

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 628 957**

51 Int. Cl.:

B29C 70/88 (2006.01)
B29C 70/86 (2006.01)
B29C 70/54 (2006.01)
B29C 70/08 (2006.01)
B64D 33/02 (2006.01)
B29C 70/44 (2006.01)
F02C 7/045 (2006.01)
G10K 11/172 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.03.2011 PCT/GB2011/000278**
 87 Fecha y número de publicación internacional: **09.09.2011 WO11107733**
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.03.2011 E 11710008 (1)**
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.05.2017 EP 2542401**

54 Título: **Recubrimiento acústico sin costuras**

30 Prioridad:

02.03.2010 GB 201003487

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

04.08.2017

73 Titular/es:

**GKN AEROSPACE SERVICES LIMITED (100.0%)
 Ferry Road
 East Cowes, Isle of Wight PO32 6RA, GB**

72 Inventor/es:

VAVALLE, ARMANDO

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 628 957 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

Recubrimiento acústico sin costuras

5 Campo de la divulgación

La presente divulgación se refiere específicamente a una disposición de recubrimiento acústico, pero no exclusivamente, para su uso en unos motores de turbina de gas o turboventiladores del tipo montado en aeronaves comerciales o similares. La divulgación se extiende a un método de fabricación del mismo.

10

Antecedentes

Los niveles de ruido generados por las aeronaves comerciales modernas durante el despegue y el aterrizaje son de gran importancia para los operadores de aeronaves. Con el fin de reducir (atenuar) el ruido emitido por los motores de aeronave, los conductos de admisión de aire de los motores de turbina de gas o turboventiladores están, en general, provistos de unos recubrimientos acústicos en las superficies interiores del motor que están configurados para atenuar el ruido generado por el motor en funcionamiento.

15

Se conocen diversos diseños de un panel de atenuación de ruido en la técnica. En general, los paneles comprenden una capa perforada que define parte de los conductos de admisión del motor y una capa no perforada adicional que define la pieza posterior del panel. Una capa de panel, tal como la fabricada por la empresa Hexcel, está localizada entre las dos capas. De este modo, puede atenuarse el ruido mediante la capa de panel ya que se permite que el aire entre en el panel a través del panel perforado.

20

Estos paneles acústicos existentes han dado lugar a mejoras significativas en los niveles de ruido de las aeronaves. Sin embargo, con los aumentos deseados en el ahorro de combustible de los operadores de aeronaves el peso adicional conocido de los paneles acústicos, añadido a los motores de la aeronave presenta sus propios problemas. Una solución para reducir el peso es emplear un material más ligero tal como materiales compuestos. El paso a la fabricación de paneles acústicos usando materiales compuestos puede mitigar los problemas de peso adicionales de los paneles acústicos. Sin embargo, aumenta considerablemente el coste y la complejidad de la fabricación de paneles acústicos debido a la naturaleza de la fabricación de piezas de material compuesto.

25

30

La presente divulgación pretende abordar los problemas asociados con la técnica anterior en términos de peso al tiempo que proporciona un panel acústico mejorado en coste de fabricación mínimo. Esto puede reducir el consumo de combustible del motor y minimizar el uso de energía en la fabricación.

35

El documento EP1767325 desvela un método y un aparato para fabricar una estructura de material compuesto tubular. El documento FR 2927271 desvela un método para dividir una pieza acústica de una barquilla.

40 Sumario de la divulgación

Una primera enseñanza de la divulgación está dirigida a un método de fabricación de un panel acústico de material compuesto que comprende una capa exterior permeable, una lámina de recubrimiento impermeable y una capa de absorción de sonido dispuesta entre las mismas, comprendiendo el método las etapas de:

45

- disponer un material de material compuesto laminado para formar una capa exterior;
- polimerizar dicho laminado para formar una capa exterior sustancialmente continua a una primera presión de polimerización de aproximadamente la presión atmosférica o a una presión mayor que la presión atmosférica;
- disponer de una capa de absorción de sonido sobre la capa exterior polimerizada;
- disponer un material compuesto laminado sobre la capa de absorción de sonido para formar una capa de recubrimiento;
- polimerizar el panel acústico de material compuesto a una segunda presión de polimerización; y
- perforar la capa exterior en una pluralidad de posiciones y a una profundidad predeterminada.

50

Las expresiones lámina exterior y capa exterior y lámina de recubrimiento y capa de recubrimiento se usarán indistintamente (y respectivamente) a través de toda la descripción.

55

La presente divulgación se refiere específicamente, pero no exclusivamente, a un panel acústico usado en el conducto de admisión de aire, el carenado o similar de un motor de turbina de gas. En una aplicación de este tipo, la propia lámina exterior define toda o una parte sustancial del conducto de admisión de aire y, por lo tanto, se requiere que tenga una geometría precisa que corresponda a los requisitos de diseño aerodinámico de la admisión del motor.

60

La presente divulgación permite que un panel acústico se fabrique con precisión, con una reducción significativa en el peso y en mínimos costes de fabricación. Esto proporciona ventajas significativas tanto al fabricante de la aeronave como al operador de la flota de aeronaves. Estas ventajas se tratan con más detalle a continuación.

65

Como se ha indicado anteriormente, el método de fabricación de acuerdo con la presente divulgación implica un proceso de polimerización de dos etapas para formar el panel acústico. El inventor ha identificado que la división del proceso de polimerización en dos etapas discretas resulta en una sorprendente reducción general en los costes de fabricación.

5 La primera etapa de polimerización puede realizarse a una alta (por ejemplo, autoclave) o a una baja presión (atmosférica) en función de las temperaturas y las presiones necesarias para los materiales específicos usados para el componente. Una polimerización de alta presión permite, en general, que se alcancen tolerancias geométricas más pequeñas, pero aumenta el coste de fabricación. Por el contrario, la polimerización a baja presión reduce en general los costes de fabricación, pero puede aumentar las tolerancias que pueden alcanzarse para el componente.

10 De acuerdo con la presente divulgación la primera presión de polimerización y la segunda presión de polimerización pueden ser, ventajosamente, de manera aproximada la presión atmosférica para reducir el coste de la polimerización. Ventajosamente, la primera presión de polimerización puede estar entre aproximadamente 1 y 1,5 bar (15 psi a 20 psi). El inventor ha establecido que un pequeño aumento de la presión por encima de la presión atmosférica puede mejorar ventajosamente la curación mientras que se controlan los costes de fabricación de algunos materiales.

15 La segunda presión de polimerización puede ser, ventajosamente, la presión atmosférica para reducir el coste de la polimerización durante la segunda etapa. La segunda presión de polimerización puede estar entre aproximadamente 1 y 1,5 bar (15 psi a 20 psi).

20 Por lo tanto, las etapas de polimerización primera y segunda pueden realizarse ambas a presión atmosférica o a una presión de entre 1 y 1,5 bar. Esto reduce ventajosamente el coste de fabricación y evita daños al material absorbente de sonido.

25 Por supuesto, se reconocerá que los avances en materiales pueden permitir una etapa de polimerización de baja presión que se realiza mientras que se logran tolerancias geométricas ajustadas.

30 Un experto en la materia reconocerá que la expresión alta presión pretende referirse a las condiciones de autoclave y que la expresión baja presión a las condiciones fuera de autoclave (OOA).

35 Como se ha expuesto anteriormente, la segunda y separada etapa de polimerización se realiza a presión ambiente, es decir, lo que se conoce en la técnica como condiciones 'fuera de autoclave'. De este modo, puede reducirse el coste de fabricación.

Las expresiones condiciones de autoclave y condiciones fuera de autoclave (OOA) son expresiones familiares para los expertos en la materia.

40 La presente divulgación proporciona un método más eficiente y económico de fabricación de un panel acústico. El uso de un proceso de fabricación en dos etapas que implica una primera etapa de polimerización (a una alta o baja presión) y a continuación una segunda etapa de polimerización separada (a baja presión) es de hecho contraintuitivo.

45 En las técnicas existentes, debido a los requisitos geométricos y a las tolerancias de la lámina exterior (que forma parte del conducto de flujo de aire en o dentro del motor) es ventajoso polimerizar la pieza bajo condiciones de autoclave. Debido a esto, y a minimizar el número de etapas de fabricación, todo el componente se cura (polimeriza) en una etapa para crear la pieza completa.

50 Sin embargo, el proceso de dos etapas de acuerdo con la presente divulgación reduce en realidad ventajosamente el coste de fabricación debido a que toda la cura no tiene lugar bajo condiciones de autoclave. Además, el curado bajo presiones reducidas evita ventajosamente el daño a la absorción de sonido que puede producirse a altas presiones y temperaturas. La presente divulgación también evita la necesidad de unas piezas reforzadas sobre o alrededor de la capa de panel que pueden necesitarse para evitar tal daño. Esto reduce aún más el peso del componente.

55 Además, y como se trata en más detalle a continuación, dividiendo la cura en dos etapas discretas se permite una mayor flexibilidad en la selección de los materiales para las otras piezas que forman el panel acústico y evita el daño que puede provocarse bajo condiciones de autoclave.

60 Las referencias en la siguiente descripción a 'disponer' de laminados, una capa de absorción de sonido y, opcionalmente, un adhesivo se comprenderá por un experto en la materia de la fabricación de piezas de material compuesto.

65 La selección del propio material compuesto se realiza en función de los requisitos de rendimiento del panel dado. De acuerdo con la presente divulgación, el material compuesto usado para la lámina exterior y de recubrimiento puede

5 ser, por ejemplo, un material compuesto de matriz polimérica (PMC) que usa fibras de vidrio, aramida o híbridas como refuerzo. La expresión material compuesto pretende referirse a un material adecuado tal como fibras de carbono, fibras de aramida o fibras de vidrio o una combinación adecuada de las mismas, tal como, por ejemplo, una combinación de fibras de carbono y fibras de aramida. El material compuesto puede ser un material compuesto pre-impregnado unidireccional de acuerdo con la resistencia deseada del componente. Como alternativa, el material compuesto puede ser una tela tejida seca intercalada con resina.

10 El panel acústico está formado ventajosamente por una lámina exterior permeable que permite que el aire (y por lo tanto el sonido) pase a su través. La lámina exterior se forma como una forma en general cilíndrica o de 'barril' (por ejemplo, alrededor de un mandril) con el fin de permitir (en uso) un flujo sin obstáculos de aire en el motor y dirigir el aire hacia las paletas de compresor del motor. Por lo tanto, la lámina exterior tiene unos requisitos geométricos ajustados. La autoclave o polimerización a alta presión de la lámina exterior proporciona ventajosamente el control necesario de la geometría de la lámina exterior durante la etapa de fabricación y, por lo tanto, la primera etapa de fabricación puede comprender una polimerización a alta presión bajo condiciones de autoclave.

15 Como alternativa, usando resinas fuera de autoclave adecuadas, puede ser posible alcanzar las tolerancias geométricas necesarias bajo condiciones de fuera de autoclave o de polimerización de baja presión reduciendo de este modo potencialmente aún más los costes.

20 La lámina de recubrimiento del panel acústico está localizada dentro de la carcasa del motor y, en general, no se expone al flujo de aire o se requiere para actuar como un componente aerodinámico. De este modo, es posible formar la lámina o capa de recubrimiento a baja presión, por ejemplo, bajo condiciones fuera de autoclave.

25 Además, la división de las etapas de polimerización también permite ventajosamente que las tolerancias de los componentes individuales se comprueben con los requisitos a través del proceso de fabricación proporcionando de este modo la pieza óptima. Por ejemplo, puede curarse la lámina exterior y a continuación medirse antes de que se realice la siguiente etapa del método.

30 La capa de absorción de sonido puede unirse a la capa exterior aplicando opcionalmente una capa adhesiva adicional a la capa exterior curada antes de que la capa de absorción de sonido se disponga sobre la capa exterior. Esto mejora la unión entre las dos capas si la resina es insuficiente para proporcionar la resistencia de unión deseada.

35 Del mismo modo la capa de recubrimiento puede unirse opcionalmente a la capa de absorción de sonido usando una capa de adhesivo adecuado antes de que se disponga sobre la capa de absorción de sonido. Esto mejora la unión entre las dos capas si la resina es insuficiente para proporcionar la resistencia de unión deseada.

40 Las piezas de material compuesto que forman la lámina exterior y la lámina de recubrimiento pueden formarse usando técnicas de disposición convencionales conocidas en la técnica de la fabricación de piezas de material compuesto. Por ejemplo, las láminas respectivas pueden formarse disponiendo una serie de capas de fibra pre-impregnadas (resina) con un tejido alrededor de un mandril correspondiente a la forma deseada de la lámina exterior o de recubrimiento. Como alternativa, se puede enrollar una tira continua alrededor de un mandril plegable adecuado o similar, eliminando de este modo cualquier costura o borde del panel. La disposición puede realizarse manualmente o como alternativa usando una máquina automatizada de colocación de fibras.

45 Esta etapa de formación evita la necesidad de un miembro de conexión que enlace dos extremos de un material de lámina entre sí para formar la forma de barril de la lámina exterior. El uso de un miembro de conexión, tal como una "cinta de envoltura" o placa, reduce significativamente la resistencia estructural de la pieza y la rigidez de la pieza. También añade una etapa adicional al proceso de fabricación.

50 Como se ha tratado anteriormente, una superficie continuamente uniforme para la lámina exterior reduce ventajosamente cualquier turbulencia del flujo de aire de la lámina que de otro modo podría provocarse por las uniones o similares sobre la superficie de la lámina exterior. Además, se ha descubierto también que una superficie continua mejora aún más las propiedades de atenuación de sonido del panel como se trata más adelante.

55 En la formación de la lámina exterior o a lámina de recubrimiento, el propio tejido o malla puede estar pre-impregnado con resina o como alternativa la resina puede aplicarse a las capas de laminado cuando se disponen las capas. A continuación, la resina se polimeriza (también denominado como curación) en las dos etapas que se exponen en el presente documento para formar la lámina exterior endurecida y la lámina de recubrimiento endurecida.

60 La lámina exterior y la lámina de recubrimiento pueden formarse ventajosamente de materiales diferentes con el fin de que los costes puedan reducirse y los materiales pueden optimizarse durante las condiciones de polimerización (curado) dadas ya que se emplearán de acuerdo con el método de fabricación.

65

5 La lámina exterior y la lámina de recubrimiento pueden ser de cualquier espesor adecuado. La lámina exterior puede ser, por ejemplo, más gruesa que la lámina de recubrimiento con el fin de proporcionar el soporte estructural para el panel y permitir un acoplamiento conveniente de la pieza al motor. Como alternativa, la lámina de recubrimiento puede tener ventajosamente un espesor reducido para controlar el peso del panel, manteniendo al mismo tiempo las propiedades de sellado necesarias contra la cara distal de la capa de absorción de sonido alejada de la lámina exterior.

10 La capa de absorción de sonido localizada entre la lámina exterior y de recubrimiento puede ser cualquier capa adecuada en función de los criterios de aplicación y de diseño para el panel acústico. La capa de absorción de sonido está formada, en general, por una pluralidad de cavidades o celdas discretas localizadas entre la lámina exterior y la lámina de recubrimiento. La capa de absorción de sonido está dispuesta de tal manera que se extiende como una capa uniforme y sustancialmente sin costuras que cubre toda la superficie de la lámina exterior. Es decir, la capa de absorción de sonido está dispuesta también en una forma de 'barril' y se forma de manera que sea sin costuras. De este modo, se optimiza la resistencia y se eliminan los huecos que de otro modo reducirían las propiedades de atenuación de ruido generales del panel.

20 La capa puede estar formada, por ejemplo, de una espuma, o similares, dispuesta para atenuar el sonido que pasa al interior de la capa de absorción de sonido a través de la lámina exterior permeable. En una disposición de este tipo, la capa de absorción de sonido y las láminas, exterior y de recubrimiento, pueden estar en contacto directo entre sí para minimizar la anchura del panel.

25 Una espuma metálica, un panel de metal (tal como aluminio) o un panel de material compuesto pueden seleccionarse como la capa de absorción de sonido de acuerdo con la resistencia de estructura deseada del panel. Puede seleccionarse una capa de material compuesto o metálico para aplicaciones que requieren un ancho de banda de frecuencia reducido en el que el recubrimiento acústico debe ser eficaz, es decir, para aplicaciones específicas de motores.

30 La corrosión galvánica puede producirse cuando dos materiales de diferentes propiedades dieléctricas se unen entre sí y se ha identificado que este es también el caso con los materiales compuestos. En consecuencia, puede añadirse una malla de vidrio adicional o similar que proporcione un aislamiento eléctrico a la pila de carbono antes de unir la capa exterior y/o de recubrimiento de carbono a la capa de absorción de sonido metálica.

35 Ventajosamente, la capa de absorción de sonido puede formarse como una capa de panel de material compuesto que define una pluralidad de celdas o cavidades discretas que se extienden entre la lámina exterior y la lámina de recubrimiento. La capa está dispuesta para actuar como un resonador para la atenuación acústica. Las capas de panel adecuadas están disponibles a partir de proveedores como HEXCEL, con sede en Arizona.

40 El panel se tabica, es decir, una o más capas de tabique porosas pueden estar localizadas dentro de cada una de las celdas de panel entre la lámina exterior y la lámina de recubrimiento. La configuración específica de la localización del panel y del tabique dentro de la capa de absorción de sonido se predeterminará en función de los requisitos de atenuación del panel acústico dado. Las cavidades multicapa definidas por el tabique o los tabiques amplían ventajosamente el intervalo de frecuencia de atenuación. Por ejemplo, pueden usarse dos tabiques que definen tres cavidades. El uso de un tabique genera, en general, una penalización por peso para el mismo intervalo de frecuencias objetivo de atenuación cuando se compara con una disposición de capa única (sin tabique). Tal como se ha descrito, la presente divulgación proporciona un panel con una sección transversal reducida y esto minimiza el peso total, permitiendo de este modo que se emplee un tabique sin una penalización por peso.

50 La capa de absorción de sonido está configurada preferentemente para corresponder a la curvatura de la lámina exterior polimerizada de tal manera que las paredes que definen las celdas adyacentes dentro de la capa de panel no se estiran o se pliegan cuando la capa está establecida alrededor de la lámina exterior. Por ejemplo, el radio de curvatura de la cara externa (próxima a la capa de recubrimiento) de la capa de panel puede ser ventajosamente mayor que el de la cara interna (próxima a la lámina exterior) para adaptarse a la curvatura de la capa de absorción de sonido. En efecto, las celdas de panel tienen una geometría ahusada.

55 El tabique está dispuesto para dividir cada 'celda' del panel en al menos dos volúmenes. Es decir, un primer volumen próximo a la lámina exterior y un segundo volumen próximo a la lámina de recubrimiento. El tabique se extiende, en general, perpendicularmente desde las paredes laterales de cada una de las celdas y está acoplado a las paredes laterales de cada celda por medio de una pieza del material de tabique que se alinea con la pared de celda. En efecto, cada tabique tiene una parte de "reborde" que se extiende alrededor de su periferia que se alinea con las paredes de celda y puede acoplarse a las mismas.

60 Las celdas pueden comprender un canal de comunicación que se extiende entre las celdas adyacentes en la parte de la celda próxima a la capa de recubrimiento. En efecto, el "panel" tiene celdas que están ranuradas en una parte de la capa que se alinea con el segmento inferior del motor. Esto facilita el drenaje del agua o similar de las celdas, ya que el agua es capaz de escapar de las celdas localizadas en la parte inferior de la admisión del motor.

La parte de reborde que se alinea con las paredes de las celdas puede, o extenderse desde el tabique hacia la lámina exterior del panel acústico o hacia la lámina de recubrimiento del panel acústico. Una parte de reborde que se extiende hacia la lámina de recubrimiento, es decir, alejada de la lámina exterior, permite que el tabique se coloque más cerca de la lámina exterior que lo que sería posible si el reborde se extendiese hacia la lámina exterior. Esto puede proporcionar mejoras de rendimiento de atenuación, es decir, acústicas. A la inversa, si la parte de reborde se extiende alejándose de la lámina exterior y hacia la lámina de recubrimiento, esto permite una fabricación más conveniente de las celdas y, por lo tanto, de la capa de absorción de sonido.

El método de acuerdo con una enseñanza de la divulgación requiere que la permeabilidad de la lámina exterior se proporcione como una etapa final en el método de fabricación.

El inventor ha identificado que la perforación de la lámina exterior del panel al final del proceso y después de una segunda etapa de polimerización (de un proceso de dos etapas) proporciona unas ventajas significativas sobre la técnica, incluyendo las siguientes:

(i) las perforaciones que proporcionan la permeabilidad de la lámina exterior pueden localizarse con precisión en el componente curvado final. La pre-perforación de la lámina exterior antes de la formación de la pieza no permite la colocación precisa de las perforaciones en el panel acústico final (con respecto a las celdas de la capa de absorción de sonido) durante la disposición y el curado del panel;

(ii) las perforaciones pueden formarse con precisión y uniformidad a través de la lámina exterior. Pueden proporcionarse tolerancias ajustadas para el diámetro y la uniformidad de los orificios que se forman a través de la lámina exterior. Además, la perforación de la lámina exterior en esta etapa permite que los orificios se formen convenientemente con precisión en el ángulo deseado, por ejemplo, perpendiculares a la superficie de la lámina exterior y las perforaciones individuales pueden formarse ventajosamente con bordes paralelos optimizando de este modo aún más el rendimiento acústico;

(iii) cualquier adhesivo que pueda haberse aplicado durante el proceso de disposición puede retirarse convenientemente durante el proceso de perforación garantizando de este modo que todas las perforaciones estén abiertas con el fin de exponer la capa de panel;

(iv) puede considerarse cualquier deformación durante las etapas de polimerización. Más importante aún, se evita cualquier deformación en forma de orificio debida a la formación de una piel pre-perforada de la forma deseada que proporciona mejoras en el rendimiento acústico; y

(v) también puede considerarse cualquier inexactitud durante las etapas de disposición para optimizar aún más el rendimiento acústico.

Otra ventaja de la presente divulgación es que permite que se evite el aplastamiento o un daño al núcleo de la capa de absorción de sonido durante el curado. Específicamente, puede evitarse la necesidad de introducir refuerzos tales como "ángulos" que de otro modo aumentarían el peso de la pieza o "rampas", lo cual sería perjudicial para las propiedades de disipación de sonido del panel. Los términos "ángulos" y "rampas" son conocidos en la técnica.

Unos anillos adicionales (conocidos en la técnica como ángulos) con una sección transversal en forma de Z pueden proporcionarse durante el curado de baja presión de la piel de recubrimiento. Pueden introducirse rampas/ángulos en los bordes del núcleo para evitar el aplastamiento del núcleo local debido a la alta presión (normalmente en un proceso de autoclave) que actúa a lo largo de una dirección normal al borde de la capa de panel (el panel tiene muy baja resistencia de compresión en el plano). Las rampas de núcleo no tratadas con pieles no perforadas, como un remedio, reducen la extensión del tratamiento acústico. Las rampas de núcleo tratadas con piel perforada introducen un cambio repentino de impedancia acústica que puede no ser beneficiosa.

La permeabilidad deseada de la lámina exterior puede pre-determinarse para una aplicación acústica y un motor dados. Esto puede ser a través de la experimentación o a través del modelado acústico. Esta determinación establece el tamaño, la localización y la distribución de las perforaciones en la lámina exterior para un diseño de motor dado.

Las perforaciones son aberturas que se extienden a través de la anchura de la lámina exterior y pueden formarse de cualquier manera adecuada. Ventajosamente, las aberturas están provistas de un perímetro liso y uniforme para evitar cualquier concentración de tensión en el material compuesto. Las perforaciones pueden ser, por ejemplo, orificios circulares o redondeados para permitir la fabricación conveniente usando, por ejemplo, técnicas de taladrar.

Como alternativa, puede emplearse un láser para realizar la ablación del material compuesto y para exponer (y, opcionalmente, penetrar) la capa de absorción de sonido. Por ejemplo, puede usarse un láser ultravioleta Excimer para formar las aberturas con un divisor de haz holográfico. Una disposición de este tipo permite ventajosamente que se aplique calor a una pequeña localización para formar con precisión las pequeñas aberturas deseadas. Se reconocerá que la potencia del láser específico dependerá del material a través del que se formarán las aberturas.

Este tipo de láser de baja potencia evita ventajosamente el calor o un daño de contacto de la lámina exterior que puede producirse con una operación de taladrar. Ventajosamente, un divisor de haz holográfico hace posible formar una pluralidad de aberturas en un corto periodo de tiempo, reduciendo de este modo el tiempo de fabricación y minimizando el uso de energía en esta etapa de fabricación.

5 Como alternativa, un solo husillo o más ventajosamente un cabezal de taladrar de múltiples husillos puede usarse para penetrar en la lámina exterior para proporcionar la permeabilidad deseada. De este modo, puede taladrarse simultáneamente una pluralidad de orificios a través de la lámina exterior del panel terminado. El aparato de taladrar puede colocarse y controlarse por medio de un brazo robótico o similar para automatizar y optimizar los procesos. 10 En una disposición de este tipo, el panel terminado puede fijarse y el brazo robótico controlarse para localizar la broca(s) de taladro en la posición correcta antes de taladrar.

Ventajosamente, el aparato de taladrar robótico o automatizado puede usarse junto con un segundo miembro móvil dispuesto para soportar y hacer rotar el panel acústico polimerizado. El segundo elemento móvil puede estar, por 15 ejemplo, en la forma de una plataforma rotatoria horizontal sobre la que se coloca y se fija el panel.

A continuación, puede emplearse un aparato de taladrar simplificado que comprende un miembro recíprocamente móvil que lleva una pluralidad de cabezales de taladrar. A continuación, el aparato de taladrar puede disponerse para moverse en una dirección vertical próxima a la superficie de la lámina exterior localizada en la plataforma 20 rotatoria con el fin de localizar las brocas de taladro antes de penetrar en la lámina exterior.

El aparato de taladrar puede comprender cualquier número o distribución de brocas de taladro. Las brocas de taladro pueden distribuirse en una disposición lineal y pueden ser suficientes en número para extenderse a través de la anchura del panel y para proporcionar la densidad de orificios deseada. Una disposición de este tipo puede 25 aumentar ventajosamente la velocidad de fabricación permitiendo que se forme una fila completa de perforaciones en un solo movimiento de taladrar del aparato de taladrar.

El aparato de taladrar y la plataforma móvil de soporte de piezas de trabajo pueden estar dispuestos en configuraciones alternativas, en función de la resistencia estructural del panel formado y los parámetros de taladrar 30 deseados. Por ejemplo, el aparato de taladrar puede estar dispuesto para moverse en una dirección horizontal para localizar las brocas de taladro antes de taladrar y la pieza de trabajo puede estar dispuesta en una dirección vertical y moverse de tal manera que rote alrededor de un eje de rotación horizontal.

El aparato de taladrar y la plataforma móvil de soporte de piezas de trabajo pueden controlarse manualmente en un método escalonado de tal manera que se taladra una fila de orificios y a continuación se hace rotar la pieza de 35 trabajo el ángulo de giro deseado antes de la perforación de la fila posterior de orificios. Ventajosamente, la operación de taladrar puede controlarse informáticamente con el fin de automatizar completamente el proceso, en cuyo caso un procesador de datos o similar estaría configurado para controlar el movimiento del aparato de taladrar y para hacer rotar la pieza automáticamente a través del ángulo correspondiente a la zona de permeabilidad deseada de acuerdo con el diseño. 40

Como se ha tratado anteriormente el aparato de taladrar puede estar provisto de una única fila lineal de cabezales de taladrar. La disposición lineal puede comprender como alternativa una pluralidad de filas de cabezales de taladrar separadas y desplazadas de acuerdo con la distribución deseada de las perforaciones. El número de filas paralelas 45 se determina de acuerdo con el radio del panel acústico y las tolerancias permitidas con respecto a la disposición perpendicular de la broca de taladro a la superficie de la lámina exterior. Cuanto mayor es el radio del panel acústico, más se aproxima la superficie a una superficie plana sobre un pequeño cambio angular.

Adicionalmente, o como alternativa, el aparato de taladrar puede estar provisto de una pluralidad de brazos o 50 miembros de soporte de cabezales de taladrar, extendiéndose cada uno radialmente desde un eje central del aparato de taladrar. A continuación, el eje central del aparato de taladrar puede estar alineado con el eje central del panel acústico de tal manera que pueda realizarse un taladro simultáneo alrededor del panel.

Las perforaciones en el panel se crean mediante un movimiento angular relativo escalonado entre el aparato de 55 taladrar y el panel acústico. En una disposición, el aparato de taladrar puede estar dispuesto para moverse en relación con el panel. Como alternativa, el panel acústico puede estar dispuesto para moverse en relación con el aparato de taladrar para minimizar el coste del aparato de fabricación.

Visto desde otra enseñanza, se proporciona un método de perforación de una lámina exterior de un panel acústico 60 de material compuesto con un patrón de distribución de perforación predeterminado, comprendiendo dicho panel una lámina exterior sin costuras, una lámina de recubrimiento impermeable y una capa de absorción de sonido dispuesta entre las mismas, comprendiendo el método las etapas de:

- 65 A - alinear un aparato de perforación en relación con una lámina exterior sin costuras en una primera posición de perforación;
B - activar el aparato de perforación para formar al menos una perforación a través de la lámina exterior;

C - mover el panel acústico y el aparato de perforación el uno en relación con el otro una cantidad predeterminada para alinear el aparato de perforación con una posición de perforación posterior; y
D - repetir las etapas B y C hasta que se consiga la distribución de perforación deseada.

5 De acuerdo con la primera enseñanza del método de fabricación de la presente divulgación, en la penúltima etapa del método de fabricación un panel acústico está listo para perforarse.

10 Se apreciará que la lámina exterior que define la superficie interior del 'barril' del panel acústico es sustancialmente continua y lisa (es decir sin costuras), y por lo tanto no es posible determinar mediante una inspección visual de la lámina exterior cómo están orientadas las celdas que forman la capa de absorción de sonido en panal en relación con la lámina exterior.

15 De la misma manera que la descrita haciendo referencia a otras enseñanzas de la divulgación, el aparato de perforación puede ser un cabezal de taladrar (que comprende una o más brocas de taladro), un láser configurado para realizar la ablación de una parte de la lámina exterior (que comprende opcionalmente un divisor de haz para crear una pluralidad de perforaciones) o cualquier otro medio adecuado para crear la perforación(es) deseada.

20 En una disposición en la que se emplea un divisor de haz junto con un láser, el propio divisor de haz puede estar dispuesto para moverse con respecto a la lámina exterior o, como alternativa, la lámina exterior puede estar dispuesta para moverse en relación con el divisor de haz. En una disposición de este tipo no sería necesario mover el láser en sí sino simplemente la disposición óptica usada para dirigir y dividir el haz de láser.

25 Con el fin de garantizar la alineación exacta de las perforaciones con las celdas que forman la capa de panal, el panel curado debe colocarse cuidadosamente en relación con el aparato o la herramienta de perforación. Por lo tanto, el método puede comprender adicionalmente la etapa de colocar el aparato de perforación con respecto a un punto de referencia definido desde el perímetro (o una pieza predeterminada) de la lámina exterior. Por lo tanto, esto permite que las perforaciones se coloquen exactamente de acuerdo con el patrón de distribución deseado.

30 El aparato de perforación puede, como se ha descrito anteriormente, ser un aparato de taladrar o como alternativa un aparato de perforación láser. En una disposición que comprende un láser, puede emplearse adicionalmente un divisor de haz con el fin de que se puedan crear simultáneamente una pluralidad de perforaciones. En una disposición de este tipo, el número de movimientos relativos iterativos entre el láser y el panel acústico puede reducirse y por lo tanto esto acelera aún más el proceso de fabricación.

35 Una disposición láser permite, además, que se cree un mayor intervalo de diámetros de perforación. Por ejemplo, el láser puede estar configurado para crear perforaciones que van desde 50 micrómetros (micro perforaciones) a 1,6 mm (macro perforaciones) en función de la aplicación.

40 O en una disposición de perforación láser o de taladro, las perforaciones pueden extenderse en la capa acústica variando las profundidades en función del rendimiento acústico deseado. Se reconocerá que cuando la capa de absorción de sonido no comprende un tabique, entonces la profundidad de penetración puede limitarse al espesor de la lámina exterior y no estará limitada por la profundidad de la posición del tabique. La profundidad máxima de penetración para una capa de absorción de sonido tabicada será o la profundidad del tabique o, como alternativa, la profundidad del reborde del tabique, medida desde la lámina exterior.

45 Ventajosamente, el aparato de perforación está configurado para penetrar en la lámina exterior y además hasta una profundidad predeterminada que se extiende más allá del espesor de la lámina exterior, es decir, en la capa de absorción de sonido. Una disposición en la que la etapa de perforación está adaptada deliberadamente para penetrar en la capa de absorción de sonido también es contraintuitiva, no al menos debido al daño de penetrar en el tabique o en las paredes del panal que puede provocar a las propiedades de la capa de absorción de sonido.

50 El inventor ha establecido que penetrar (es decir, taladrar o realizar una ablación) en la capa de absorción de sonido sorprendente y ventajosamente mejora el rendimiento acústico del panel mientras que simultáneamente permite altas velocidades de fabricación. Esto es específicamente ventajoso cuando se emplea una capa de panal como el material de absorción de sonido.

Penetrar en la lámina exterior más allá de su superficie interior (es decir, la superficie adyacente a la capa de absorción de sonido) y en la capa de panal proporciona un número de ventajas.

60 En primer lugar, la broca de taladro (o el láser) es capaz de penetrar y eliminar cualquier adhesivo o resina que de otro modo podría oscurecer (completa o parcialmente) la perforación debido a su adhesión a la superficie interior de la lámina exterior. Esto optimiza la función de las perforaciones de acuerdo con los requisitos de diseño del panel, es decir, garantiza que el aire puede fluir a través de las perforaciones a través de toda la zona de la perforación.

65 Además, preseleccionar la profundidad de penetración con el fin de extenderse más allá de la anchura de la lámina exterior significa que el taladro/láser puede extenderse dentro de la propia capa de panal. La profundidad de taladro

mínima es la anchura de la lámina exterior y la profundidad de taladro máxima corresponde a la posición del tabique o el reborde (también conocido como una cola) del tabique. Esto mantiene la integridad del tabique y sus propiedades acústicas.

5 La profundidad de penetración predeterminada real entre el mínimo y el máximo descrito anteriormente se selecciona basándose en la construcción del panel específico y del rendimiento acústico deseado. Ventajosamente, la distribución de la penetración puede seleccionarse de tal manera que algunas de las perforaciones se alinean específicamente con las paredes de celda de panel. En una disposición de este tipo, una parte de la pared de celda de panel se elimina generando de este modo un conducto entre las celdas adyacentes. Se reconocerá que esto es
10 contraintuitivo, pero el inventor ha establecido que penetrando al menos algunas de las paredes de celda se mejora de esta manera el rendimiento acústico.

La presente invención proporciona un método de acuerdo con la reivindicación 1. El siguiente método de perforar un panel acústico, que no es parte de la invención, desvela un panel que comprende una lámina exterior
15 sustancialmente continua, una lámina de recubrimiento impermeable y una capa de absorción de sonido de panel dispuesta entre las mismas, comprendiendo dicha capa una pluralidad de celdas discretas, comprendiendo el método las etapas de:

20 A - predeterminar una profundidad de perforación h de acuerdo con: $h = t + \varepsilon$

donde h es la profundidad de perforación total de
 t es el espesor de la lámina exterior
 ε es la profundidad de perforación en la capa de absorción de sonido

25 B - predeterminar una separación de perforación y el patrón de distribución de la superficie de la lámina exterior;
C - alinear un aparato de perforación con la lámina exterior;
D - perforar la lámina exterior a la profundidad de perforación predeterminada h ;
E - mover el panel acústico en relación con el aparato de perforación para alinear el aparato de perforación con
30 una posición de perforación posterior; y
F - repetir las etapas D y E hasta que se haya perforado una parte deseada de la lámina exterior.

En una disposición donde la capa de absorción de sonido es una única cavidad de capa (es decir, sin un tabique) o una espuma metálica entonces la profundidad de perforación en la capa de absorción de sonido ε está preferentemente entre 0,5 y 1 mm.
35

En una disposición donde la capa de absorción de sonido es un tabique de doble capa unido en las paredes de panel de las celdas individuales (por ejemplo, un núcleo de doble capa del tipo fabricado por la empresa Hexcel), entonces la profundidad de perforación en la capa de absorción de sonido ε está preferentemente entre 0,5 y 5 mm.

40 Ventajosamente, puede permitirse la perforación para alinearse con las partes de la lámina exterior directamente por encima de una pared de celda de panel. Por lo tanto, una parte de las paredes de las paredes de celda inmediatamente adyacentes a la lámina exterior será eliminada cuando se crean las perforaciones. En efecto, la separación de perforación y el patrón de distribución se aplican de tal manera que una pluralidad de perforaciones se alinea con las paredes de celda de panel de tal manera que se elimina una parte de la pared que divide las
45 celdas adyacentes. Se ha establecido que esto mejora el rendimiento acústico.

Como alternativa, puede disponerse el aparato de perforación para aplicar la separación predeterminada y el patrón de perforaciones con independencia del punto de inicio del aparato de perforación. Esto permite ventajosamente que la etapa de perforación, por ejemplo, taladrando o por ablación láser, se realice mucho más rápidamente, ya que
50 anula la necesidad de una alineación cuidadosa y compleja del aparato de perforación con el panel acústico. Se ha establecido que este método no solo aumenta la velocidad de fabricación, sino que, además, al permitir que las penetraciones se extiendan dentro de las paredes de celda de panel cuando la penetración pasa a alinearse con la pared de celda, en realidad puede mantenerse o incluso mejorarse el rendimiento acústico del panel.

55 La perforación en una pluralidad de las paredes de celda de panel permite que unas ondas de sonido incidentales que pasan a través de la perforación pasen por dos celdas adyacentes en virtud de la eliminación de la parte superior de la pared de celda de panel que separa las celdas adyacentes. Esta eliminación de la parte superior de la pared de celda a una profundidad predeterminada mantiene el rendimiento de la capa de absorción de sonido al tiempo que permite una rápida perforación de la lámina exterior.
60

Ventajosamente, la separación de perforación y el patrón pueden pre-determinarse con el fin de alinear al menos una perforación con al menos una parte de pared de cada celda de la capa de absorción de sonido. Por lo tanto, el rendimiento acústico puede mejorarse permitiendo que las ondas sonoras incidentales se desplacen entre cada una de las celdas.
65

Se reconocerá que la profundidad exacta de la penetración dependerá de las características de diseño del panel como un todo que incluye el tamaño de la perforación, la distribución y la geometría de capa de panel (incluyendo, por supuesto, la localización y la permeabilidad del tabique). Esto se trata con más detalle a continuación.

- 5 Se reconocerá, además, que aunque los términos de proceso 'perforar' y 'taladrar' se han usado para referirse a la etapa de formación de las penetraciones, pueden emplearse igualmente otros procesos alternativos.

Los aspectos particulares de la invención se exponen en las reivindicaciones adjuntas.

10 Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la invención se describirán ahora a modo de ejemplo solamente haciendo referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- 15 la figura 1 muestra la disposición general de un motor de turbo ventilador y un panel acústico;
 la figura 2a muestra una sección transversal del motor de la figura 1;
 la figura 2b muestra una sección transversal del barril que forma el panel acústico;
 la figura 2c muestra una sección transversal a través del panel acústico mostrado en la figura 2a;
 20 la figura 3 muestra la disposición general de las celdas en una capa de absorción de sonido de panel;
 la figura 4 muestra una serie de celdas perforadas en detalle;
 la figura 5 muestra una sección transversal a través de una disposición de cura previa a la primera etapa;
 la figura 6 muestra una gráfica de las condiciones de curado de autoclave;
 la figura 7 muestra una gráfica de las condiciones fuera de autoclave;
 la figura 8 muestra una sección transversal a través de una disposición de cura previa a la segunda etapa;
 25 la figura 9 ilustra las ondas de ruido incidentales y las perforaciones;
 la figura 10 ilustra los parámetros de distribución de perforaciones para los valores óptimos mostrados en la tabla 1;
 la figura 11 es una gráfica que muestra la resistencia frente a la resistencia de flujo de tabique;
 la figura 12 muestra una plataforma de brazo y rotación robótica para generar perforaciones.

- 30 Aunque la invención es susceptible de diversas modificaciones y formas alternativas, se muestran unas realizaciones específicas a modo de ejemplo en los dibujos y se describen en detalle en el presente documento. Sin embargo, debería entenderse que los dibujos y la descripción detallada adjunta a la presente no están destinados a limitar la invención a la forma específica desvelada, sino más bien la invención está para cubrir todas las
 35 modificaciones, equivalentes y alternativas que caigan dentro del alcance de la invención reivindicada.

Descripción detallada

- 40 La figura 1 muestra un motor de turboventilador 1 típico que comprende una carcasa de motor exterior 2 y un pilón 3 que conecta el motor al ala de la aeronave o al fuselaje (no mostrado).

- El motor comprende un conducto de admisión de aire 4 que se extiende en el motor y hacia las paletas del ventilador (no mostradas) del motor. Las paletas están montadas en un eje giratorio 5 que puede verse en el centro del conducto de admisión 4.

- 45 La rotación de las paletas del ventilador provoca niveles elevados de ruido indeseables que se emiten desde la parte delantera del motor. En consecuencia, y como se ilustra en la figura 1, con el fin de reducir la salida de ruido del motor se dispone un recubrimiento acústico 6 dentro de la admisión de aire corriente arriba de las paletas del ventilador. El ruido emitido a partir de las paletas en una dirección hacia delante, que de otro modo se reflejarían desde las superficies del conducto, puede por lo tanto atenuarse por el recubrimiento 6.

- Puede observarse a partir de la figura 1, que la forma del recubrimiento se corresponde con el conducto de admisión del motor, pero puede describirse, en general, como una forma de 'barril' o de cilindro.

- 55 La figura 2A muestra una vista en sección transversal de la parte delantera del motor mostrado en la figura 1. La disposición general del panel acústico o recubrimiento se muestra con más detalle en la figura 2B como se trata más adelante.

- Los términos recubrimiento y panel se usarán indistintamente en todo el resto de la descripción.

- 60 Volviendo a la figura 2A, el conducto de admisión se muestra en sección transversal lo que permite que el aire fluya en el motor, a lo largo de las superficies definidas por el panel acústico y hacia las paletas del ventilador (no mostrado). Puede verse que el recubrimiento acústico se extiende desde una primera posición corriente arriba 7' localizada hacia la parte delantera del motor hasta una segunda posición 7" localizada próxima a las paletas del ventilador. El recubrimiento acústico está dispuesto entre las dos posiciones 7'-7" para seguir el contorno de los
 65 conductos de admisión. En efecto, esto forma un barril que se asienta en la parte delantera del motor y que define

un límite del conducto de flujo de aire en el motor. El recubrimiento se extiende de manera uniforme alrededor de la circunferencia del conducto y es sin costuras, es decir, el recubrimiento es un único componente en general cilíndrico que tiene una superficie sustancialmente continua.

5 El método de acuerdo con la presente invención (como se describe más adelante) permite que el recubrimiento sea sin costuras lo que mejora significativamente las propiedades de atenuación de ruido (en particular a altas velocidades del ventilador) y, además, las características aerodinámicas del componente (una reducción en la fricción).

10 La figura 2A ilustra también la sección transversal del propio recubrimiento que se muestra en más detalle en la figura 2C.

15 La figura 2B muestra una vista parcial en sección transversal a través de A-A', mostrada en la figura 2A, de todo el panel acústico visto desde el extremo de admisión del motor. El árbol central del motor 5 puede verse en el centro del motor. La lámina exterior 8 define la periferia exterior del conducto de admisión de aire del motor 1. Moviéndose a través del espesor del panel desde la lámina exterior 8, se muestra la capa de panel de absorción de sonido 10 y a continuación la lámina de recubrimiento impermeable 9.

20 Las secciones de corte mostradas por el signo de referencia B en la figura 2B, corresponden a la sección transversal a través de A-A'. El resto de la vista representa la vista frontal del panel como se ve desde la parte delantera del motor e ilustra la barquilla que normalmente define el borde de ataque de la admisión del motor.

25 Las partes B en la figura 2B ilustran el panel posterior 10 y el tabique 14 que divide cada una de las celdas de panel 12.

30 Haciendo referencia a la figura 2C, el recubrimiento comprende una primera lámina exterior 8, una lámina de recubrimiento 9 y una capa de absorción de sonido 10. La figura 2C es una sección transversal de la parte de la pared de panel en un círculo en la figura 2B y muestra la vista a través de una fila de celdas que forman la capa de absorción de sonido con más detalle.

35 La lámina exterior 8 está formada de una capa impermeable de material compuesto de acuerdo con las etapas de fabricación tratadas en detalle a continuación. Como se muestra en la figura 2C, una pluralidad de perforaciones 11.1, 11.2, 11.3, 11.4 y 11.5 están formadas a través de la lámina exterior 8. Las líneas discontinuas (----) indican el perfil de la superficie antes de la perforación.

40 La capa de absorción de sonido 10 está formada de un panel acústico de panel como el fabricado por Hexcel Corporation bajo la marca Acousti-CapTM. Las capas de absorción de sonido de panel de este tipo se conocen bien en la técnica.

45 La capa de panel 10 comprende una serie de cámaras 12 que están divididas por unas paredes de celda que, cuando se ensambla el panel, se extienden entre la lámina exterior 8 y la lámina de recubrimiento 9. La disposición general de una capa de absorción de sonido de este tipo se muestra, por ejemplo, en la figura 3.

50 Cada celda 12 se divide en 2 sub-celdas (o volúmenes) por un tabique permeable 14 como se muestra en las figuras 2B y 2C. Las celdas y geometrías de tabique están optimizadas para la aplicación del motor dado, es decir, el volumen de las celdas, la profundidad y la porosidad del tabique y la posición del tabique en relación con la lámina exterior y de recubrimiento. Como se muestra en la figura 2C, el tabique 14 de cada celda está unido a las paredes laterales 13 de la celda. Las celdas se mantienen juntas con un adhesivo 15 adecuado como es normal en la técnica de la fabricación de capas de panel de este tipo.

55 La figura 2C también muestra la separación de perforación entre los orificios adyacentes 11.1, 11.2 y así sucesivamente. La separación de perforación está predefinida en función de los requisitos acústicos específicos de un panel dado y una aplicación dada. La separación se determina basándose en un número de factores que incluyen el tamaño del orificio (diámetro) y el POA (porcentaje de superficie abierta) que es el porcentaje total del panel que se ha taladrado. De acuerdo con la presente invención, este valor puede variar ventajosamente entre un 1 % y un 35 %.

60 Como se muestra también en la figura 2C, las perforaciones 11.1, 11.3 y 11.4 se alinean con la cavidad de la celda 12, es decir, los límites de la perforación (el orificio taladrado o al que se ha realizado la ablación) están dentro de los límites definidos por las paredes de celda 13. A la inversa, las perforaciones 11.2 y 11.5 puede verse que se alinean con las paredes de celda 13 de las celdas 12. Esto se tratará con más detalle a continuación en relación con la etapa de perforación.

De acuerdo con la invención, el panel acústico se fabrica usando las siguientes etapas:

En primer lugar, la lámina exterior se dispone usando un material compuesto adecuado. Este puede ser, por ejemplo, un ligamento tafetán o un tejido de sarga 5 de 2x2 arnés 5 de satén, es decir, una matriz polimérica termoestable curada de baja o alta presión.

La tela de material compuesto se dispone alrededor de un mandril, que corresponde a la forma deseada de la lámina exterior, usando técnicas convencionales. Esto puede ser, por ejemplo, disponiendo el material compuesto como un bobinado helicoidal y superpuesto alrededor del mandril plegable.

La polimerización (como se trata más adelante) alrededor de un mandril plegable permite que se retire el mandril una vez que la pieza ha polimerizado con el fin de liberar la lámina exterior. Como es bien conocido por los expertos en la materia, la polimerización hace que la resina fluya a través del material de tejido y se endurezca creando de este modo la pieza de material compuesto en la forma deseada.

El mandril puede plegarse permitiendo que el mandril se retire de la pieza o, como alternativa, no plegarse. En tal caso, el mandril puede estar ahusado axialmente lo que permite la extracción de la pieza de trabajo del mandril.

La disposición y la polimerización del mandril resultan en una lámina exterior con una superficie sustancialmente continua y lisa, es decir, la superficie está vacía de cualquier empalme o hueco en su superficie lo que requiere una unión adicional en forma de una cinta o placa de envoltura. Además, el uso de un material compuesto proporciona una pieza de alta rigidez con el mínimo peso.

De acuerdo con la presente invención la polimerización se realiza en dos etapas separadas y discretas del proceso de fabricación. Estas se describirán a continuación.

Etapas 1 - Formación y polimerización de la lámina exterior.

Antes de la polimerización (curado), la lámina exterior se dispone y se embolsa primero de acuerdo con las técnicas de fabricación convencionales del material compuesto. Estos términos se conocen por los expertos en la materia.

La figura 5 muestra una parte, en sección transversal, de la lámina exterior antes del curado. En primer lugar, se aplica una película o agente de liberación (501) al molde de mandril, es decir, a la herramienta de moldeo. A continuación, se aplica una tela encerada (502) seguida por la pila laminada pre-impregnada de material compuesto (503) que forma la forma de la lámina exterior. Una tela encerada adicional (504) se aplica al laminado (503) seguida de una película de liberación (505) y una capa de ventilación (506). Como puede verse en la figura 5 la capa de ventilación (505) se extiende hasta el respiradero de borde (508) del mandril para permitir que los componentes volátiles salgan de la cavidad con la bolsa. Finalmente, una bolsa de vacío de nylon (507) se coloca sobre toda la disposición que está acoplada para hacerse el vacío y sellarse (509).

Una vez que la pila de material compuesto se ha dispuesto para definir la forma deseada de la lámina exterior y la disposición y el mandril se han embolsado, puede curarse la lámina exterior.

La primera etapa de curación o polimerización puede tener lugar a una presión alta, es decir, bajo condiciones de autoclave o, como alternativa, a presión ambiente bajo condiciones 'fuera de autoclave'. La selección dependerá de los materiales compuestos usados y de las tolerancias deseadas para el diseño dado.

Opción A - Curado térmico (polimerización) bajo condiciones de autoclave.

Las condiciones de autoclave requieren presiones y temperaturas elevadas y esto resulta en un aumento significativo en el coste unitario de fabricación de un componente. La figura 6 muestra un tiempo de curado típico para una lámina exterior. El vacío indica el vacío que se aplica a la bolsa de vacío de nylon (507) mostrada en la figura 5 y el eje vertical muestra el perfil de temperatura y tiempo para el curado de la lámina exterior. El curado se realiza entre 85 y 100 psi.

Opción B - Curado térmico (polimerización) bajo condiciones fuera de autoclave.

El curado de autoclave se consigue usando un horno que funciona en condiciones ambientales, que es la presión atmosférica. Se reconocerá que esto puede reducir el coste unitario de la fabricación de la lámina exterior. La figura 7 muestra el perfil de temperatura de curado para la lámina exterior bajo condiciones fuera de autoclave.

Una vez que la lámina exterior se ha curado (y opcionalmente recortado), puede tener lugar la segunda etapa de curado. De nuevo, el componente debe disponerse y embolsarse antes de la segunda etapa de curado. Esto se ilustra en la figura 8.

La figura 8 muestra la lámina exterior curada (801) formada en la primera etapa de curado que se localiza contra el mandril (812). Este mandril, de hecho, corresponderá al mandril usado para la primera etapa de curado.

La capa de absorción de sonido (803) que se muestra en la figura 8, es una capa de panal que está dispuesta contra la superficie de la lámina exterior. Esta puede estar pre-impregnada con resina o la resina puede aplicarse antes de su disposición. Las dimensiones de panal y la curvatura se pre-determinan basándose en las dimensiones específicas del motor y los requisitos acústicos del panel. La capa (803) está dispuesta alrededor de la circunferencia del 'barril' de lámina exterior y está dispuesta de manera que los extremos de la capa que se extiende alrededor del barril se apoyan uno con otro de tal manera que la capa de absorción de sonido también es continua, es decir, sin costuras.

La figura 8 muestra un adhesivo de película opcional (802) aplicado a la lámina exterior para unir la capa de absorción de sonido (803) a la lámina exterior. Cada una de las capas mostradas en la figura 8 se extiende alrededor del perfil de 'barril' de la lámina exterior.

Una capa adhesiva adicional opcional (804) se aplica al lado opuesto de la capa de absorción de sonido de tal manera que la capa de recubrimiento puede unirse a la capa de absorción de sonido (803).

A continuación, la lámina de recubrimiento se define disponiendo una serie de laminados de material compuesto (formando una pila) en la capa de absorción de sonido de panal para cubrir, por ejemplo, los extremos abiertos de las cavidades mostradas en la figura 2C. Los laminados pueden pre-impregnarse con resina para la siguiente etapa de curado o la resina puede aplicarse por separado.

Esta pila de material compuesto pre-impregnado define la capa de recubrimiento (805) y está localizada en la parte superior del adhesivo posterior (804). La capa de recubrimiento puede disponerse helicoidalmente alrededor de la otra superficie de la capa de absorción de sonido.

Una cinta de material compuesto pre-curado (808) se localiza ventajosamente en el extremo de la capa de absorción de sonido y está dispuesta para proteger el borde del material absorbente de sonido una vez que la pieza se cura finalmente. Esta está unida al lado/borde de la capa de absorción de sonido con una capa adhesiva adicional (807). Por lo tanto, una vez curada la capa de absorción de sonido se encapsula entre la capa exterior, la capa de recubrimiento y dos tiras de extremo opuestas (de las que solamente se muestra una en la figura 8).

Una capa de ventilación (810) se localiza de nuevo sobre la disposición para permitir que los componentes volátiles se liberen durante el ciclo de curado. Finalmente, se dispone una bolsa de vacío (811) para encerrar la disposición antes del curado.

Un ciclo de curado tal como se establece en la figura 7, se usa para proporcionar la segunda etapa de curado. La polimerización en la segunda etapa se realiza a presión ambiente, debido a que esto evita que la capa de panal frágil (que es en sí misma un material compuesto) se dañe bajo condiciones de alta presión y temperatura. De este modo, la integridad estructural de la pieza puede mantenerse.

Debería reconocerse que las capas adhesivas se describen en el presente documento como opcionales debido a que algunas resinas empleadas en la fabricación de componentes de material compuesto se unirán suficientemente sin la necesidad de un adhesivo adicional. Sin embargo, el uso de un adhesivo mejora la unión entre las capas.

El método de polimerización de dos etapas de acuerdo con la presente invención, permite que la lámina exterior se fabrique a muy altas tolerancias geométricas, mientras que el resto del panel puede polimerizarse bajo presiones más bajas. Esto evita daños en el panel mientras que todavía mantiene la geometría necesaria de la lámina de recubrimiento. El método también reduce el número de ciclos de alta presión y también el tamaño de la autoclave que pudiese necesitarse para curar la pieza. Todavía más adicionalmente, el método permite que la geometría de la pieza se compruebe en una etapa intermedia antes de aplicarse la capa de absorción de sonido y la capa de recubrimiento.

Una vez que la polimerización en dos etapas se ha completado, entonces el panel acústico puede perforarse de acuerdo con la permeabilidad diseñada de la lámina exterior. Una técnica de taladro o de ablación por láser pueden usarse para crear las perforaciones a través de la lámina exterior para un patrón predeterminado después del proceso de curado en dos etapas. A continuación, se describe un ejemplo de taladro para formar las perforaciones, aunque podría usarse igualmente la ablación por láser.

La figura 4 muestra las perforaciones 11.1 y 11.2 que penetran en la lámina exterior. Las perforaciones se extienden a una profundidad d como se muestra en la figura 4. Puede observarse que taladrar a la profundidad d en la posición 11.1 simplemente alinea la broca de taladro con la cavidad de la celda 11, es decir, la broca de taladro no entra en contacto con las paredes de celda 13.1 o 13.2. Sin embargo, en la posición 11.2 la broca de taladro se alinea con la pared de celda 13.2 y a medida que se realiza la acción de taladrar la parte superior de la pared de celda 13.2 se

taladra. Por lo tanto, una superficie superior 16 de la pared de celda 13.2 se expone y se forma una abertura que conecta las dos celdas adyacentes.

5 Como puede verse en la figura 4, los límites de la profundidad de taladro d están en un mínimo, el espesor de la lámina exterior f y en un máximo, la distancia g entre la lámina exterior y el límite superior del reborde o cola de conexión 17, donde:

$$g = d + t$$

La profundidad de taladro (la profundidad de perforación) h se determina de acuerdo con:

$$h = t + \varepsilon$$

10 dónde

h es la profundidad de perforación total

t es el espesor de la capa exterior

15 ε es la profundidad de perforación en la capa de absorción de sonido

Adicionalmente h debe ser menor que g para evitar daños al reborde o cola del tabique como se muestra en la figura 4. Por lo tanto, el requisito adicional de:

$$h < g$$

20 debe satisfacerse.

En una disposición donde la capa de absorción de sonido es un tabique de doble capa unido en las paredes de panel de las celdas individuales (por ejemplo, un núcleo de doble capa de Hexcel), entonces la profundidad de perforación en la capa de absorción de sonido ε está preferentemente entre 0,5 y 5 mm.

25 Durante la etapa de taladrar, el proceso de fabricar las perforaciones se realiza a través de la superficie de la lámina exterior en el intervalo predeterminado como se muestra por c en la figura 4. De acuerdo con la presente invención, el intervalo de perforación c puede ajustarse independientemente de la geometría de la celda usando el principio de una profundidad de taladro predeterminada d como se ha tratado anteriormente. Esto permite ventajosamente que la separación de perforación se seleccione independientemente del material de la capa de absorción de sonido y también permite que la operación de taladrar se realice más rápidamente, debido a que no hay necesidad de intentar alinear cada orificio taladrado 11.1, 11.2 con la celda correspondiente 12.1 o 12.2.

35 En una realización, la separación de las perforaciones puede seleccionarse específicamente para alinearse con las paredes de celda de tal manera que una pluralidad de paredes de celda pueden taladrarse o realizarse una ablación para permitir que las ondas sonoras incidentales se desplacen entre las celdas adyacentes.

40 El uso de la metodología de perforación de acuerdo con la presente invención sorprendente y ventajosamente mejora las propiedades de atenuación del panel acústico. Esto se ilustra en la figura 9.

45 La figura 9 muestra una parte ampliada de la lámina exterior perforada en la posición 11.2 de la figura 4. Como se muestra en la figura 9, la perforación o penetración taladrada 11.2 se alinea con la pared de celda 13.2 y se ha taladrado a una profundidad total D . Un par de ondas de sonido incidentales también se ilustra mediante las referencias Y y Z. Puede observarse que la eliminación de la parte superior de la pared de celda permite que la onda de sonido Y entre en la celda 12.1 y que la onda de sonido Z entre en la celda 12.2. Esto ha permitido darse cuenta que permitir que las ondas de sonido incidentales entren en el orificio taladrado 11.2 para desplazarse de este modo, mejora ventajosamente el rendimiento acústico y la atenuación del panel. Esto es contraintuitivo, debido a que implica dañar activamente las paredes de celda.

50 Se ha establecido que un diseño óptimo para un panel acústico de acuerdo con la invención reduce significativamente la salida de ruido de banda ancha y tonal del motor mientras que al mismo tiempo se minimiza el peso. Los parámetros óptimos se seleccionan a partir de intervalos específicos para las superficies abiertas de la capa exterior (es decir, la permeabilidad del panel), la profundidad del tabique, las propiedades de resistencia al flujo DC de tabique y el espesor y la geometría de panel.

55

Los parámetros óptimos para un diseño de núcleo de panel delgado y grueso se exponen en la tabla siguiente, haciendo referencia a la figura 10:

Símbolo de referencia (véase la figura 6)	Descripción del parámetro	Valor del diseño delgado	Valor del diseño grueso
H	Espesor del núcleo (mm)	17 a 30	30 a 50
A	Intercepción de resistencia de flujo DC de tabique (CgsRayl)	60 a 95	40 a 80
B	Pendiente de resistencia de flujo DC de tabique (CgsRayl/cm ⁻¹)	0,07 a 0,5	0,07 a 0,5
Φ	Diámetro de orificio (mm)	0,8 a 1,6	0,8 a 1,6
τ	Espesor de la lámina exterior (mm)	0,5 a 1,2	1,2 a 5
α	Patrón de orificios escalonados (grados)	30 a 70	30 a 70
H_s	Profundidad de tabique (mm)	2 a 8	2 a 25

5 La figura 11 muestra una gráfica que ilustra los parámetros de diseño indicados en la tabla anterior.

La figura 12 muestra un brazo robótico de seis ejes (121) y una plataforma horizontal de rotación (122). Esto en efecto proporciona un 7º eje al aparato de perforación.

10 Se muestra un cabezal de perforación (123) que puede ser un cabezal de taladro de múltiples husillos, por ejemplo, para penetrar en la lámina exterior. En una disposición alternativa, el cabezal de perforación de múltiples husillos puede reemplazarse con un láser y un divisor de haz opcional para permitir que se formen múltiples perforaciones.

El panel acústico curado (124) se muestra localizado y fijado a la plataforma horizontal (122).

15 El brazo robótico (121) y la plataforma (124) están ambos controlados por un dispositivo informático (no mostrado) que está pre-programado con las coordenadas del panel y la profundidad y la distribución deseadas de las perforaciones para el diseño de panel dado. Durante el funcionamiento, el brazo robótico localiza el cabezal de perforación en la proximidad de la superficie de la capa exterior y mueve el cabezal de taladro en la capa exterior para crear una pluralidad de perforaciones. El cabezal de taladro se retira y la plataforma horizontal (122) hace rotar el panel (124) escalonadamente una cantidad predeterminada correspondiente a la distribución de perforación alrededor de la capa exterior del panel. La etapa de perforación se repite a continuación y el panel rota de nuevo hasta que toda la superficie del panel sin costuras se ha provisto de las perforaciones deseadas.

25 A continuación, el panel acústico puede retirarse y las etapas de fabricación se han completado.

Se reconocerá que las diversas disposiciones y características de las realizaciones y aspectos de las invenciones descritas en el presente documento pueden combinarse convenientemente. Por ejemplo, las diversas características de formación de perforación pueden aplicarse a cualquiera de las realizaciones o aspectos, mientras que se logra la misma ventaja técnica respectiva.

30

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método de perforación de una lámina exterior (8) de un panel acústico de material compuesto con un patrón de distribución de perforación predeterminado, comprendiendo dicho panel una capa exterior sin costuras, una lámina de recubrimiento impermeable (9) y una capa de absorción de sonido (10) dispuesta entre las mismas, comprendiendo el método las etapas de:
- 10 A - alinear un aparato de perforación en relación con la lámina exterior sin costuras en una primera posición de perforación;
B - activar el aparato de perforación para formar al menos una perforación a través de la lámina exterior;
C - mover el panel acústico y el aparato de perforación el uno en relación con el otro una cantidad predeterminada para alinear el aparato de perforación con una posición de perforación posterior; y
D - repetir las etapas B y C hasta que se consiga la distribución de perforación deseada, y en el que
- 15 las penetraciones se extienden dentro de la capa de absorción de sonido hasta una profundidad máxima correspondiente a la posición de un tabique (14), donde una cola de tabique (17) se extiende hacia la capa de recubrimiento o a una profundidad máxima correspondiente a la posición de la cola de tabique donde el tabique se extiende hacia la capa exterior, y
- 20 las perforaciones están dispuestas para coincidir con al menos una pared (13) de las celdas (12) de la capa de absorción de sonido que define un límite entre las celdas adyacentes.
2. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la capa de absorción de sonido está formada por una pluralidad de cavidades o celdas discretas en una disposición de panal.
- 25 3. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la capa de absorción de sonido está formada por una espuma metálica o una estructura de panal de aluminio.
- 30 4. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que una capa eléctricamente aislante está dispuesta entre la capa exterior y la capa de absorción de sonido y/o entre la capa de absorción de sonido y la capa de recubrimiento.
5. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que las perforaciones se forman por medio de un cabezal de taladro que comprende una pluralidad de husillos portabrocas.
- 35 6. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que las perforaciones se forman por medio de un láser adaptado para realizar la ablación del material usado para formar la capa exterior.
- 40 7. Un método de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el láser comprende además un divisor de haz adaptado para permitir múltiples perforaciones que se forman simultáneamente.
8. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la capa exterior se mueve con respecto al aparato de perforación por medio de un miembro rotatorio dispuesto para recibir y fijar el panel acústico a la misma.
- 45 9. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que las perforaciones varían en diámetro de 50 micrómetros a 1,6 mm.
10. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la lámina exterior comprende un porcentaje de superficie abierta de entre un 1 y un 35 %.

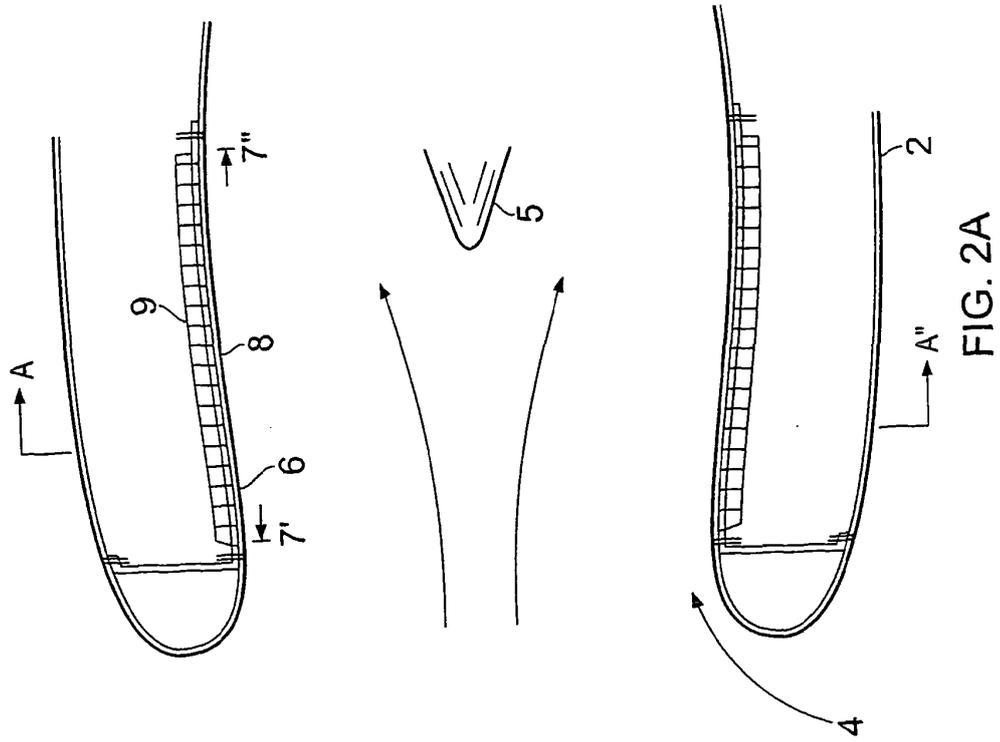


FIG. 2A

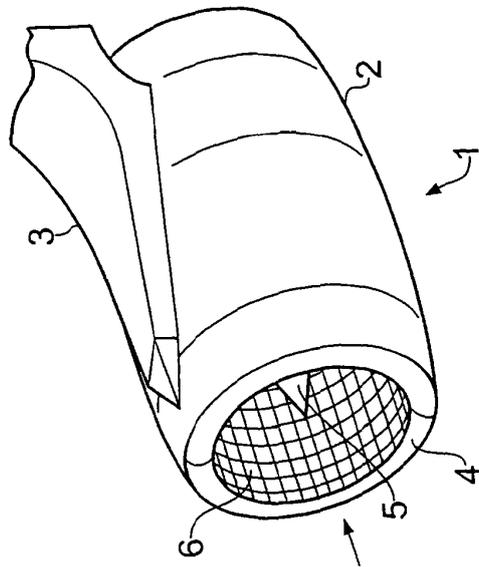


FIG. 1

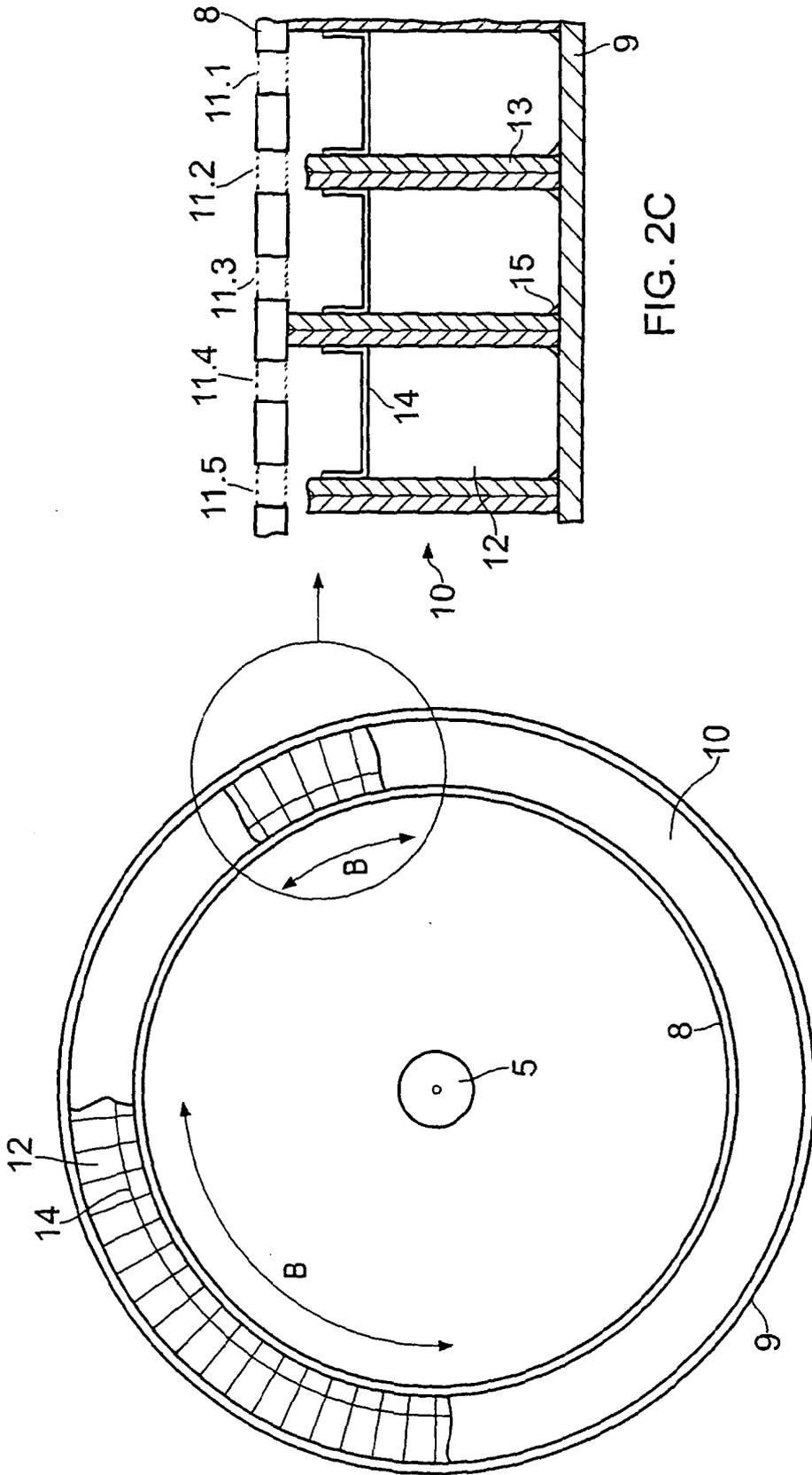


FIG. 2C

FIG. 2B

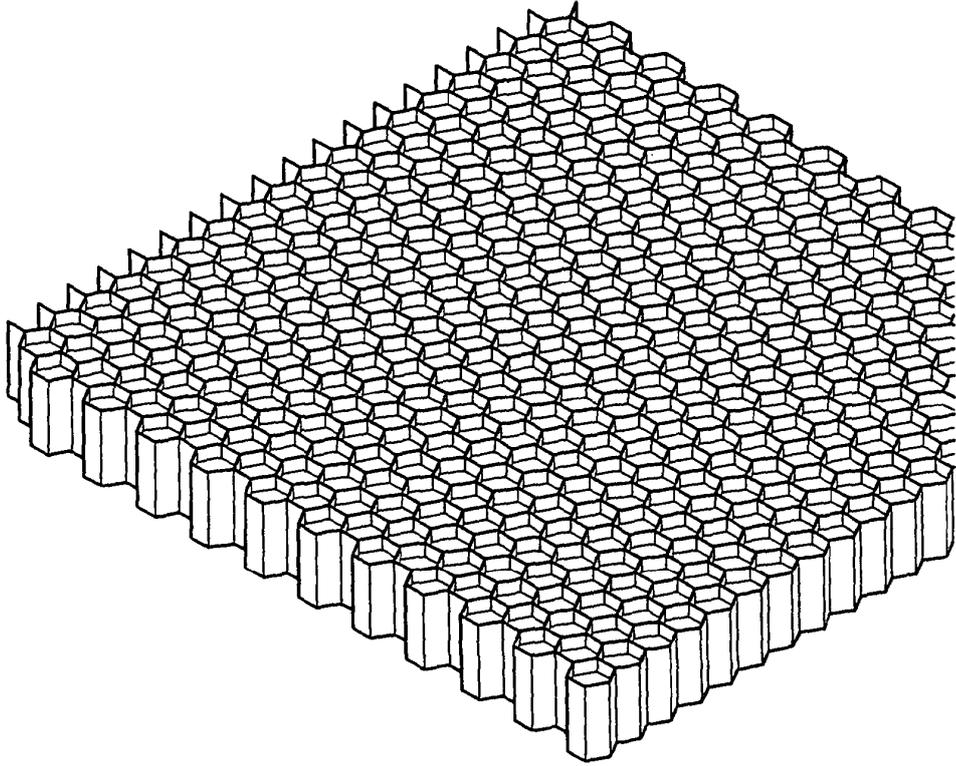


FIG. 3

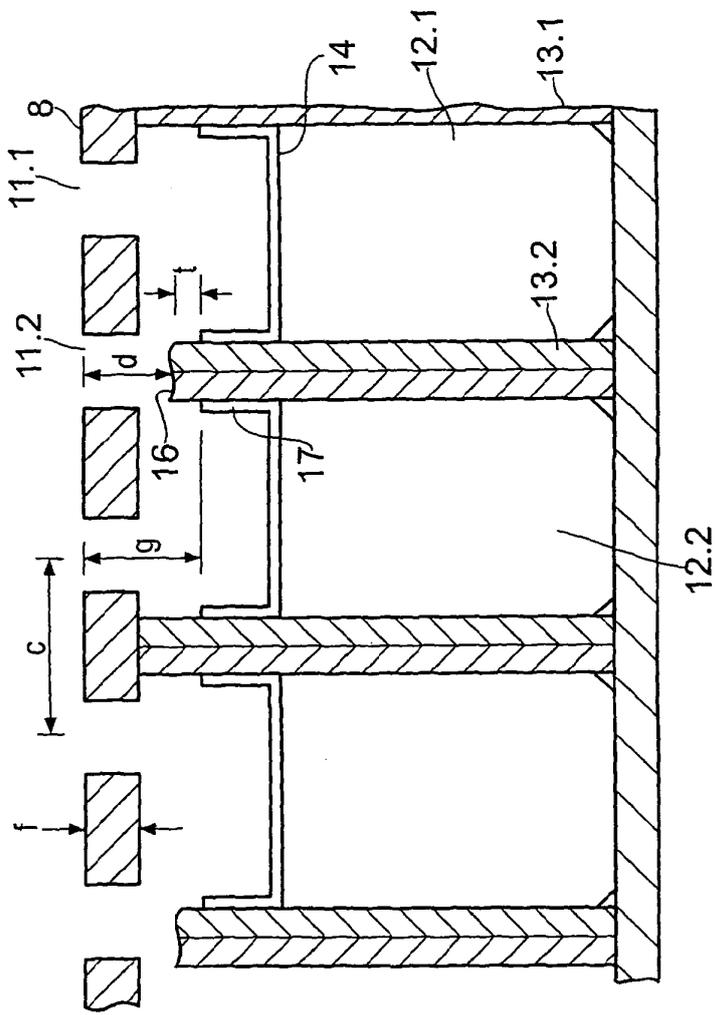


FIG. 4

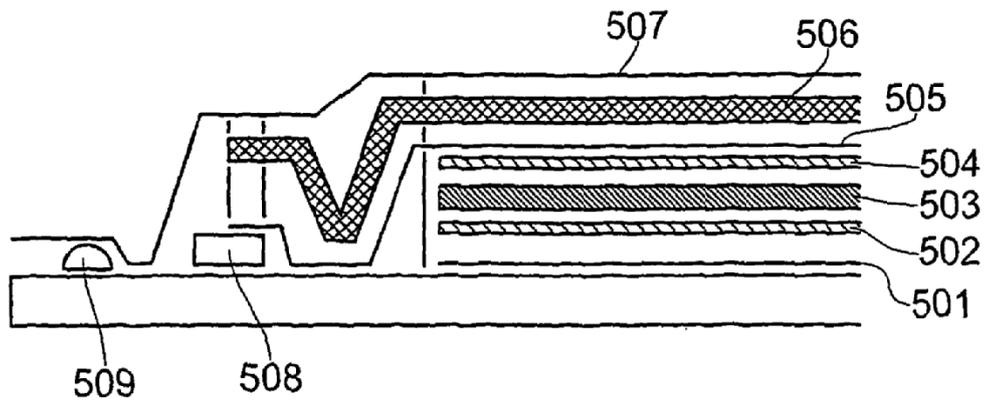


FIG. 5

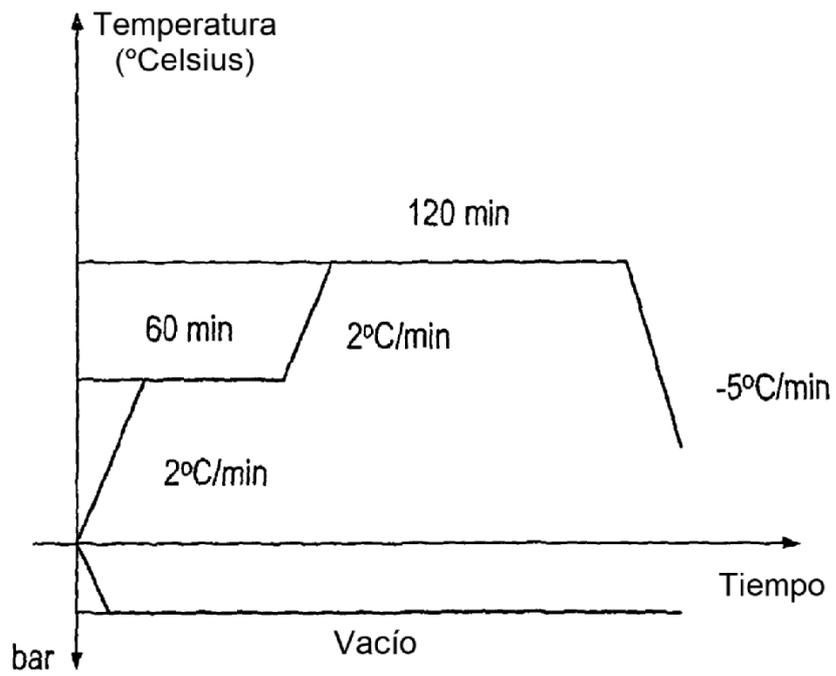


FIG. 6

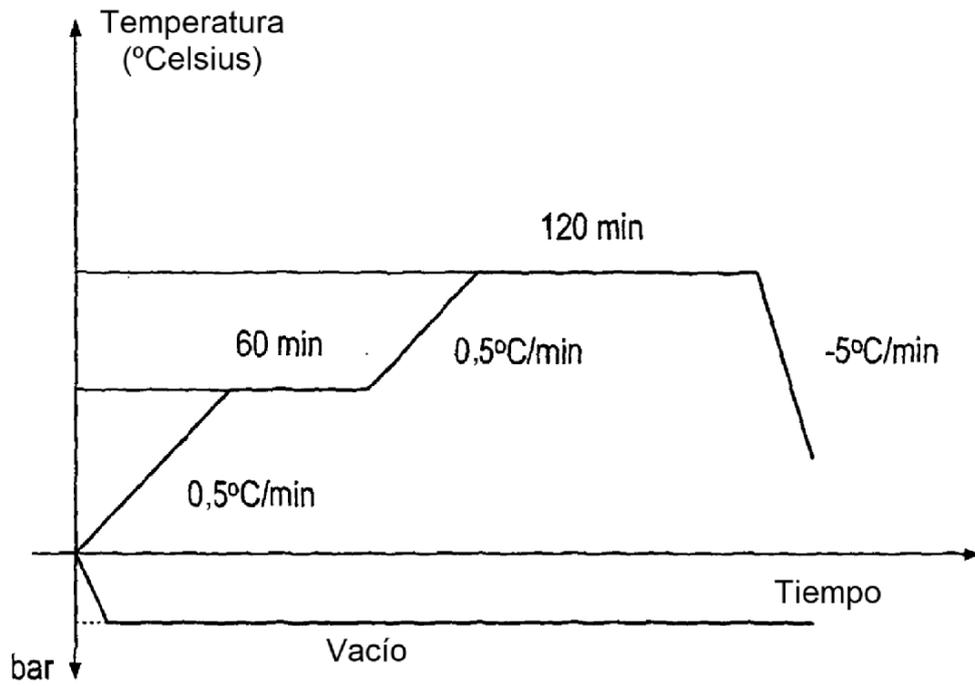


FIG. 7

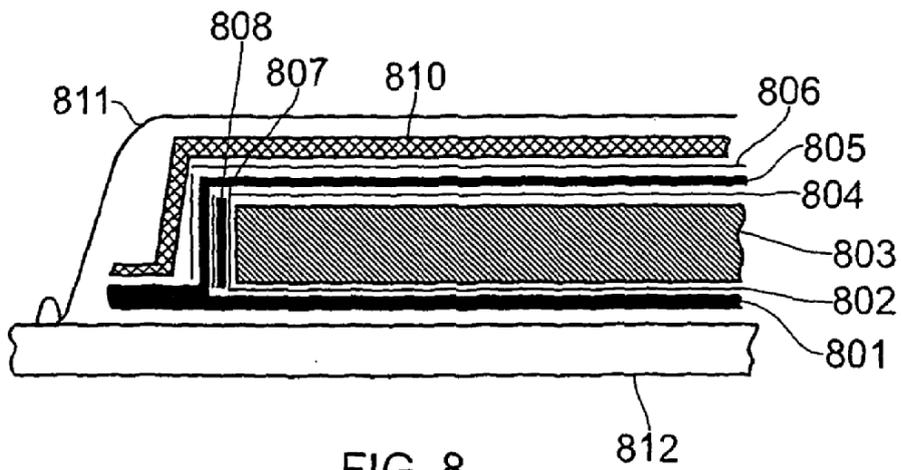


FIG. 8

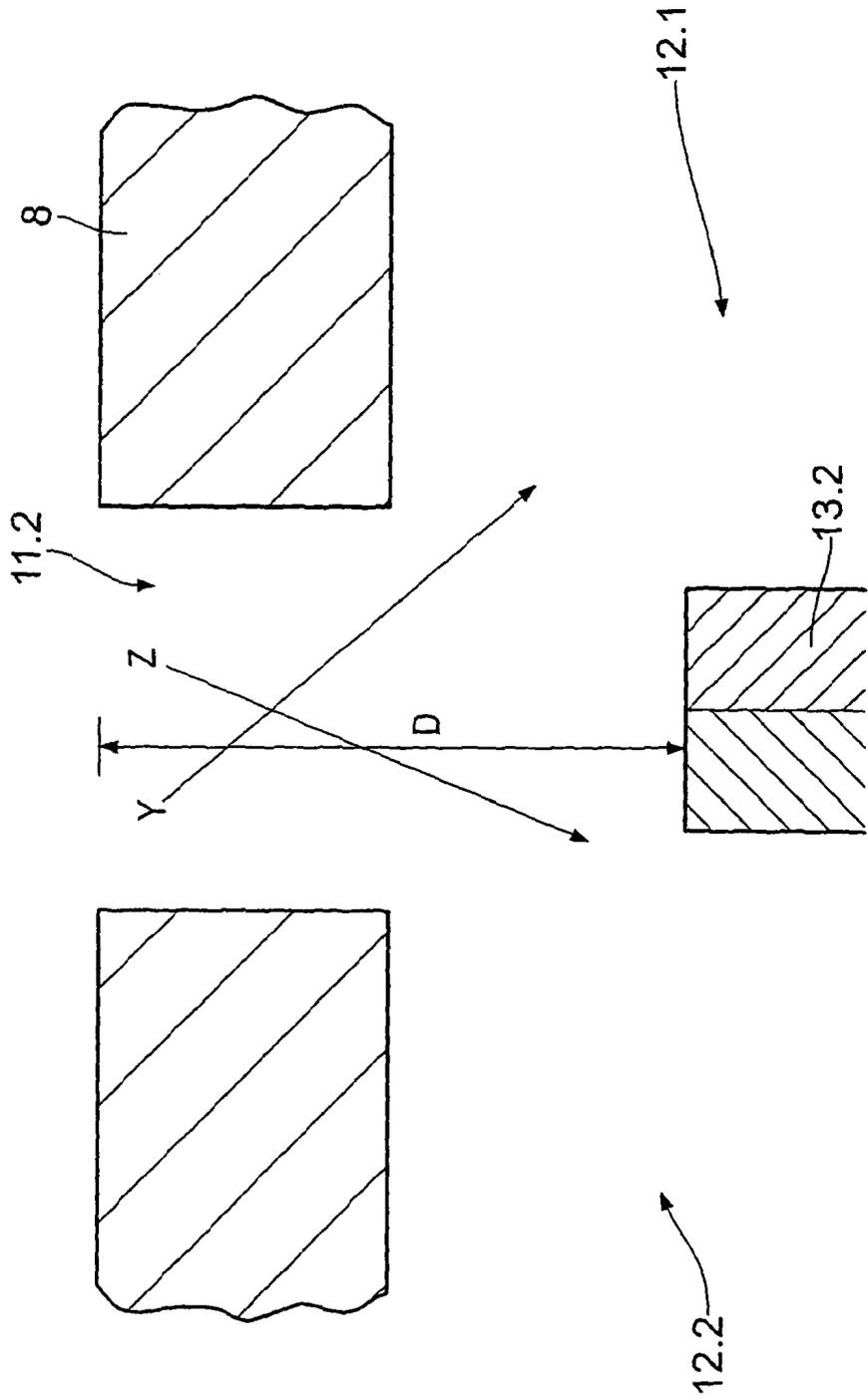


FIG. 9

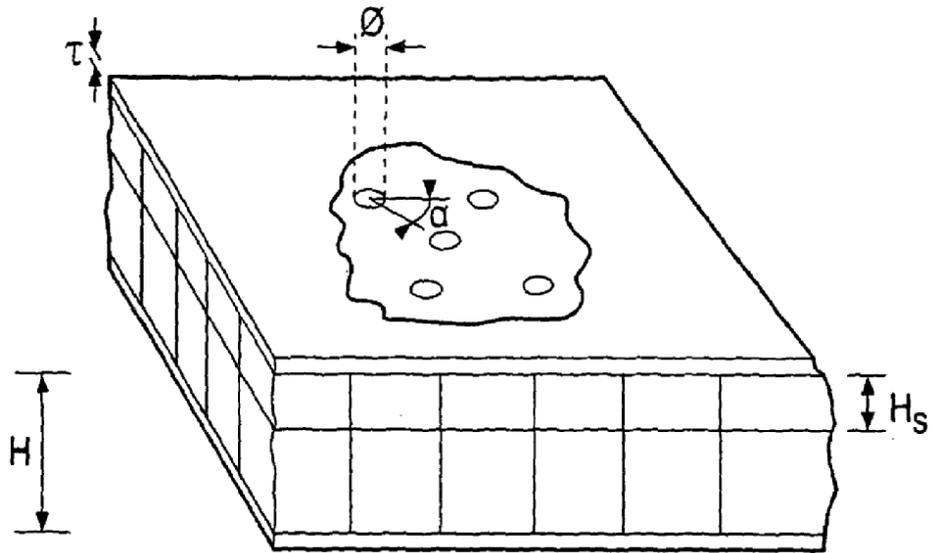


FIG. 10

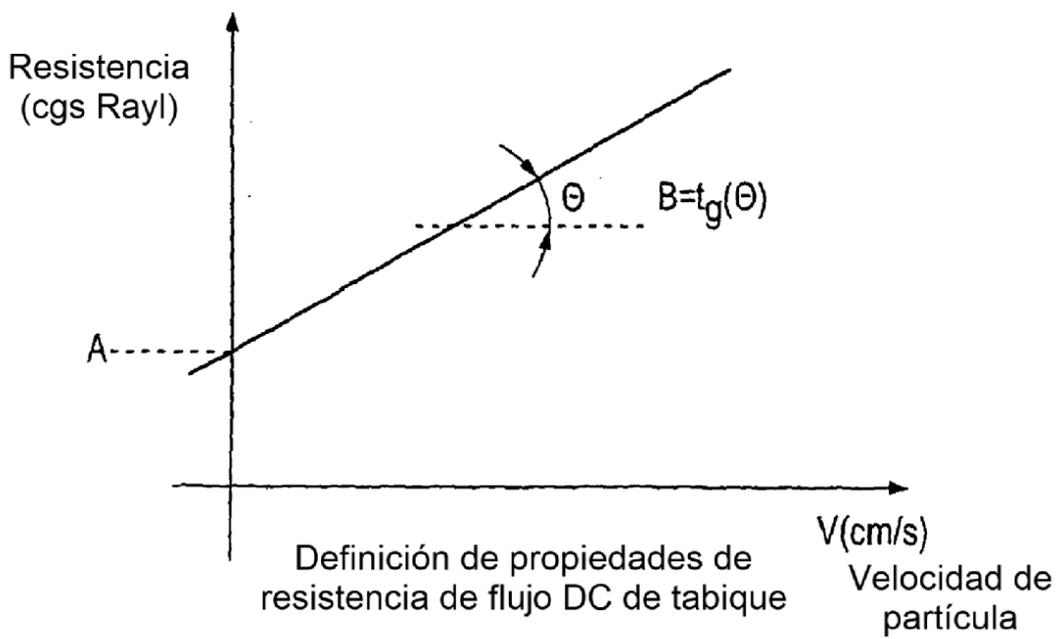


FIG. 11

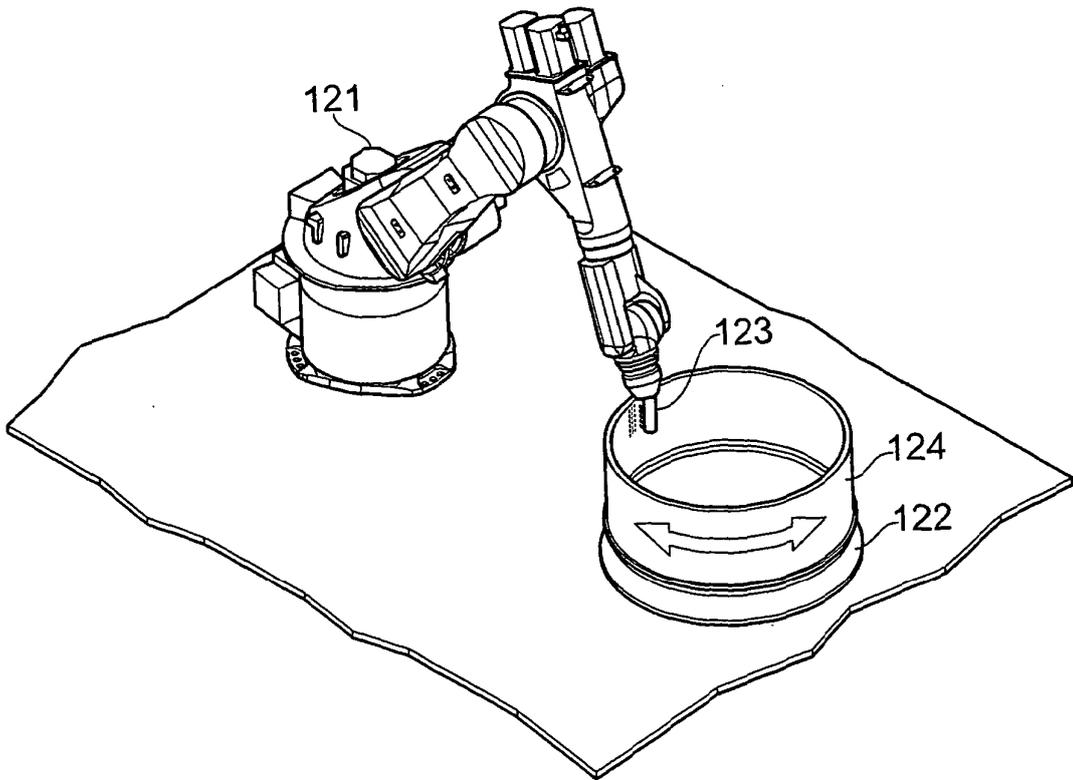


FIG. 12