctricamente conductora estampada en una pluralidad de formaciones de colina según la presente divulgación puede estar hecha por cualquier método adecuado. En algunas realizaciones, se puede estampar una película preexistente mediante cualquier método adecuado, tal como estampado, grabado, calandrado, moldeado, mecanizado o similares. La película así estampada puede combinarse entonces con otras capas mediante cualquier método adecuado, que puede incluir la introducción de capas de material sólido, capas de material maleable, líquidos, soluciones o suspensiones de materiales, o similares, mediante laminación, recubrimiento, aplicación de rociado, métodos de impresión, o similares. En algunas realizaciones, una capa de soporte puede estamparse mediante cualquier método adecuado, tal como estampado, grabado, calandrado, moldeado, mecanizado o similares, y el material de la película eléctricamente conductora añadirse a la capa de soporte estampada mediante cualquier método adecuado, incluyendo la deposición química, electro-deposición, deposición por vapor, aplicación de películas, y similares. Se pueden añadir capas adicionales de cualquier forma adecuada, tales como capas de material sólido, capas de material maleable, líquidos, soluciones o suspensiones de materiales, o similares, mediante laminación, recubrimiento, aplicación de rociado, métodos de impresión, o similares.

El sistema de protección contra rayos de la presente divulgación se puede usar para realizar piezas para vehículos aéreos, vehículos espaciales, generadores eólicos, automóviles, autobuses, camiones o cualquier otra aplicación en la que se requiera protección contra rayos, apantallado frente a interferencias electromagnéticas o gestión de cargas estáticas sobre materiales por otro lado eléctricamente no conductores o parcialmente conductores. El sistema de protección contra rayos de la presente divulgación puede aplicarse también a piezas eléctricamente conductoras para vehículos aéreos, vehículos espaciales, generadores eólicos, automóviles, autobuses, camiones o cualquier otra aplicación en la que se desee una

protección contra rayos, apantallado frente a interferencias electromagnéticas o gestión de cargas estáticas mejoradas.

Los objetivos y ventajas de esta divulgación se ilustran adicionalmente mediante los siguientes ejemplos, pero los materiales y cantidades particulares de los mismos enumerados en estos ejemplos, así como otras condiciones y detalles, no deberían interpretarse como indebidamente limitadores de esta divulgación.

Ejemplos

Salvo que se indique lo contrario, todos los reactivos estuvieron o están disponibles en Aldrich Chemical Co., Milwaukee, WI, o pueden sintetizarse mediante métodos conocidos.

Ejemplos 1C-5C (comparativos) y 6-9

Mecanizado y empaquetado general de una pieza compuesta

Se prepararon muestras de compuestos con una resina epoxi adhesiva curable para su curado de la siguiente manera. Se fabricó una herramienta plana mediante recortado a 0,61 m x 0,61 m (2 pies x 2 pies) una lámina de galga 12 de aleación de acero inoxidable 304 con acabado 2B. Se aplicó una película intermedia de 25 micrómetros (1 milésima de pulgada) no perforada de PTFE (disponible como HTF-621 en Northern Fiber Glass Sales, Inc.) a la herramienta y se fijó a la misma con una cinta resistente al calor aplicada en los bordes y esquinas de la película. Cada capa de material se aplicó a la herramienta en el orden y disposición descrita en el texto del ejemplo. Cada capa se aplicó primero a la herramienta, a continuación una sobre la otra sin recubrimientos a mano y cada capa se consolidó con la capa o capas previas mediante el paso de un rodillo de madera de 3,8 centímetros (1,5 pulgadas) de diámetro sobre la capa más superior mientras se aplicaba una presión manual al rodillo. Después de la aplicación de cada capa, la pieza y la herramienta se cubrieron con una capa de película de división perforada descrita más adelante y a continuación una capa de capa de respiración descrita más adelante y la pieza se compactó en la herramienta bajo completo vacío en un aplicador de vacío Scotchlite™ modelo VAL-I fabricado por 3M, durante 3 minutos después de lo que la lámina de respiración y la película de división perforada se retiraron y se añadieron capas adicionales a la pieza. Cada cupón se marcó permanentemente mediante la aplicación de un identificador único a lo largo del borde de la pieza sobre la cara expuesta de la pieza usando un Pilot Silver Marker. Una capa de piel disponible como 60001/049/0009 en Precision Fabrics Group se aplicó libre de arrugas de modo que cubriera completamente la cara expuesta del cupón. Se aplicó una película divisora perforada disponible como A5000 en Richmond Aircraft Products libre de arrugas de modo que cubriera completamente el cupón. Se fijó un termopar a la herramienta a 5 centímetros (2 pulgadas) en el interior del cupón. Se aplicó una capa de película de división no perforada al lecho de la autoclave descrita a continuación para cubrir el área en la que se colocaron las herramientas. La herramienta y la pieza se colocaron sobre el lecho de la autoclave descrita a continuación y se aplicó directamente al lecho de la autoclave un encadenado continuo de cinta de sellado de la bolsa de vacío de manera que la distancia desde la cinta a la herramienta fuese de al menos 8 centímetros (3 pulgadas). La película de división no perforada expuesta sobre el lecho de la autoclave se empleó o recortó despejándola de la cinta de sellado de la bolsa de vacío. Se superpuso una capa de respiración de fieltro de polyester no tejido de 339 g/m² (10 onzas/yarda²) (disponible como RC-3000-10 en Richmond Aircraft Products) sobre la pieza en la herramienta y sobre el lecho de la autoclave de modo que se extendió a 5 centímetros (2 pulgadas) de la cinta de sellado de la bolsa de vacío sobre todos los lados. Se colocó una película de empaquetado de nilón para alta temperatura de 0,08 mm (3 milésimas de pulgada) (disponible como HS 8171 en Richmond Aircraft Products) suelta sobre el lecho de la autoclave para cubrir la pieza y las herramientas y para extenderla en o más allá de la cinta de sellado de la bolsa de vacío sobre todos los lados. Se instaló al menos 1 conjunto de orificios de vacío en la bolsa de vacío sobre la capa de respiración y la bolsa de vacío se selló al lecho del autoclave a lo largo de todos los bordes presionando la película contra la cinta de sellado de la bolsa de vacío.

Curado de una pieza compuesta

Las muestras de compuesto con una resina de adhesivo epoxi curable se curaron de la siguiente manera. Cada muestra de compuesto con una resina de adhesivo epoxi curable se preparó para el curado según el apartado "Mecanizado y empaquetado general de una pieza compuesta", anterior. El(los) conjunto(s) de orificios de vacío se fijaron al sistema de vacío en la autoclave descrita a continuación y las piezas, herramientas, películas de división y capas de respiración se consolidaron bajo un vacío completo durante un mínimo de 5 minutos. Se fijaron los termopares al sistema de vacío en la autoclave. La pieza se curó entonces bajo condiciones de temperatura y presión controladas en una de dos autoclaves, una fabricada por Thermal Equipment Corporation o la otra fabricada por ASC Process Systems, usando los perfiles de presión y temperatura descritos a continuación. La presión en el interior de la autoclave se incrementó hasta 0,62 MPa (80 psi) y la temperatura se incrementó en 2,8 °C/minuto (5 °F/minuto) hasta que la temperatura del termopar del revestimiento alcanzó 177 °C. La presión se mantuvo entre 0,55 MPa y 0,62 MPa (80 psi y 90 psi) y la temperatura se mantuvo entre 177 °C y 182 °C durante 120 minutos. La temperatura se redujo a una velocidad controlada de 2,8 °C/minuto (5 °F/minuto) hasta que la temperatura del termopar del revestimiento alcanzó 44 °C. La presión se mantuvo entre 0,55 MPa y 0,62 MPa (80 psi y 90 psi) hasta que la temperatura del termopar del revestimiento alcanzó 66 °C, a continuación la presión en la autoclave y el vacío bajo la bolsa de vacío se ventearon a la atmósfera. La muestra de compuesto curada se retiró de la autoclave, bolsa y herramienta.

Ejemplo 1C (comparativo): Estructura de compuesto plástico reforzado con fibra de carbono con lámina de aluminio expandido impregnada con poliuretano aplicada tras el curado

5 Con referencia a la Fig. 3A, se proporcionaron y usaron una fibra de carbono impregnada con resina epoxi, una resina de poliuretano y una lámina de aluminio expandido para preparar una muestra (201) de compuesto comparativo. Se proporcionó un panel (221) plástico reforzado con fibra de carbono curado como sigue. Los siguientes materiales se montaron y prepararon tal como se describe en el “Mecanizado y empaquetado general de una pieza compuesta” anterior. Se aplicaron a la herramienta 13 capas de fibras de grafito unidireccional impregnadas con resina epoxi disponible como P2353U 19 152 en Toray. Las resinas curables en este conjunto se curaron tal como se describe en el “Curado de una pieza compuesta” anterior. Se unió una capa comprendiendo la malla conductora 241 a la superficie tal como sigue. Se colocó una lámina de aluminio expandido de 0,1 mm (4 milésimas de pulgada) de grosor disponible como Exmet 4AL8-080 en Dexmet sobre la pieza y saturada con resina de poliuretano proporcionada de la siguiente manera. Se preparó una solución de polímero. Más específicamente, se añadieron 50 partes de diol de caprolactona disponible como Tone 2221 en Dow Chemical, 41 partes de 4,4- metilen dicitohexil diisocianato disponible en Degussa, 9 partes de 1,4-butanodiol 20 disponible en Sigma-Aldrich y <1 parte de di-n-butiltin dilaurato disponible en Alfa- Aesar a una botella de boca estrecha de un litro. La solución se mezcló mediante agitación con un depresor de pala de madera durante 3 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). La solución se vertió generosamente sobre una malla metálica y se realizó un recubrimiento de polyester para cubrir la resina y la superficie completa. Se usó un aplicador plástico 25 tal como el disponible como PA-1 en 3M para repartir la solución entre el revestimiento de poliéster y el panel plástico para impregnar la malla metálica y excluir el exceso de resina. Se permitió que la resina de poliuretano curara durante 24 horas en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa).

25 Ejemplo 2C (comparativo): Estructura de compuesto plástico reforzado con fibra de carbono con tejido que tiene un hilo entretejido aplicado tras el curado

30 Con referencia a la Fig. 3B, se proporcionaron y usaron una resina epoxi impregnada con fibra de carbono, un hilo de fósforo-bronce entretejido y pintura de poliuretano para preparar una muestra compuesta (202). Se proporcionó un panel plástico reforzado con fibra de carbono curado como sigue. Los siguientes materiales se montaron y prepararon tal como se describe en el “Mecanizado y empaquetado general de una pieza compuesta” anterior. Se aplicó primero a la herramienta una capa de tejido de grafito de hilera plana impregnado con resina epoxi con entretejido de hilo de fósforo-bronce de 0,10 mm (0,004 pulgadas) con cada hilada de tejido de carbono (~4 hilos por centímetro [~10 hilos por pulgada]) disponible como FL6676U-37E 965 en Toray (242). A continuación se aplicaron 12 capas de fibra de grafito unidireccional impregnada con resina epoxi disponible como P2353U 19 152 en Toray, formando el sustrato (222). Las resinas curables en este conjunto se curaron tal como se describe en el “Curado de una pieza compuesta” anterior para fabricar un panel curado. Se aplicó un recubrimiento (291) de pintura a la superficie del panel curado de la siguiente manera. Primero, el panel curado se limpió con metil etil cetona y se le permitió que se secase durante 10 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). A continuación, se aplicó una cobertura de imprimación epoxi conductora de la siguiente manera. Se preparó una solución de polímero. Más específicamente, se añadieron partes iguales de una base de imprimación conductora disponible como 528X310 y un activador disponible como 9910X464 en PPG Industries a una botella de un litro, de boca estrecha. La solución se mezcló mediante agitación con un depresor de pala de madera durante 3 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). La solución se transfirió a un depósito y se aplicó una cobertura a la superficie usando un rociador de baja presión de alto volumen disponible comercialmente y se le permitió que se secase hasta una situación de no adhesión al tacto en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). Dentro de las 24 horas de la aplicación de la imprimación, se aplicó un recubrimiento de pintura de poliuretano de la siguiente manera. Se preparó una solución de polímero. Más específicamente, se añadieron 2 partes de base de poliuretano disponible como CA8800/I1050 en PPG Industries, 1 parte de activador disponible como CA8800 en PPG Industries y 1 parte de diluyente disponible como CA8800ST1 en PPG Industries a una botella de boca estrecha de un litro. La solución se mezcló mediante agitación con un depresor de pala de madera durante 3 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). La solución se transfirió a un depósito y se aplicó una cobertura a la superficie usando un rociador de baja presión de alto volumen disponible comercialmente. Se permitió que el recubrimiento (291) de pintura se secase durante 7 días mínimo en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa).

55 Ejemplo 3C (comparativo): Estructura de compuesto plástico reforzado con fibra de carbono con película de adhesivo epoxi que incluye una lámina de cobre expandido aplicada antes del curado

60 Con referencia a la Fig. 3C, se proporcionaron y usaron una fibra de carbono impregnada con resina epoxi, una película superficial con lámina de cobre expandido y pintura de poliuretano para preparar una muestra de compuesto (203). Se proporcionó un panel plástico reforzado con fibra de carbono curado como sigue. Los siguientes materiales se montaron y prepararon tal como se describe en el “Mecanizado y empaquetado general de una pieza compuesta” anterior. Se aplicó primero a la herramienta una capa de película de adhesivo epoxi con una lámina de cobre expandido a 2,2 Pa (0,045 libras/pie²) disponible como 3M™ Scotch-Weld™ Structural Adhesive Film AF 191XS 045 en 3M (243). A continuación se aplicó una capa de gasa (261) no tejida de vidrio 104. A continuación se aplicaron 13 capas de fibras de grafito unidireccional impregnadas con resina epoxi, disponibles como P2353U 19 152 en Toray, formando el

substrato (223). Las resinas curables en este conjunto se curaron tal como se describe en el “Curado de una pieza compuesta” anterior para fabricar un panel curado. Se aplicó recubrimiento (292) de pintura a la superficie del panel curado de la siguiente manera. Primero, el panel curado se limpió con metil etil cetona y se le permitió que se secase durante 10 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). A continuación, se aplicó una cobertura de imprimación epoxi conductora de la siguiente manera. Se preparó una solución de polímero. Más específicamente, se añadieron partes iguales de una base de imprimación conductora disponible como 528X310 y un activador disponible como 9910X464 en PPG Industries a una botella de un litro, de boca estrecha. La solución se mezcló mediante agitación con un depresor de pala de madera durante 3 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). La solución se transfirió a un depósito y se aplicó una cobertura a la superficie usando un rociador de baja presión de alto volumen disponible comercialmente y se le permitió que se secase hasta una situación de no adhesión al tacto en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). Dentro de las 24 horas de la aplicación de la imprimación, se aplicó un recubrimiento (292) de pintura de poliuretano de la siguiente manera. Se preparó una solución de polímero como sigue. Se añadieron 2 partes de base de poliuretano disponible como CA8800/11050 en PPG Industries, 1 parte de activador disponible como CA8800 en PPG Industries y 1 parte de diluyente disponible como CA8800ST1 en PPG Industries a una botella de boca estrecha de un litro. La solución se mezcló mediante agitación con un depresor de pala de madera durante 3 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). La solución se transfirió a un depósito y se aplicó una cobertura a la superficie usando un rociador de baja presión de alto volumen disponible comercialmente. Se permitió que el recubrimiento (292) de pintura se secase durante 7 días mínimo en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa).

Ejemplo 4C (comparativo): Estructura de compuesto plástico reforzado con fibra de carbono con un aplique que incluye una lámina de aluminio expandido aplicada tras el curado

Con referencia a la Fig. 3D, se proporcionaron y usaron una fibra de carbono impregnada con resina epoxi y un aplique conductor para preparar una muestra (204) de compuesto. Se proporcionó un panel (224) plástico reforzado con fibra de carbono curado como sigue. Los siguientes materiales se montaron y prepararon tal como se describe en el “Mecanizado y empaquetado general de una pieza compuesta” anterior. Se aplicaron a la herramienta 13 capas de fibras de grafito unidireccional impregnadas con resina epoxi disponible como P2353U 19 152 en Toray (224). Las resinas curables en este conjunto se curaron tal como se describe en el “Curado de una pieza compuesta” anterior.

Se realizaron y se unieron a la superficie un aplique conductor (262) comprendiendo una capa adhesiva (281), una capa conductora comprendiendo la lámina de aluminio expandido, que tenía grosor de 0,1 mm (4 milésimas de pulgada), lámina de aluminio expandido disponible como Exmet 4AL8-080 en Dexmet (244) y una capa superficial (293) como sigue.

El aplique conductor (262) se realizó como sigue. Se preparó un soporte de película de fluoropolímero gris suministrando una mezcla uniforme de bolitas que tenían un 97 por ciento (peso/peso) de DYNEON THV 500 claro y un 3 por ciento (peso/peso) de DYNEON THV 200 pigmento gris (este material pigmentado fue preparado por Americhem, Incorporated, Elgin, Ill., de modo que el color del soporte gris resultante cumpliera las especificaciones de la Federal Standard 595B, Color #36320) en un extrusor. Las bolitas se extrudieron en una película sobre una malla portadora de poliéster de 51 µm de grueso usando un extrusor Haake que tenía un diámetro de tornillo de 1,9 cm y un ancho de troquel de 20,3 cm, empleando una velocidad tornillo de 165 rpm de la velocidad de la malla de 15 metros/minuto. El troquel del extrusor se mantuvo aproximadamente con una separación de 1,9 cm del portador. El extrusor tenía tres zonas que se fijaron como sigue: 224 °C en la zona 1; 243 °C en la zona 2; y 246 °C en la zona 3. La temperatura del troquel se fijó en 246 °C. La película así extrudida resultante tuvo un grosor de 43,2 µm +/-12 µm. El soporte de película resultante fue tratada por Acton Technologies, Inc., Pittston, Pa., usando su proceso FLUOROETCH. A continuación, se preparó una solución de polímero acrílico. Más específicamente, se añadieron los siguientes componentes a una botella de un litro, de boca estrecha: 70 partes en peso de acrilato de isoocilo (IOA), 56 partes en peso de acrilato de etilo, 14 partes en peso de ácido acrílico (AA), 260 gramos de acetato de etilo, y 0,42 gramos iniciador térmico peróxido de benzoilo. Esta solución de monómero fue purgada con nitrógeno a la velocidad de 1 litro/minuto durante dos minutos. La botella se selló y se colocó en un baño de agua giratoria a 59 grados C durante 24 horas. La solución de polímero resultante se diluyó con heptano para dar una solución de sólidos al 21 por ciento. A continuación, se añadieron 2,1 partes de una solución al 5 por ciento (peso/peso) de N,N'-bis-1,2-propilenoisofotalamida en tolueno, y la solución final del polímero se vertió a continuación sobre la superficie tratada del soporte de película de fluoropolímero gris, y se recubrió usando una estación de recubrimiento cuchilla sobre el lecho. El espacio entre cuchilla y lecho se fijó para que fuese 71 µm mayor que el grosor combinado del soporte de película de fluoropolímero y la malla portadora de poliéster. El soporte recubierto se secó en un horno por convección de 12 m que tenía tres zonas fijadas como sigue: zona 1: 41 grados C, zona 2: 60 grados C, y zona 3: 82 grados C. el soporte recubierto se pasó tanto a través de la estación de recubrimiento como el horno de secado a 1,52 metros/minuto. Tras el secado, el grosor combinado del soporte de película y el adhesivo curado fue de aproximadamente 58,2 µm, indicando un grosor de adhesivo de aproximadamente 15 µm. Se laminó una película de aluminio expandido de 0,1 mm (4 milésimas de pulgada) de grosor disponible como Exmet 4AL8-080 en Dexmet en el interior de la solución de polímero curada alimentándolas juntas a una velocidad de 0,013 m/s (2,5 pies/min) en el borde de un laminador Geppert Engineering Inc. usando rodillos de goma de 10 centímetros (4 pulgadas) en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa) para embeber la lámina de aluminio expandido dentro de la solución de polímero curada. Una medida adicional de la solución de polímero

adhesivo final preparada anteriormente se vertió entonces sobre la superficie expuesta de la lámina de aluminio expandida, y se recubrió usando una estación de recubrimiento de cuchilla sobre el hecho para saturar y cubrir la lámina de aluminio expandido. El espacio entre cuchilla y lecho se fijó para que fuese 381 μm mayor que el grosor combinado del soporte de película de fluoropolímero, la malla portadora de poliéster y la lámina de aluminio expandido. El soporte recubierto se secó en un horno por convección de 12 m que tenía tres zonas fijadas como sigue: zona 1: 41 grados C, zona 2: 60 grados C, y zona 3: 82 grados C. el soporte recubierto se pasó tanto a través de la estación de recubrimiento como el horno de secado a 1,52 metros/minuto. Tras el secado, el grosor combinado del soporte de película, la lámina de aluminio expandido y el adhesivo de polímero curado fue de aproximadamente 254 μm , indicando un grosor de adhesivo de aproximadamente 51 μm . Se laminó un recubrimiento protector temporal de polietileno de 0,1 mm (4 milésimas de pulgada) de grueso sobre el adhesivo expuesto con una ligera presión.

El aplique conductor (262) se aplicó como sigue. Primero, el panel curado (224) se limpió con alcohol isopropilo y se le permitió secar durante 10 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). A continuación, se recortó el aplique conductor (262) para cubrir el panel plástico y se retiró el recubrimiento protector del adhesivo sensible a la presión sobre el aplique. Se emparejó el lado adhesivo del aplique (262) con la superficie limpia del panel compuesto (224) primero lo largo de un borde del panel, y a continuación progresivamente a través de toda la superficie del panel usando un aplicador plástico disponible como PA-1 en 3M para excluir aire y asegurar un contacto íntimo del adhesivo y el sustrato. Se permitió que la adhesión del aplique se incrementara durante 24 horas en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa).

Ejemplo 5C (comparativo): Estructura de compuesto plástico reforzado con fibra de carbono con múltiples capas de película de adhesivo epoxi y papel de fibra de grafito recubierta con níquel aplicado antes del curado

Con referencia a la Fig. 3E, se proporcionaron y usaron una fibra de carbono impregnada con resina epoxi, una película de adhesivo epoxi y papel no tejido de fibra de grafito recubierta con níquel para preparar una muestra (205) de compuesto. Se proporcionó un panel plástico reforzado con fibra de carbono curado como sigue. Los siguientes materiales se montaron y prepararon tal como se describe en el "Mecanizado y empaquetado general de una pieza compuesta" anterior. Se aplicó primero a la herramienta una capa de película epoxi a 1,7 Pa (0,035 libras/pie²) disponible como 3M™ Scotch-Weld™ Structural Adhesive Film AF 555U 035 en 3M (263). Sobre el adhesivo se colocó un papel no tejido de 47 g/m² de fibra de grafito recubierta con níquel de 0,27 mm (10,5 milésimas de pulgada) de grosor disponible como papel de carbón níquel Grade 8000838 en Hollingsworth & Vose (245). Se colocaron alternativamente capas adicionales de película (263) de adhesivo epoxi y papel (245) no tejido de fibra de grafito recubierto con níquel una sobre la otra hasta que se colocaron sobre la herramienta tres capas de papel (245) no tejido de fibra de grafito recubierto con níquel y cuatro capas de película (263) de adhesivo epoxi. A continuación se aplicaron 13 capas de fibras de grafito unidireccional impregnadas con resina epoxi disponible como P2353U 19 152 en Toray, formando el sustrato (225). Las resinas curables en este conjunto se curaron tal como se describe en el "Curado de una pieza compuesta" anterior para fabricar un panel curado.

Ejemplo 6: Estructura de compuesto plástico reforzado con fibra de carbono con una placa de aluminio con hoyuelos aplicada antes del curado

Con referencia a la Fig. 4, se proporcionaron y usaron un tejido de carbono impregnado con resina epoxi, una película de adhesivo epoxi y una placa de aluminio que tenía hoyuelos, para preparar una muestra de compuesto. Se proporcionó un panel plástico reforzado con fibra de carbono curado. Más específicamente, los siguientes materiales se montaron y prepararon tal como se describe en el "Mecanizado y empaquetado general de una pieza compuesta" anterior. Se aplicaron a la herramienta 13 capas de fibras de grafito unidireccional impregnadas con resina epoxi disponible como P2353U 19 152 en Toray, formando el sustrato (226). A continuación se aplicó una lámina de aluminio expandido de 0,1 mm (4 milésimas de pulgada) de grosor disponible como Exmet 4AL8-080 en Dexmet (246). A continuación se aplicaron 2 capas de película epoxi a 1,7 Pa (0,035 libras/pie²) disponible como 3M™ Scotch-Weld™ Structural Adhesive Film AF 555U 035 en 3M, formando la capa (264) de soporte. Sobre el adhesivo se colocó una lámina (247) de aluminio, que tenía un grosor de 0,2 mm (8 milésimas de pulgada) de lámina de aluminio 6061-0 según la especificación Federal QQ-A-250/11 conteniendo hoyuelos (248) conformados como troncos de cono de 2 mm de diámetro en la cara y que tenían una altura de 0,5 mm (20 milésimas de pulgada), dispuestos en filas escalonadas y separados 4,5 mm de centro a centro con los hoyuelos alzados mirando hacia afuera de la capa (264) de soporte. Las resinas curables en este conjunto se curaron tal como se describe en el "Curado de una pieza compuesta" anterior. Se aplicó un recubrimiento (265) de barrera de poliuretano a la superficie del panel curado de la siguiente manera para llenar completamente el espacio entre los hoyuelos (248) en la lámina (247) de aluminio. Primero, se limpió la superficie del aluminio sobre el panel curado con metil etil cetona y se le permitió secar durante 10 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). Entonces aplicó un recubrimiento de poliuretano de la siguiente manera. Se preparó una solución de polímero. Más específicamente, se añadieron 2 partes de base de poliuretano disponible como CA8800/11050 en PPG Industries y 1 parte de activador disponible como CA8800 en PPG Industries a una botella de un litro de boca estrecha. Los minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). Se repartió generosamente la solución sobre el aluminio. Se usó un aplicador plástico tal como el disponible como PA-1 en 3M para distribuir la solución a través del panel para llenar el espacio entre los hoyuelos completamente desde la base a la parte superior de cada hoyuelo pero sin cubrir la parte superior de cada hoyuelo. Se permitió curar a la resina de poliuretano durante 4 días en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa).

Ejemplo 7: Estructura de compuesto plástico reforzado con fibra de carbono con estructura integral con recubrimiento de aluminio por vapor

5 Con referencia a la Fig. 5, se proporcionaron y usaron un tejido de carbono impregnado con resina epoxi, una película de adhesivo epoxi y aluminio depositado con vapor para preparar la muestra (207) de compuesto. Se proporcionó un panel plástico reforzado con fibra de carbono curado. Más específicamente, los siguientes materiales se montaron y prepararon tal como se describe en el “Mecanizado y empaquetado general de una pieza compuesta” anterior. Se aplicó primero a la herramienta, y se fijó a la misma con cinta resistente al calor en los bordes y esquinas de la película, una película con una superficie que tenía una estructura de un estampado variable de tronco cuadrilátero con 0,56 mm (22 milésimas de pulgada) de profundidad que tenía 0,36 mm (14 milésimas de pulgada) a través de la base y de 1 mm a 1,4 mm (40 milésimas de pulgada a 56 milésimas de pulgada) a través de la cara expuesta de la película. Esta película se fabricó de la manera descrita en US-5.152.917, cuya divulgación se incorpora como referencia en la presente memoria. La película se limpió libremente con un agente de separación de moldes disponible como 700NC en Loctite, colgado verticalmente para secar durante ½ hora en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa) antes de su aplicación a esta herramienta. Contra esta película estampada se aplicaron 3 capas de película epoxi a 1,7 Pa (0,035 libras/pie²) disponible como 3M™ Scotch-Weld™ Structural Adhesive Film AF 555U 035 en 3M, formando la capa (266) de soporte. Sobre el adhesivo se aplicaron 13 capas de fibras de grafito unidireccional impregnado con resina epoxi disponible como P2353U 19 152 en Toray, formando el sustrato (227). Las resinas curables en este conjunto se curaron tal como se describe en el “Curado de una pieza compuesta” anterior para fabricar un panel curado. La película estampada se retiró, dejando una superficie rica en adhesivo con un estampado variable de pirámides cuadradas de cima cortada de 0,56 mm (22 milésimas de pulgada) de alto sobre el panel. A la superficie estructurada del panel se aplicó una película (248) de aluminio de 8 micrómetros de grosor usando una cámara de deposición por vapor Denton creando un panel curado con una superficie estructurada conductora que soportaba las pirámides (249) cuadradas de cima truncada de 0,56 mm (22 milésimas de pulgada) de alto. Se aplicó un recubrimiento (267) de barrera de poliuretano a la superficie del panel curado de la siguiente manera para llenar completamente el volumen disponible entre la base y los picos de la estructura superficial. Primero, se limpió la superficie del panel curado con metil etil cetona y se le permitió secar durante 10 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). A continuación se aplicó un recubrimiento de poliuretano de la siguiente manera. Se preparó una solución de polímero. Más específicamente, se añadieron 2 partes de base de poliuretano disponible como CA8800/11050 en PPG Industries y 1 parte de activador disponible como CA8800 en PPG Industries a una botella de un litro de boca estrecha. La solución se mezcló mediante agitación con un depresor de pala de madera durante 3 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). Se repartió generosamente la solución sobre superficie estructurada y se usó un aplicador plástico tal como el disponible como PA-1 en 3M para distribuir la solución a través del panel para llenar el volumen disponible de las formaciones completamente entre la base y los picos de la estructura superficial pero sin cubrir la parte superior de cada formación de colina. Se permitió curar a la resina de poliuretano durante 4 días en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). Se aplicaron a continuación dos recubrimientos de pintura (294, 295) de poliuretano de la siguiente manera. Se preparó una solución de polímero. Más específicamente, se añadieron 2 partes de base de poliuretano disponible como CA8800/11050 en PPG Industries, 1 parte de activador disponible como CA8800 en PPG Industries y 1 parte de diluyente disponible como CA8800ST1 en PPG Industries a una botella de boca estrecha de un litro. La solución se mezcló mediante agitación con un depresor de pala de madera durante 3 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). La solución se transfirió a un depósito y se aplicaron 2 coberturas a la superficie usando un rociador de baja presión de alto volumen disponible comercialmente. Se permitió que el recubrimiento de pintura secura durante 7 días mínimo en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa).

Ejemplo 8: Estructura de compuesto plástico reforzado con fibra de carbono con estructura integral con recubrimiento de aluminio por vapor

50 Con referencia a la Fig. 6, se proporcionaron y usaron un tejido de carbono impregnado con resina epoxi, una película de adhesivo epoxi y aluminio depositado con vapor para preparar la muestra (208) de compuesto. Se proporcionó un panel plástico reforzado con fibra de carbono curado. Más específicamente, los siguientes materiales se montaron y prepararon tal como se describe en el “Mecanizado y empaquetado general de una pieza compuesta” anterior. Se aplicó primero a la herramienta, y se fijó a la misma con cinta resistente al calor en los bordes y esquinas de la película, una película con una superficie que tenía una estructura de un estampado variable de tronco cuadrilátero con 0,56 mm (22 milésimas de pulgada) de profundidad que tenía 0,36 mm (14 milésimas de pulgada) a través de la base y de 1 mm a 1,4 mm (40 milésimas de pulgada a 56 milésimas de pulgada) a través de la cara expuesta de la película. Esta película se fabricó de la manera descrita en US-5.152.917, cuya divulgación se incorpora como referencia en la presente memoria. La película se limpió libremente con un agente de separación de moldes disponible como 700NC en Loctite, colgado verticalmente para secar durante ½ hora en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa) antes de su aplicación a la herramienta. Contra esta película estampada se aplicaron 3 capas de película epoxi a 1,7 Pa (0,035 libras/pie²) disponible como 3M™ Scotch-Weld™ Structural Adhesive Film AF 555U 035 en 3M, formando la capa (268) de soporte. Sobre el adhesivo se aplicaron 13 capas de fibras de grafito unidireccional impregnado con resina epoxi disponible como P2353U 19 152 en Toray, formando el sustrato (228). Las resinas curables en este conjunto se curaron tal como se describe en el “Curado de una pieza compuesta” anterior para fabricar un panel curado. La película estampada se retiró, dejando una

superficie rica en adhesivo con un estampado variable de pirámides cuadradas de cima cortada de 0,56 mm (22 milésimas de pulgada) de alto sobre el panel. A la superficie estructurada del panel se aplicó una película (250) de aluminio de 8 micrómetros de grosor usando una cámara de deposición por vapor Denton creando un panel curado con una superficie estructurada conductora que soportaba las pirámides (251) cuadradas de cima truncada de 0,56 mm (22 milésimas de pulgada) de alto. Se aplicó un recubrimiento (269) de barrera de poliuretano a la superficie del panel curado de la siguiente manera para llenar completamente el volumen disponible entre la base y los picos de la estructura superficial. Primero, se limpió la superficie del panel curado con metil etil cetona y se le permitió secar durante 10 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). A continuación se aplicó un recubrimiento de poliuretano de la siguiente manera. Se preparó una solución de polímero. Más específicamente, se añadieron 2 partes de base de poliuretano disponible como CA8800/I1050 en PPG Industries y 1 parte de activador disponible como CA8800 en PPG Industries a una botella de un litro de boca estrecha. La solución se mezcló mediante agitación con un depresor de pala de madera durante 3 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). Se repartió generosamente la solución sobre superficie estructurada y se usó un aplicador plástico tal como el disponible como PA-1 en 3M para distribuir la solución a través del panel para llenar el volumen disponible completamente entre la base y los picos de la estructura superficial pero sin cubrir la cima de cada formación de colina. Se permitió curar a la resina de poliuretano durante 4 días en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). Se aplicó a continuación un recubrimiento de pintura (296) de poliuretano de la siguiente manera. Se preparó una solución de polímero. Más específicamente, se añadieron 2 partes de base de poliuretano disponible como CA8800/I1050 en PPG Industries, 1 parte de activador disponible como CA8800 en PPG Industries y 1 parte de diluyente disponible como CA8800ST1 en PPG Industries a una botella de boca estrecha de un litro. La solución se mezcló mediante agitación con un depresor de pala de madera durante 3 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). La solución se transfirió a un depósito y se aplicó una cobertura a la superficie usando un rociador de baja presión de alto volumen disponible comercialmente. Se permitió que el recubrimiento de pintura secura durante 7 días mínimo en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa).

Ejemplo 9: Estructura de compuesto plástico reforzado con fibra de carbono con estructura integral con recubrimiento de aluminio por vapor y sal de álcali conteniendo una segunda mano de pintura ionizable

Con referencia a la Fig. 7, se proporcionaron y usaron un tejido de carbono impregnado con resina epoxi, una película de adhesivo epoxi y aluminio depositado con vapor para preparar la muestra (209) de compuesto. Se proporcionó un panel plástico reforzado con fibra de carbono curado. Más específicamente, los siguientes materiales se montaron y prepararon tal como se describe en el “Mecanizado y empaquetado general de una pieza compuesta” anterior. Se aplicó primero a la herramienta, y se fijó a la misma con cinta resistente al calor en los bordes y esquinas de la película, una película con una superficie que tenía una estructura de un estampado variable de tronco cuadrilátero con 0,56 mm (22 milésimas de pulgada) de profundidad que tenía 0,36 mm (14 milésimas de pulgada) a través de la base y de 1 mm a 1,4 mm (40 milésimas de pulgada a 56 milésimas de pulgada) a través de la cara expuesta de la película. Esta película se fabricó de la manera descrita en US-5.152.917, cuya divulgación se incorpora como referencia en la presente memoria. La película se limpió libremente con un agente de separación de moldes disponible como 700NC en Loctite, colgado verticalmente para secar durante ½ hora en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa) antes de su aplicación a la herramienta. Contra esta película estampada se aplicaron 3 capas de película epoxi a 1,7 Pa (0,035 libras/pie²) disponible como 3M™ Scotch-Weld™ Structural Adhesive Film AF 555U 035 en 3M, formando la capa (270) de soporte. Sobre el adhesivo se aplicaron 13 capas de fibras de grafito unidireccional impregnado con resina epoxi disponible como P2353U 19 152 en Toray, formando el sustrato (229). Las resinas curables en este conjunto se curaron tal como se describe en el “Curado de una pieza compuesta” anterior para fabricar un panel curado. La película estampada se retiró, dejando una superficie rica en adhesivo con un estampado variable de pirámides cuadradas de cima cortada de 0,56 mm (22 milésimas de pulgada) de alto sobre el panel. A la superficie estructurada del panel se aplicó una película (252) de aluminio de 8 micrómetros de grosor usando una cámara de deposición por vapor Denton creando un panel curado con una superficie estructurada conductora que soportaba las pirámides (253) cuadradas de cima truncada de 0,56 mm (22 milésimas de pulgada) de alto. Se aplicó un recubrimiento (271) de barrera de poliuretano a la superficie del panel curado de la siguiente manera para llenar completamente el volumen disponible entre la base y los picos de la estructura superficial. Primero, se limpió la superficie del panel curado con metil etil cetona y se le permitió secar durante 10 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). A continuación se aplicó un recubrimiento de pintura de poliuretano conteniendo la sal (297) de álcali de la siguiente manera. Se preparó una solución de polímero. Más específicamente, se añadieron 4 partes de base de poliuretano disponible como CA8800/I1050 en PPG Industries y 2 partes de activador disponible como CA8800 en PPG Industries y 1 parte de polvo de nitrato de cesio a una botella de un litro de boca estrecha. La solución se mezcló mediante agitación con un depresor de pala de madera durante 3 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). Se repartió generosamente la solución sobre superficie estructurada y se usó un aplicador plástico tal como el disponible como PA-1 en 3M para distribuir la solución a través del panel para llenar completamente el volumen disponible entre la base y los picos de la estructura superficial pero sin cubrir la cima de cada formación de colina. Se permitió curar a la resina de poliuretano durante 4 días en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa).

65

Evaluación de los ejemplos 1C-5C (comparativo) y 6-9

Después del curado, se realizó un ensayo de los efectos directos de la corriente de incidencia del rayo según la norma SAE ARP5416 Aircraft Lightning Test Methods sobre varios de los paneles según se indica a continuación. Los cupones de los ejemplos 1C-5C y 6-9 se recortaron con una sierra de diamante a muestras de 41 centímetros por 41 centímetros (16 pulgadas por 16 pulgadas) y se montaron en el elemento fijo de ensayo. Se sujetaron con abrazaderas barras de aluminio al perímetro de cada panel y se conectaron eléctricamente al elemento fijo de ensayo con trenzas de cobre estañado. Un electrodo de desviación del chorro se suspendió cerca del centro del panel de ensayos de aproximadamente a 2,5 centímetros (1 pulgada) de la superficie del panel. Se realizó al menos una descarga sobre cada panel para transferir un componente de corriente C, aproximadamente 200 culombios, tal como se describe en la norma SAE ARP5412 Aircraft Lightning Environment y las formas de onda del ensayo relacionadas. Se examinó la superficie de cada área dañada a 16x. Cada panel se seccionó a través de las áreas dañadas con una sierra de diamante, se pulió con un abrasivo de 1200 grit y se observó microscópicamente a 50x o más en busca de daños. La Tabla I informa sobre los resultados del ensayo, y, para comparación, el peso del material conductor en cada muestra.

Tabla I

Ej.	Daño resultante	Peso del conductor (g/m ²)	Calidad de la incidencia <1>
1C	Daños en el acabado cosmético y capa conductora vaporizada en el sitio de la incidencia.	319	MS
2C	Los daños penetraron en el panel	63	SS
3C	Daños en el acabado cosmético y capa conductora vaporizada en el sitio de la incidencia.	73	SM
4C	Daños a las capas estructurales	73	MS
5C	Daños a las capas estructurales	653	SS
6	Daños en el acabado cosmético y capa conductora vaporizada en el sitio de la incidencia.	867	SM
7	Daños en el acabado cosmético y capa conductora parcialmente vaporizada en el sitio de la incidencia.	7	MRM
8	Daños en el acabado cosmético y capa conductora parcialmente fundida en el sitio de la incidencia.	7	MRM
9	Solo daños en el acabado cosmético	7	MRM

<1> Calidad de la incidencia:

SS = Incidencia fija única. El arco incidió en un único sitio sobre el panel de ensayos y permaneció incidiendo en el mismo sitio durante todo el ensayo.

MS = Múltiples incidencias fijas. El arco incidió en múltiples sitios sobre el panel de ensayo y permaneció incidiendo en estos mismos sitios durante todo el ensayo.

SM = Incidencia única moviéndose lentamente. El arco incidió en un único sitio sobre el panel de ensayo y ocasionalmente se movió a otro único sitio en varios intervalos durante el ensayo.

MRM = Múltiples incidencias moviéndose rápidamente. El arco incidió en múltiples sitios sobre el panel de ensayo y se movió rápidamente entre los sitios disponibles a lo largo del ensayo.

Ejemplos 10C (comparativa). 11 y 12

Se realizaron tres tipos de cupones, tal como se describe en la Tabla II.

Tabla II

Ej.	Características conductoras	Características no conductoras
10C	2024-T3 Bare Aluminum Panel	Uniformemente recubierto con poliuretano sobre todo el panel.
11	Una lámina micro replicada que presentaba formaciones de colina se recubrió por vaporización sobre toda la superficie con cobre.	Recubierta con poliuretano de modo que los picos de las formaciones de colinas no se cubrieran completamente.
12	Una lámina micro replicada que presentaba formaciones de colina se recubrió por vaporización sobre toda la superficie con aluminio.	

Los cupones para los ejemplos 11 y 12 se realizaron como sigue. Se proporcionó una película de óxido de aluminio soportada sobre tejido con una superficie que tenía una estructura con un estampado variable de un tronco cuadrilátero de

0,64 mm (25 milésimas de pulgada) de altura que tenía 0,1 mm (4 milésimas de pulgada) a través del pico y de 0,28 mm a 0,38 mm (11 milésimas de pulgada a 15 milésimas de pulgada) a través de la base, disponible como Trizact™ Abrasive Belts en 3M. A la superficie estructurada del panel se aplicó una película metálica de 0,1 micrómetros usando una cámara de deposición por vapor Denton para crear un panel con una superficie estructurada conductora. El metal fue cobre para los cupones del Ejemplo 11 y aluminio para los cupones del Ejemplo 12. Se aplicó un recubrimiento de barrera de poliuretano a la superficie de todos los cupones de los ejemplos 10C, 11 y 12 de la siguiente manera para rellenar completamente el volumen disponible entre la base y los picos de la estructura superficial. Primero, se limpió la superficie del panel con metil etil cetona y se le permitió secar durante 10 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). A continuación se aplicó un recubrimiento de poliuretano de la siguiente manera. Se preparó una solución de polímero. Más específicamente, se añadieron 2 partes de base de poliuretano disponible como CA8800/11050 en PPG Industries y 1 parte de activador disponible como CA8800 en PPG Industries a una botella de un litro de boca estrecha. La solución se mezcló mediante agitación con un depresor de pala de madera durante 3 minutos en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa). Se repartió generosamente la solución sobre superficie estructurada y se usó un aplicador plástico tal como el disponible como PA-1 en 3M para distribuir la solución a través del panel. En el caso de los Ejemplos 11 y 12, la solución relleno completamente el volumen entre la base y los picos de la estructura superficial pero no cubrió la parte superior de cada formación de colina. Se permitió curar a la resina de poliuretano durante 4 días en condiciones ambientales (22 °C; 50 por ciento de humedad relativa).

Se realizaron y ensayaron múltiples cupones de cada tipo, tal como se notifica en la Tabla III. Cada cupón se colocó en un Phenix Technologies Model LD60 Liquid Dielectric Test Set modificado para aceptar muestras de película con un espacio de aire de 3 a 4,5 mm entre el electrodo y el cupón de ensayo. Se aplicó un potencial eléctrico con un voltaje que se incrementó a un ritmo de 3000 voltios por segundo hasta que se creó un arco a través del espacio de aire entre el electrodo y el cupón de ensayo. El valor del potencial eléctrico y duración del evento del arco se registraron en el instante en que se desarrolló el arco. Se usó una cámara de alta velocidad funcionando en el intervalo electromagnético visual para capturar el evento sobre cuadros de imagen progresivos. Las fotos de alta velocidad se usaron para evaluar el número de localizaciones de incidencia discretos sobre el panel de ensayo durante el evento del arco. Los daños al cupón se evaluaron mediante inspección visual.

Los resultados se presentan en la Tabla III.

Tabla III

Ej.	Número de muestras	Duración del evento	Número de puntos de incidencia discretos	Tensión de ruptura
10C	2	0,01 s	1	3 kV/mm de hueco
11	4	0,02 - 0,03 s	16 a 23	2 kV/mm de hueco
12	4	0,02 - 0,03 s	40 a 60	2 kV/mm de hueco

El arco eléctrico incidió en los paneles con sitios conductores preferencialmente discretos en significativamente más puntos que la incidencia en paneles a los que se recubrió uniformemente con una pintura no conductora. Al incrementar el número de localizaciones de incidencia desde 1 a entre 20 y 60, la densidad de la corriente local puede reducirse hasta en un 98%. Esto puede permitir una reducción correspondiente en el grosor, o peso, del sistema de protección. También puede crear una oportunidad para usar materiales conductores que sean de peso más ligero o menos caros pero que en otro caso serían incapaces de proteger la estructura frente a los efectos locales de la corriente eléctrica y el calor generado durante el evento.

Serán evidentes para los expertos en la técnica diversas modificaciones y alteraciones a esta divulgación sin abandonar el ámbito y principios de esta divulgación, y se debería entender que esta divulgación no está indebidamente limitada a las realizaciones ilustrativas expuestas en la presente memoria anteriormente.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una lámina de protección contra rayos que comprende una película (30) eléctricamente conductora sustancialmente continua que tiene un grosor t , donde la película (30) eléctricamente conductora se estampa con una pluralidad de formaciones (40) de colina que tienen una altura h mayor que t , en donde la lámina de protección contra rayos comprende adicionalmente una capa (60) discriminadora eléctricamente no conductora sobre la película (30) eléctricamente conductora.
- 10 2. La lámina de protección contra rayos según la reivindicación 1 en donde h es mayor que 3 veces t .
3. La lámina de protección contra rayos según la reivindicación 1 en donde h es mayor que 10 veces t .
- 15 4. La lámina de protección contra rayos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde t está entre 0,001 y 100 micrómetros.
- 20 5. La lámina de protección contra rayos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde t está entre 0,01 y 10 micrómetros.
6. La lámina de protección contra rayos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde h está entre 6 micrómetros y 1 mm.
7. La lámina de protección contra rayos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que contiene una cantidad de material eléctricamente conductor que pesa menos de 50 g/m².
- 25 8. La lámina de protección contra rayos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que no comprende una capa eléctricamente conductora distinta de las películas (30) eléctricamente conductoras sustancialmente continuas que tienen un grosor t , donde las películas (30) eléctricamente conductoras se estampan en una pluralidad de formaciones (40) de colina que tienen una altura h mayor que t .
- 30 9. La lámina de protección contra rayos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que no comprende una capa eléctricamente conductora distinta de las películas (30) eléctricamente conductoras sustancialmente continuas que tienen un grosor entre 0,001 y 100 micrómetros.
- 35 10. La lámina de protección contra rayos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende adicionalmente una capa (50) de soporte eléctricamente no conductora por debajo de la película (30) eléctricamente conductora continua, donde la capa (50) de soporte tiene una superficie superior que tiene sustancialmente el mismo estampado de formaciones de colina que la película (30) eléctricamente conductora.
- 40 11. La lámina de protección contra rayos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la capa discriminadora eléctricamente no conductora cubre partes de la película (30) eléctricamente conductora, en donde las formaciones (40) de colina comprenden cimas que no están cubiertas por la capa discriminadora.
- 45 12. La lámina de protección contra rayos según cualquiera de las reivindicaciones 1-10 en donde la capa (60) discriminadora eléctricamente no conductora cubre la película (30) eléctricamente conductora.
13. La lámina de protección contra rayos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde la capa (60) discriminadora eléctricamente no conductora comprende pigmentos ionizables.
- 50 14. La lámina de protección contra rayos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende una capa (70) de pintura ionizable.

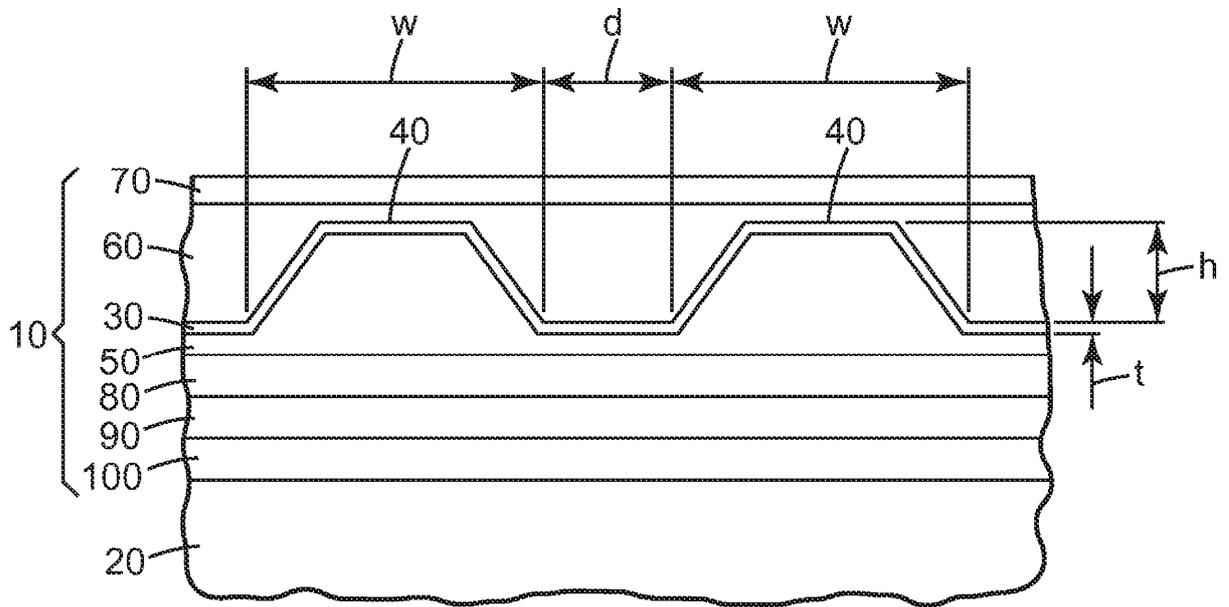


Fig. 1

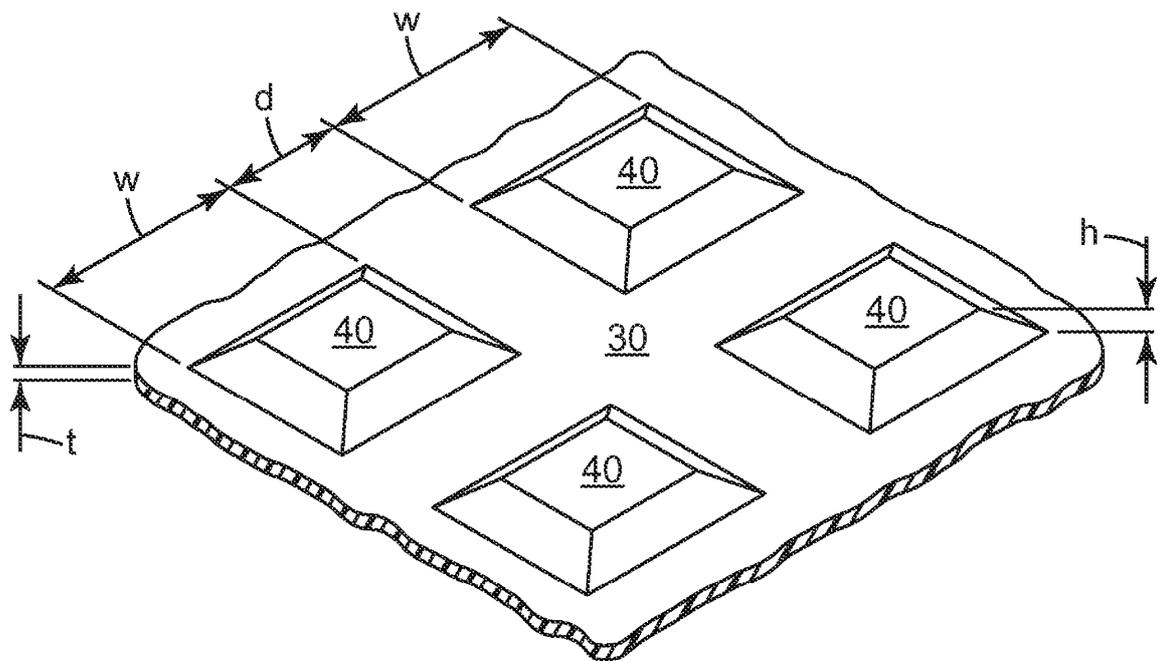


Fig. 2

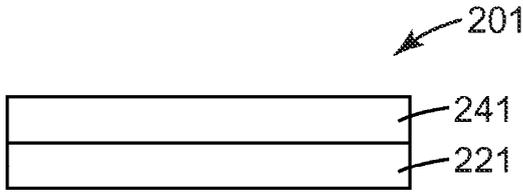


Fig. 3A
TÉCNICA ANTERIOR

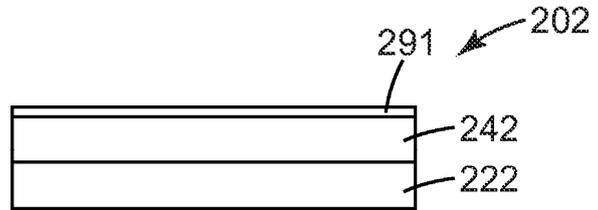


Fig. 3B
TÉCNICA ANTERIOR

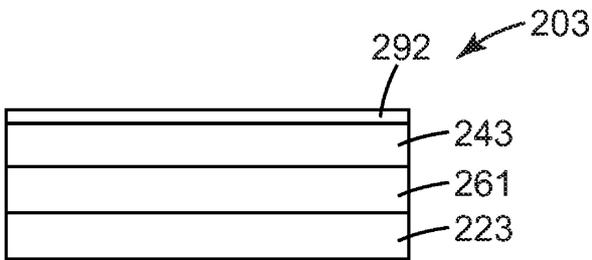


Fig. 3C
TÉCNICA ANTERIOR

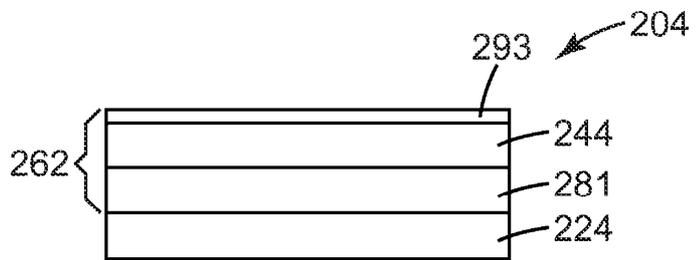


Fig. 3D
TÉCNICA ANTERIOR

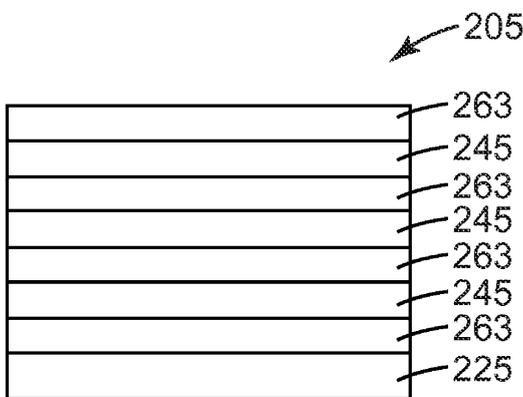


Fig. 3E
TÉCNICA ANTERIOR

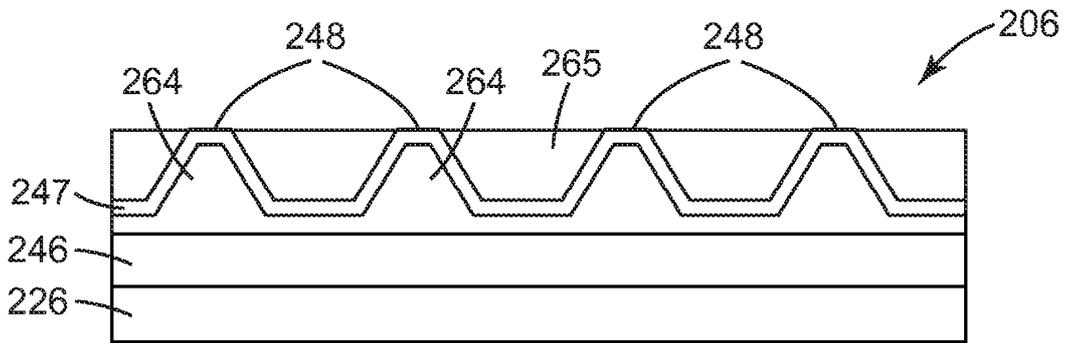


Fig. 4

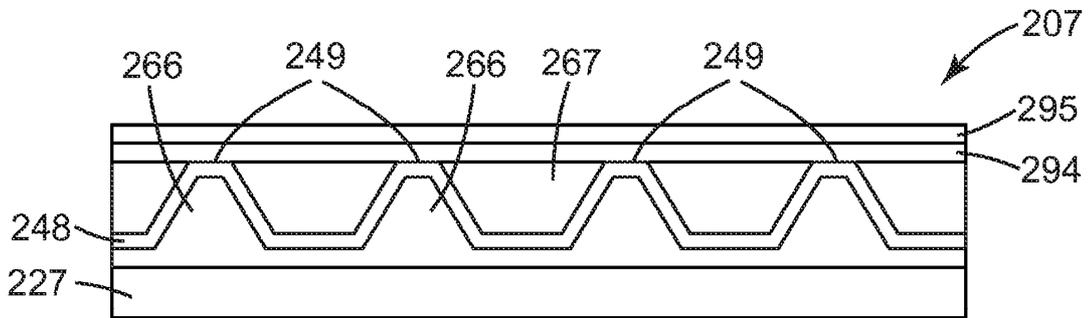


Fig. 5

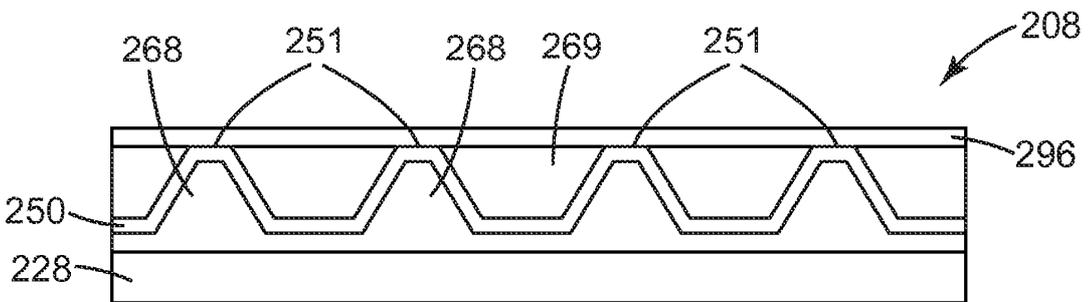


Fig. 6

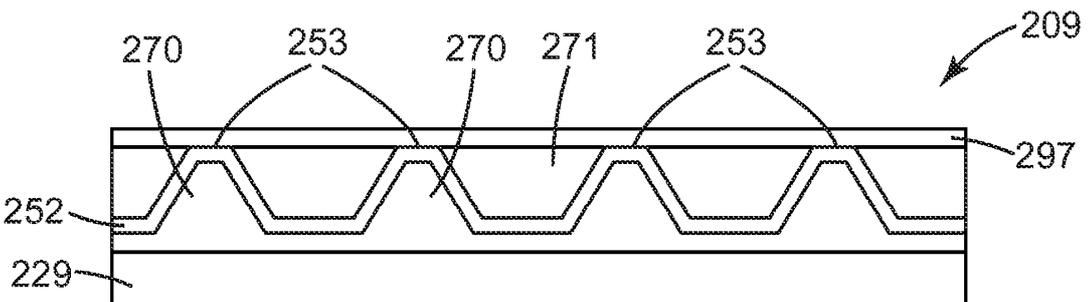


Fig. 7