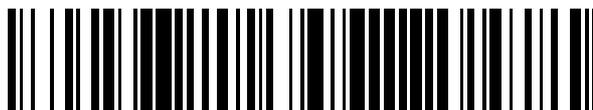


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 670 837**

51 Int. Cl.:

B29C 70/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.07.2013 PCT/US2013/051873**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.03.2014 WO14046781**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.07.2013 E 13745756 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.02.2018 EP 2909012**

54 Título: **Capa flexible para el moldeo con herramientas combinadas de preformas irregulares de material compuesto**

30 Prioridad:

24.09.2012 US 201213625598

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

01.06.2018

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**MATSEN, MARC, R.;
CARTER, ERIKA, L. y
GEORGE, PETE, E.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 670 837 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

Capa flexible para el moldeo con herramientas combinadas de preformas irregulares de material compuesto

Antecedentes

5 La presente divulgación se refiere, en general, a la fabricación de piezas hechas de material compuesto. Más concretamente, la presente divulgación se refiere a un aparato y a métodos de consolidación y conformación de una preforma hecha de material plástico reforzado con fibra (también denominado en el presente documento preforma de material compuesto) para reducir los huecos y/o la porosidad.

10 Los materiales compuestos de matriz de resina orgánica reforzada con fibras tienen una alta relación de resistencia a peso o una alta relación de rigidez a peso y características de fatiga deseables que los hacen cada vez más populares como reemplazo del metal en aplicaciones aeroespaciales. Los materiales compuestos de resina orgánica pueden comprender termoplásticos o plásticos termoendurecibles.

15 Las preimpregnaciones combinan fibras de refuerzo continuas, tejidas o cortadas con una resina de matriz no curada, y normalmente comprenden láminas de fibra con una película delgada de la matriz. En general, las láminas de preimpregnación se disponen (se estratifican) a mano o con máquinas de colocación de fibras directamente sobre una herramienta o un troquel que tiene una superficie de conformación contorneada a la forma deseada de la pieza completa o se estratifican en una lámina plana que luego se cubre y se conforma sobre la herramienta o el troquel al contorno de la herramienta. A continuación, la resina de la preimpregnación estratificada se consolida (es decir, se prensa para eliminar cualquier aire, gas o vapor) y se cura (es decir, se convierte químicamente a su forma final, en general, mediante una cadena de extensión) en un proceso de bolsa de vacío en un autoclave (es decir, un horno a presión) para terminar la pieza.

20 En la conformación en prensa en caliente, la preimpregnación se estratifica, se embolsa (si es necesario) y se dispone entre herramientas metálicas combinadas que incluyen superficies de conformación que definen las líneas de molde internas, externas, o ambas, de la pieza terminada. Se disponen las herramientas y la preforma de material compuesto dentro de una prensa, y luego se calientan las herramientas y la preforma a presión para producir una pieza consolidada en forma de red.

25 Para la consolidación y conformación de preformas de material compuesto se conoce el uso de herramientas de consolidación calentadas por inducción. El calentamiento por inducción es un proceso en el que un objeto conductor de la electricidad (normalmente, un metal) se calienta por inducción electromagnética. Durante dicho calentamiento, se generan corrientes inducidas dentro del metal y la resistencia eléctrica del metal conduce al calentamiento de Joule. Un calentador de inducción normalmente comprende un electroimán a través del que se hace pasar una corriente alterna de alta frecuencia. La mayoría de los materiales compuestos de matriz orgánica requiere un suscepto

30 en o adyacente a la preforma de material compuesto para lograr el calentamiento necesario para la consolidación o conformación. El suscepto se calienta inductivamente y transfiere su calor principalmente a través de la conducción a la preforma intercalada entre láminas frontales enfrentadas del suscepto. Durante el calentamiento a presión, se puede reducir el número de huecos y/o la porosidad de una preforma de material compuesto.

35 Se pueden usar fibras de grafito recicladas en la fabricación de piezas de aviones de materiales compuestos, tales como componentes de respaldos ligeros. En primer lugar, se fabrica una mata usando fibras de grafito recicladas y fibras termoplásticas vírgenes; a continuación, la mata se consolida y se conforma en herramientas combinadas que comprenden láminas frontales enfrentadas del suscepto. Estos productos de mata producidos con fibras de grafito recicladas pueden presentar una arquitectura de fibras enmarañadas y apelmazadas, y enredadas. Estos productos también pueden tener irregularidades y variaciones de espesor/densidad no deseadas. Además, dado que las fibras de grafito están enredadas, no facilitan el flujo del material termoplástico. Estas características conducen a la formación de huecos y/o porosidad en el producto de material compuesto final debido al hecho de que el espesor y la distribución de la densidad no son uniformes en toda la mata. La formación de huecos y/o porosidad se ve favorecida por el hecho de que las fibras están enredadas, y el flujo es limitado e incapaz de "reparar" la porosidad de manera muy eficaz. Incluso la preimpregnación tiene alguna variación en el espesor y la distribución de la densidad, lo que podría conducir a la formación de huecos y/o porosidad durante el moldeo con herramientas combinadas de los materiales compuestos preimpregnados.

40 Por consiguiente, existe la necesidad de un método y un aparato que puedan reducir el número de huecos y/o la porosidad durante la consolidación y la conformación de una preforma de material compuesto que tenga una distribución desigual del espesor y/o de la densidad. El documento US 5.380.480 describe un proceso de conformación de láminas de material compuesto en piezas que tienen secciones irregulares.

Sumario

La materia objeto desvelada en el presente documento se refiere a un método de reducción del número de huecos y/o de la porosidad durante la consolidación y la conformación de una preforma de material compuesto que tiene una distribución desigual del espesor y/o de la densidad, tal como una mata que comprende fibras de grafito recicladas y fibras termoplásticas vírgenes. Este método se lleva a cabo usando un aparato que comprende herramientas de moldeo combinadas. El aparato comprende además una capa flexible que está situada entre la preforma de material compuesto y una de las herramientas de moldeo combinadas con el fin de proporcionar una presión más uniforme sobre toda la superficie de la preforma durante el proceso de consolidación. La capa flexible debe tener un límite de fluencia de tracción compensado (deformación del 0,2 %) en un intervalo de 170-2.070 kPa (25-300 psi) a la temperatura de consolidación de la preforma a velocidades de deformación del aproximadamente 1 % al 10 % de deformación por minuto.

De acuerdo con una realización, se usa una lámina de aleación de base de magnesio que actúa como capa flexible o cuña para compensar la desigualdad del espesor o de la densidad sobre la superficie de una preforma de material compuesto, por ejemplo, una mata que comprende fibras de grafito recicladas y fibras termoplásticas vírgenes. La aleación de base de magnesio es una excelente candidata como capa flexible para resinas termoplásticas de alto rendimiento, debido al hecho de que algunas aleaciones de magnesio se vuelven muy blandas a temperaturas útiles para ayudar a la consolidación y al moldeo de materiales compuestos termoplásticos (es decir, 320-400 °C [600-750 °F]) y no se funden hasta más de 540 °C (1000 °F). A medida que la temperatura y la presión aumentan dentro del aparato durante la consolidación de la preforma de material compuesto, la lámina de aleación de magnesio se ablanda y se conforma en las zonas de presión relativamente más baja. La lámina de aleación de magnesio se puede reutilizar debido a la naturaleza blanda del material. Se pueden usar otras aleaciones en lugar de una aleación de base de magnesio, siempre que la aleación tenga un límite de fluencia de tracción compensado (deformación del 0,2 %) en un intervalo de 170-2.070 kPa (25-300 psi) a la temperatura de consolidación de la preforma a velocidades de deformación del aproximadamente 1 % al 10 % de deformación por minuto. De acuerdo con un aspecto, se desvela un método de consolidación de una preforma hecha de material compuesto con un número reducido de huecos y/o porosidad. Se disponen la preforma y una lámina de aleación metálica flexible entre superficies de conformación/moldeo enfrentadas coincidentes menos flexibles, con la preforma intercalada entre la lámina de aleación metálica y una de las superficies enfrentadas coincidentes. Se calientan las superficies enfrentadas coincidentes inductivamente (lo que calienta la lámina de aleación metálica flexible por conducción) hasta que la preforma alcanza al menos una temperatura de consolidación del material compuesto. Durante el calentamiento, se aplica fuerza de modo que las superficies enfrentadas coincidentes ejerzan suficiente fuerza de compresión sobre la preforma y la lámina de aleación metálica para hacer que el material compuesto se consolide a la temperatura de consolidación. La lámina de aleación metálica flexible tiene un límite de fluencia de tracción en un intervalo de 170-2.070 kPa (25-300 psi) a la temperatura de consolidación a una velocidad de deformación del aproximadamente 1 % al 10 % de deformación por minuto.

Otro aspecto de la materia objeto desvelada es un aparato para la consolidación de una preforma hecha de material compuesto a una temperatura de consolidación, que comprende: un primer y un segundo conjunto de herramientas que tienen superficies enfrentadas coincidentes; una lámina de aleación metálica dispuesta entre dichas superficies enfrentadas coincidentes, en el que dicha lámina de aleación metálica tiene un límite de fluencia de tracción en un intervalo de 170-2.070 kPa (25-300 psi) a la temperatura de consolidación a una velocidad de deformación del aproximadamente 10 % de deformación por minuto; medios de calentamiento de al menos las superficies enfrentadas coincidentes del primer y segundo conjunto de herramientas; y medios de aplicación de fuerza en uno o ambos primer y segundo conjunto de herramientas, de modo que las superficies enfrentadas coincidentes sean capaces de ejercer una fuerza de compresión sobre la preforma y la lámina de aleación metálica.

Un aspecto adicional es un método de consolidación de una preforma de material compuesto hecho de fibras de grafito recicladas y fibras de resina orgánica, que comprende: colocar la preforma de material compuesto y una lámina de aleación metálica entre superficies enfrentadas coincidentes de un primer y un segundo conjunto de herramientas, siendo las superficies enfrentadas coincidentes menos flexibles que la lámina de aleación metálica; calentar las superficies enfrentadas coincidentes del primer y segundo conjunto de herramientas y la lámina de aleación metálica durante un ciclo de calentamiento; y aplicar fuerza a uno o ambos primer y segundo conjunto de herramientas para que las superficies enfrentadas coincidentes ejerzan suficiente fuerza de compresión sobre la preforma de material compuesto y la lámina de aleación metálica para provocar el acoplamiento térmico de una superficie coincidente a un lado de la preforma de material compuesto, el otro lado de la preforma de material compuesto a la lámina de aleación metálica, y la lámina de aleación metálica a la otra superficie enfrentada coincidente. La fuerza se aplica durante al menos una parte del ciclo de calentamiento. La lámina de aleación metálica tiene un límite de fluencia de tracción en un intervalo de 170-2.070 kPa (25-300 psi) a la temperatura de consolidación a una velocidad de deformación del aproximadamente 1 % al 10 % de deformación por minuto.

Más adelante, se desvelan y se reivindican otros aspectos de la invención.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describirán diversas realizaciones con referencia a los dibujos con el fin de ilustrar los aspectos anteriores y otros aspectos de la invención.

5 La FIG. 1 es un diagrama que muestra una vista en sección de partes de un aparato conocido, comprendiendo el aparato conjuntos de herramientas superior e inferior con superficies coincidentes diseñadas para consolidar y conformar una preforma de material compuesto. Los conjuntos de herramientas se muestran en sus posiciones retraídas, y la preforma se muestra en un estado no comprimido.

La FIG. 2 es un diagrama que muestra una vista en sección del aparato representado en la FIG. 1, excepto que los conjuntos de herramientas están en sus posiciones extendidas con la preforma comprimida entre ellos.

10 La FIG. 3 es un diagrama que muestra una vista desde un extremo de una parte de una herramienta de troquel inferior.

La FIG. 4 es un diagrama que muestra una vista en sección de una parte de la herramienta inferior parcialmente representada en la FIG. 3, siendo tomada la sección a lo largo de la línea 4-4 que se ve en la FIG. 3.

15 La FIG. 5 es un diagrama que muestra la colocación de una mata sin consolidar entre un par de susceptores opuestos en sus posiciones retraídas, comprendiendo la mata fibras de grafito recicladas y fibras termoplásticas vírgenes.

La FIG. 6 es un diagrama que muestra una mata consolidada entre un par de susceptores en sus posiciones extendidas.

20 La FIG. 7 es un diagrama que muestra una capa flexible y una mata consolidada entre un par de susceptores en sus posiciones extendidas.

25 La FIG. 8 es un gráfico que muestra el efecto de la temperatura sobre las propiedades de tracción de una aleación de base de magnesio que tiene una composición química del 2,5-3,5 % de aluminio; 0,7-1,3 % de cinc; 0,20-1,0 % de manganeso; el resto de magnesio. La curva de tensión de prueba del 0,2% se ha extrapolado a la derecha del eje vertical indicado como "ALARGAMIENTO" para mostrar el efecto anticipado de las temperaturas superiores a 300 °C en la tensión de prueba del 0,2 %.

La FIG. 9 es un diagrama de bloques que muestra los componentes de un sistema que comprende conjuntos de herramientas superior e inferior con superficies coincidentes y una lámina de aleación metálica flexible dispuesta entre ellos para su uso en la consolidación de preformas de material compuesto.

30 A continuación, se hará referencia a los dibujos en los que los elementos similares de diferentes dibujos tienen los mismos números de referencia.

Descripción detallada

35 La siguiente divulgación detallada describe un método y un aparato de consolidación y moldeo/conformación de una preforma de material compuesto que tiene un espesor y/o una distribución de la densidad irregulares. De acuerdo con el método desvelado, se coloca una capa flexible entre la preforma de material compuesto y una herramienta de consolidación calentada. La capa flexible está diseñada para distribuir la presión de moldeo más uniformemente sobre toda la superficie de la preforma irregular durante el proceso de consolidación.

40 En las FIG. 1 y 2, se representa parcialmente un aparato conocido para la consolidación con herramientas combinadas de preformas de materiales compuestos. La FIG. 1 muestra el aparato en una etapa de preconsolidación, mientras que la FIG. 2 muestra el aparato mientras la consolidación está en curso. El aparato comprende un marco inferior 2 del troquel, un troquel inferior de mecanizado 4 soportado por el marco inferior 2 del troquel y que tiene una primera superficie contorneada 6 de troquel, un marco superior 8 del troquel y un troquel superior de mecanizado 10 soportado por el marco superior 8 del troquel y que tiene una segunda superficie contorneada 12 de troquel que es complementaria a la primera superficie contorneada 6 de troquel. Las superficies contorneadas 6 y 12 del troquel pueden definir una forma compleja diferente a la que se representa en las FIG. 1 y 2. Sin embargo, los nuevos medios desvelados en el presente documento también tienen aplicación cuando las superficies del troquel son planas. Los marcos 2 y 8 del troquel pueden estar acoplados a accionadores hidráulicos (no mostrados en las FIG. 1 y 2), que mueven los troqueles acercándolos y alejándolos entre sí. Además, se pueden extender uno o más serpentines de inducción (no mostrados en las FIG. 1 y 2) a través de cada uno de los troqueles de mecanizado 4 y 10 para formar un calentador de inducción destinado a elevar la temperatura de la resina de una preforma de material compuesto al menos hasta su temperatura de consolidación. Se puede conectar un sistema de

control térmico (no mostrado) a los serpentines de inducción.

Aún con referencia a las FIG. 1 y 2, el aparato comprende además un susceptor inferior 18 y un susceptor superior 20 hecho de un material conductor eléctrica y térmicamente. Los susceptores y los serpentines de inducción se colocan de modo que los susceptores se puedan calentar mediante inducción electromagnética. El susceptor inferior 18 puede ajustarse, en general, a la primera superficie contorneada 6 del troquel, y el susceptor superior 20, en general, puede ajustarse a la segunda superficie contorneada 12. En algunos casos, se prefiere que la temperatura a la que se consolida una preforma de material compuesto no deba superar una cierta temperatura. Con este fin, los susceptores 18 y 20 son preferentemente los denominados "susceptores inteligentes". Un susceptor inteligente está construido de un material o materiales que generan calor de manera eficiente hasta alcanzar una temperatura umbral (es decir, de Curie). A medida que partes del susceptor inteligente alcanzan la temperatura de Curie, la permeabilidad magnética de esas partes cae hasta la unidad (es decir, el susceptor se vuelve paramagnético) a la temperatura de Curie. Esta caída de la permeabilidad magnética tiene dos efectos: limita la generación de calor por esas partes a la temperatura de Curie, y cambia el flujo magnético hacia las partes de temperatura inferior, haciendo que esas partes por debajo de la temperatura de Curie se calienten más rápidamente hasta la temperatura de Curie. Por consiguiente, se puede lograr la uniformidad térmica de la preforma calentada durante el proceso de conformación independientemente de la potencia de entrada suministrada a los serpentines de inducción seleccionando juiciosamente el material para el susceptor. De acuerdo con una realización, cada susceptor es una capa o lámina de material magnéticamente permeable. Los materiales magnéticamente permeables preferidos para construir los susceptores incluyen materiales ferromagnéticos que tienen una reducción de aproximadamente 10 veces en la permeabilidad magnética cuando se calientan hasta una temperatura superior a la temperatura de Curie. Una caída tan alta de la permeabilidad a la temperatura crítica potencia el control de la temperatura del susceptor y, como resultado de ello, el control de la temperatura de la pieza que se está fabricando. Los materiales ferromagnéticos incluyen hierro, cobalto, níquel, gadolinio y disprosio, y aleaciones de los mismos.

El aparato de consolidación/moldeo mostrado en las FIG. 1 y 2 comprende además un sistema de refrigeración 14 que comprende los respectivos conjuntos de conductos de refrigeración 16 distribuidos en los troqueles de mecanizado 4 y 10. Cada conjunto de conductos de refrigerante 16 está acoplado a través de los respectivos colectores de distribución a una fuente de medio de refrigeración, que puede ser líquida, gaseosa o mezcla de gas/líquido tal como bruma o aerosol.

En una implementación típica de un proceso de consolidación y moldeo de materiales compuestos, la preforma 22 de material compuesto se sitúa inicialmente entre los troqueles superior e inferior de mecanizado del aparato de mecanizado apilado, como se muestra en la FIG. 1. Luego, los troqueles de mecanizado 4 y 10 se acercan entre sí, como se muestra en la FIG. 2, mientras los serpentines de inducción calientan los susceptores 18 y 20. Por lo tanto, a medida que los troqueles de mecanizado se acercan entre sí, los susceptores calientan rápidamente la preforma 22 de material compuesto. Durante este proceso, la preforma de material compuesto será moldeada por las superficies contorneadas (o planas) opuestas de los susceptores 18 y 20.

Tras un intervalo de tiempo predeterminado, se operará el sistema de refrigeración 14 para aplicar un medio de refrigeración a los troqueles de mecanizado 4 y 10, enfriando de este modo también los susceptores 18 y 20 y la preforma 22 de material compuesto intercalada. La preforma 22 de material compuesto permanece intercalada entre los susceptores durante un período de tiempo predeterminado hasta que se produce el enfriamiento completo de la preforma de material compuesto. Esto permite que la preforma 22 de material compuesto moldeada y consolidada conserve la forma estructural que está definida por las superficies contorneadas de los susceptores 18 y 20. Los troqueles de mecanizado se abren luego, pudiéndose retirar la preforma de material compuesto. La preforma de material compuesto formada y enfriada se retira del aparato de mecanizado apilado sin pérdida de precisión dimensional cuando se enfría a una tasa de mejora de la propiedad apropiada.

La FIG. 3 es una vista desde un extremo de una parte de un troquel inferior de mecanizado 4. El troquel superior de mecanizado puede tener una construcción similar. Cada troquel de mecanizado comprende una multiplicidad de cavidades 32, que pueden ser paralelas entre sí. La FIG. 3 muestra solo dos de dichas cavidades 32, teniendo la parte superior de cada cavidad 32 una parte de un giro respectivo de un serpentín de inducción 34 que pasa a través de la parte más superior de la cavidad.

La vista en sección mostrada en la FIG. 4 se toma a lo largo de la línea 4---4 que se ve en la FIG. 3 y pasa a través de una cavidad 32, pero no a través de la parte del serpentín de inducción 34 de la misma. Se pueden usar uno o más serpentines. A medida que las piezas que requieren fabricación van siendo más grandes, puede ser necesario romper el serpentín en múltiples serpentines conectados en paralelo para limitar la tensión necesaria por cada serpentín. Sin los susceptores inteligentes, el control de la corriente (y la temperatura resultante) de cada serpentín paralelo podría ser un problema. En aras de la simplicidad, las FIG. 3 y 4 muestran una parte de un troquel inferior de mecanizado para la que la parte correspondiente del susceptor conectado es horizontal en lugar de inclinada.

Siguiendo en referencia a las FIG. 3 y 4, el troquel inferior de mecanizado puede comprender una laminación de placas metálicas alternas 28 (por ejemplo, acero inoxidable) y espaciadores dieléctricos 30 que están recortados en

dimensiones apropiadas para formar una pluralidad de cavidades longitudinales paralelas 32 en las que residen los giros de uno o más de los serpentines de inducción 34. Cada placa metálica 28 puede tener un espesor en el intervalo de aproximadamente 0,16 a aproximadamente 1,27 cm (de aproximadamente 0,0625 a 0,5 pulgadas). Se pueden proporcionar huecos 36 de aire (véase la FIG. 4) entre las partes superiores de las placas metálicas 28 para facilitar el enfriamiento de los susceptores. Las placas metálicas apiladas 28 se pueden unir entre sí usando abrazaderas (no mostradas), cierres (no mostrados) y/u otros medios adecuados conocidos por los expertos en la materia. Las placas metálicas apiladas 28 pueden seleccionarse basándose en sus propiedades eléctricas y térmicas, y pueden ser transparentes al campo electromagnético producido por los serpentines de inducción.

Como se observa mejor en la FIG. 4, el susceptor inteligente 18 está unido directamente a las placas metálicas 28 del troquel inferior de mecanizado. (El susceptor inteligente 20 que se observa en la FIG. 1 también está unido directamente a las placas metálicas del troquel superior de mecanizado). De acuerdo con una realización, las placas metálicas 28 están hechas de acero inoxidable austenítico (no magnético), y cada placa es de 0,47 cm (0,185 pulgadas) de espesor, lo que es adecuado cuando el calentador de inducción funciona a una frecuencia de 1 a 3 kHz y con susceptores inteligentes que tienen espesores de 0,318 cm (0,125 pulgadas). Estas placas de laminación pueden ser de un espesor superior a 0,47 cm (0.185 pulgadas) para frecuencias de calentamiento por inducción inferiores, y necesitarían ser más delgadas si se usaran frecuencias superiores. Estas laminaciones pueden (y deben) tener un espacio 36 entre ellas para permitir que el fluido de enfriamiento (gas o líquido) choque directamente contra la superficie del susceptor calentado 18. Este espaciado viene dictado por el espesor y la resistencia de la cubierta de superficie del susceptor inteligente y las presiones de consolidación usadas. Además, los susceptores no requieren una conexión eléctrica entre los mismos. Las placas metálicas 28 están intercaladas con espaciadores dieléctricos 30 excepto cerca del susceptor y en lugares que son necesarios para permitir que el medio de enfriamiento fluya hacia el susceptor. Las mismas consideraciones se aplican al troquel superior de mecanizado y al susceptor unido al mismo

Preferentemente, cada serpentín 34 de inducción se fabrica a partir de una tubería de cobre que está ligeramente estirada. El estado ligeramente estirado de la tubería permite una flexión de precisión mediante máquinas de flexión controladas numéricamente. La flexión controlada numéricamente de la tubería permite la colocación exacta de la tubería con relación a los contornos variables de los susceptores, mejorando de ese modo el grado en que cada susceptor se acopla inductivamente de manera uniforme al calentador de inducción a lo largo y ancho del susceptor. Sin embargo, se ha de entender que la capa flexible desvelada a continuación también puede emplearse en los casos en los que los susceptores son planos en lugar de cóncavos/convexos. Opcionalmente, los serpentines 34 también eliminan la energía térmica al servir como un conducto para un fluido refrigerante, tal como el agua. Tras flexionarse e instalarse, los serpentines incluyen secciones de tubos rectas conectadas por secciones de tubería flexibles. Las secciones de tubería flexibles conectan las secciones de tubería rectas y también permiten que los troqueles se separen. La colocación exacta de la tubería de los serpentines de inducción 34 potencia la uniformidad en la cantidad de calor generada por el campo de flujo magnético y la cantidad de calor eliminada por el flujo del fluido refrigerante.

Como se desvela en la patente de EE.UU. n.º 6.528.771, los serpentines de inducción 34 se pueden conectar a un sistema de control de la temperatura que incluye una fuente de alimentación, un elemento de control, un sensor y un suministro de refrigerante fluido que contiene preferentemente agua (no mostrado). La fuente de alimentación suministra una corriente alterna a los serpentines de inducción 34 que hace que los serpentines generen el campo de flujo electromagnético. El suministro de refrigerante fluido suministra agua a los serpentines de inducción 34 para su circulación a través de los serpentines y la eliminación de la energía térmica de los troqueles. El sensor es capaz de medir la potencia suministrada por la fuente de alimentación. Como alternativa, o además de medir la fuente de alimentación, el sensor puede incluir un voltímetro que puede medir la caída de tensión a través de los serpentines de inducción 34. El elemento de control recibe la salida del sensor y usa las medidas en un circuito de retroalimentación para ajustar la potencia suministrada por la fuente de alimentación. El elemento de control puede incluir hardware, software, firmware o una combinación de los mismos, que sea capaz de usar la retroalimentación para ajustar la salida de tensión por la fuente de alimentación.

El sistema descrito con referencia a las FIG. 1-4 se puede mejorar para facilitar el procesamiento de preformas de material compuesto que tengan un espesor y/o una densidad irregulares en toda la extensión de la preforma mediante la adición de una capa flexible entre la preforma de material compuesto y un susceptor. Por ejemplo, se conoce la fabricación de piezas de aviones a partir de una mata que comprende fibras de grafito recicladas y fibras termoplásticas vírgenes. La FIG. 5 muestra la colocación de dicha mata 40 (en un estado no consolidado) entre un par de susceptores opuestos 18 y 20 en sus posiciones retraídas. La mata 40 puede tener una arquitectura de fibras enmarañadas y apelmazadas, y enredadas, así como irregularidades y variaciones del espesor/de la densidad no deseadas. Además, dado que las fibras de grafito están enredadas, no facilitan el flujo del material termoplástico. Como se observa en la FIG. 6, que muestra la mata 40 al final del proceso de consolidación, estas características pueden conducir a la formación de huecos 42 y/o porosidad en el producto de material compuesto final debido a que el espesor y la distribución de la densidad no fueron uniformes por la mata. La formación de huecos y/o porosidad se ve favorecida por el hecho de que las fibras están enredadas, y el flujo es limitado e incapaz de "reparar" la porosidad de manera muy eficaz.

De acuerdo con diversas realizaciones, el aparato de consolidación comprende además una capa flexible que está situada entre la preforma de material compuesto y una de las herramientas de moldeo combinadas con el fin de proporcionar una presión más uniforme sobre toda la superficie de la preforma durante el proceso de consolidación. La capa flexible debe tener un límite de fluencia de tracción compensado (deformación del 0,2 %) en un intervalo de 170-2.070 kPa (25-300 psi) a la temperatura de consolidación de la preforma a velocidades de deformación del aproximadamente 1 % al 10 % de deformación por minuto.

De acuerdo con una realización mostrada en la FIG. 7, se usa una lámina 44 de aleación de base de magnesio de aproximadamente 0,318 cm (0,125 pulgadas) de espesor que actúa como la capa flexible o cuña para compensar la desigualdad del espesor o de la densidad en la superficie de una mata 40 que comprende fibras de grafito recicladas y fibras termoplásticas vírgenes. La mata 40 y la lámina de aleación de magnesio 44 se muestran intercaladas entre un par de susceptores 18 y 20 en su posición extendida, es decir, el aparato de moldeo está cerrado. Se selecciona una aleación de base de magnesio que se ablanda mucho a temperaturas útiles para ayudar a la consolidación y moldeo de materiales compuestos termoplásticos (es decir, 320-400 °C/600-750 °F) y no se funde hasta una temperatura superior a 540 °C (1.000 °F). A medida que la temperatura y la presión aumentan dentro del aparato de moldeo durante la consolidación del producto de material compuesto resultante, la lámina de aleación de magnesio 44 se reblandece y se forma en las superficies de presión relativamente inferior. La lámina de aleación de magnesio 44 puede reutilizarse debido a la naturaleza blanda del material.

Más concretamente, un material de lámina de aleación de magnesio adecuado es la lámina AZ31B Elektron, que se encuentra disponible en el mercado en Magnesium Elektron UK en Manchester, Inglaterra. AZ31B es una aleación de base de magnesio forjado, no es magnética, tiene una alta conductividad eléctrica y térmica, y tiene un intervalo de fusión de 566-632 °C (1.050-1.170 °F). La formación superplástica de AZ31B puede ocurrir durante el proceso de consolidación de la preforma. La composición química de la aleación de base de magnesio AZ31B es: 2,5-3,5 % de aluminio; 0,7-1,3 % de cinc; 0,20-1,0 % de manganeso; siendo el resto magnesio. La FIG. 8 es un gráfico que muestra el efecto de la temperatura sobre las propiedades de tracción de esta aleación de base de magnesio en particular. La curva de tensión de prueba del 0,2% se ha extrapolado a la derecha del eje vertical indicado como "ALARGAMIENTO" para mostrar el efecto anticipado de las temperaturas superiores a 300 °C en la tensión de prueba del 0,2 %

Se pueden usar otras aleaciones de base de magnesio en lugar de AZ31B siempre que la aleación tenga un límite de fluencia de tracción compensado (deformación del 0,2 %) en un intervalo de 170-2.070 kPa (25-300 psi) a la temperatura de consolidación de la preforma a velocidades de deformación del aproximadamente 1 % al 10 % de deformación por minuto. Como alternativa, se pueden usar aleaciones metálicas que tengan un elemento de base diferente al magnesio, tal como aluminio, siempre que tengan la propiedad de elasticidad a la tracción anteriormente mencionada.

En la FIG. 9, se muestra un sistema que incorpora una capa flexible 44 del tipo descrito anteriormente. En esta realización, la capa flexible 44 está unida al troquel superior de mecanizado 10 por medio de abrazaderas, cierres u otros medios conocidos (no mostrados en la FIG. 9), con un susceptor superior 20 dispuesto entre la capa flexible 44 y EL troquel superior de mecanizado 10. Como alternativa, la capa flexible podría unirse al troquel inferior de mecanizado 4 con el susceptor inferior 18 dispuesto entre los mismos. Durante el proceso de consolidación, los troqueles superior e inferior de mecanizado se acercan entre sí mediante accionadores hidráulicos 46, cuyo movimiento de cierre de la herramienta se indica mediante las flechas en la FIG. 9. Se suministra energía eléctrica a los serpentines de inducción (no mostrados) mediante una fuente de alimentación 48 de la manera descrita anteriormente. Después de la consolidación y del enfriamiento, los accionadores hidráulicos 46 separan los troqueles de mecanizado para liberar el producto consolidado del molde. La capa flexible se puede reutilizar.

Una capa flexible del tipo descrito anteriormente también tiene aplicación en la consolidación y la conformación/el moldeo de preformas de material compuesto distintas de la mata descrita en el presente documento. Por ejemplo, la capa flexible puede usarse en la consolidación de preformas de material compuesto que comprenden fibras de refuerzo incrustadas en una matriz hecha bien de material termoplástico o de plástico termoendurecible.

Aunque la invención se ha descrito con referencia a diversas realizaciones, los expertos en la materia entenderán que se pueden realizar diversos cambios y que se pueden sustituir elementos por elementos equivalentes de los mismos sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, se puede usar una capa flexible con herramientas de consolidación calentadas que carezcan de susceptores. En los casos en los que los troqueles de mecanizado tengan superficies coincidentes calentadas, la capa flexible puede colocarse entre una de esas superficies coincidentes calentadas y la preforma de material compuesto. Además, se pueden realizar muchas modificaciones para adaptar una determinada situación a las enseñanzas del presente documento sin apartarse del alcance esencial del mismo. Por lo tanto, se pretende que las reivindicaciones no se limiten a las realizaciones desveladas en particular.

No se debe interpretar que las reivindicaciones del método expuestas de aquí en adelante en el presente documento requieran que las etapas citadas en el mismo se realicen por orden alfabético o en el orden en que se citan, y no deben interpretarse como excluyentes de la posibilidad de realizarse dos o más etapas al mismo tiempo.

REIVINDICACIONES

1. Un método de consolidación de una preforma (22) hecha de material compuesto, que comprende:
- colocar la preforma (22) y una lámina (44) de aleación metálica entre un primer (4) y un segundo (10) conjunto de herramientas que tienen superficies enfrentadas coincidentes (6, 12) que son menos flexibles que la lámina (44) de aleación metálica, estando la preforma (22) intercalada entre la lámina (44) de aleación metálica y una de las superficies enfrentadas coincidentes (6, 12);
- calentar las superficies enfrentadas coincidentes (6, 12) del primer (4) y del segundo (10) conjunto de herramientas y la lámina (44) de aleación metálica hasta que la preforma (22) alcance al menos una temperatura de consolidación del material compuesto; y
- aplicar fuerza a uno o ambos del primer (4) y segundo (10) conjunto de herramientas para que las superficies enfrentadas coincidentes (6, 12) ejerzan suficiente fuerza de compresión sobre la preforma (22) y la lámina (44) de aleación metálica para hacer que el material compuesto se consolide a la temperatura de consolidación, en el que la lámina (44) de aleación metálica tiene un límite de fluencia de tracción en un intervalo de 170-2.070 kPa (25-300 psi) a la temperatura de consolidación de la preforma a velocidades de deformación del aproximadamente 1 % al 10 % de deformación por minuto.
2. El método según lo citado en la reivindicación 1, en el que la lámina (44) de aleación metálica está hecha de una aleación de base de magnesio.
3. El método según lo citado en la reivindicación 2, en el que una composición química de la aleación de base de magnesio incluye magnesio, aluminio, cinc y manganeso.
4. El método según lo citado en la reivindicación 1, en el que la lámina (44) de aleación metálica está hecha de una aleación de base de aluminio.
5. El método según lo citado en cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que la lámina (44) de aleación metálica es muy blanda a la temperatura de consolidación.
6. El método según lo citado en cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que el material compuesto comprende una mata.
7. El método según lo citado en la reivindicación 6, en el que la mata comprende fibras de grafito recicladas.
8. El método según lo citado en la reivindicación 7, en el que la mata comprende además fibras termoplásticas.
9. El método según lo citado en la reivindicación 6, en el que el material compuesto comprende fibras de grafito y material plástico.
10. Un aparato de consolidación de una preforma (22) hecha de material compuesto a una temperatura de consolidación, que comprende:
- primer (4) y segundo (10) conjuntos de herramientas que tienen superficies enfrentadas coincidentes (6, 12);
- una lámina (44) de aleación metálica dispuesta entre dichas superficies enfrentadas coincidentes (6, 12), en el que dicha lámina (44) de aleación metálica tiene un límite de fluencia de tracción en un intervalo de 170-2.070 kPa (25-300 psi) a la temperatura de consolidación a una velocidad de deformación del aproximadamente 1 % al 10 % de deformación por minuto;
- medios de calentamiento de al menos dichas superficies enfrentadas coincidentes (6, 12) del primer (4) y segundo (10) conjunto de herramientas; y
- medios de aplicación de fuerza a uno o ambos primer (4) y segundo (10) conjunto de herramientas de manera que dichas superficies enfrentadas coincidentes (6, 12) sean capaces de ejercer fuerza de compresión sobre la preforma (22) y la lámina (44) de aleación metálica.
11. El aparato según lo citado en la reivindicación 10, en el que dicha lámina (44) de aleación metálica está hecha de una aleación de base de magnesio.

12. El aparato según lo citado en la reivindicación 11, en el que una composición química de la aleación de base de magnesio incluye magnesio, aluminio, cinc y manganeso.

13. El aparato según lo citado en la reivindicación 10, en el que dicha lámina (44) de aleación metálica está hecha de una aleación de base de aluminio.

5 14. El aparato según lo citado en cualquiera de las reivindicaciones 10-13, en el que la lámina (44) de aleación metálica es muy blanda a la temperatura de consolidación.

15. El aparato según lo citado en cualquiera de las reivindicaciones 10-14, en el que cada uno de dicho primer (4) y segundo (10) conjunto de herramientas comprende un respectivo susceptor, formando dichos susceptores (18 y 20) dichas superficies enfrentadas coincidentes (6, 12).

10

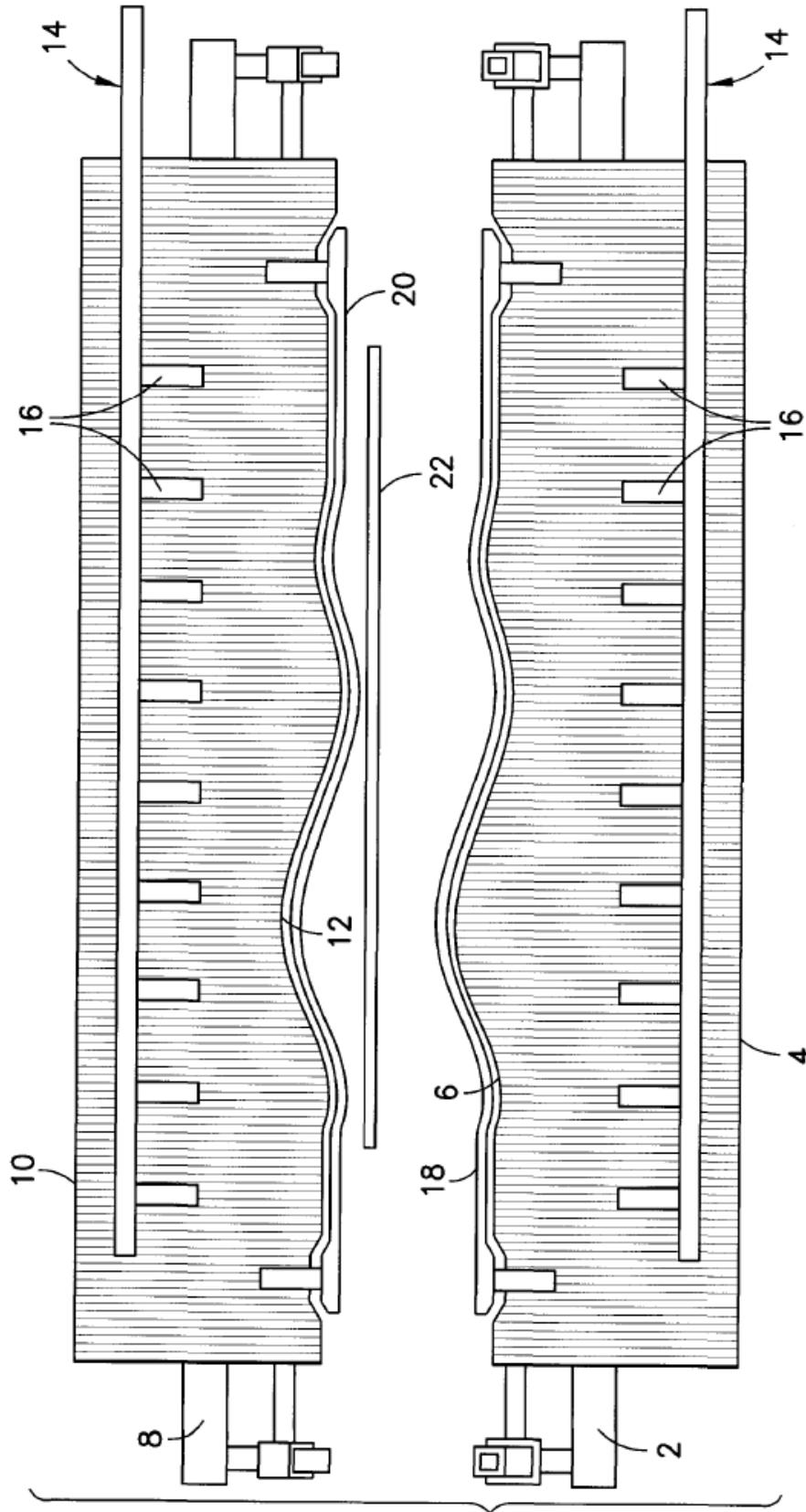


FIG.1

TÉCNICA ANTERIOR

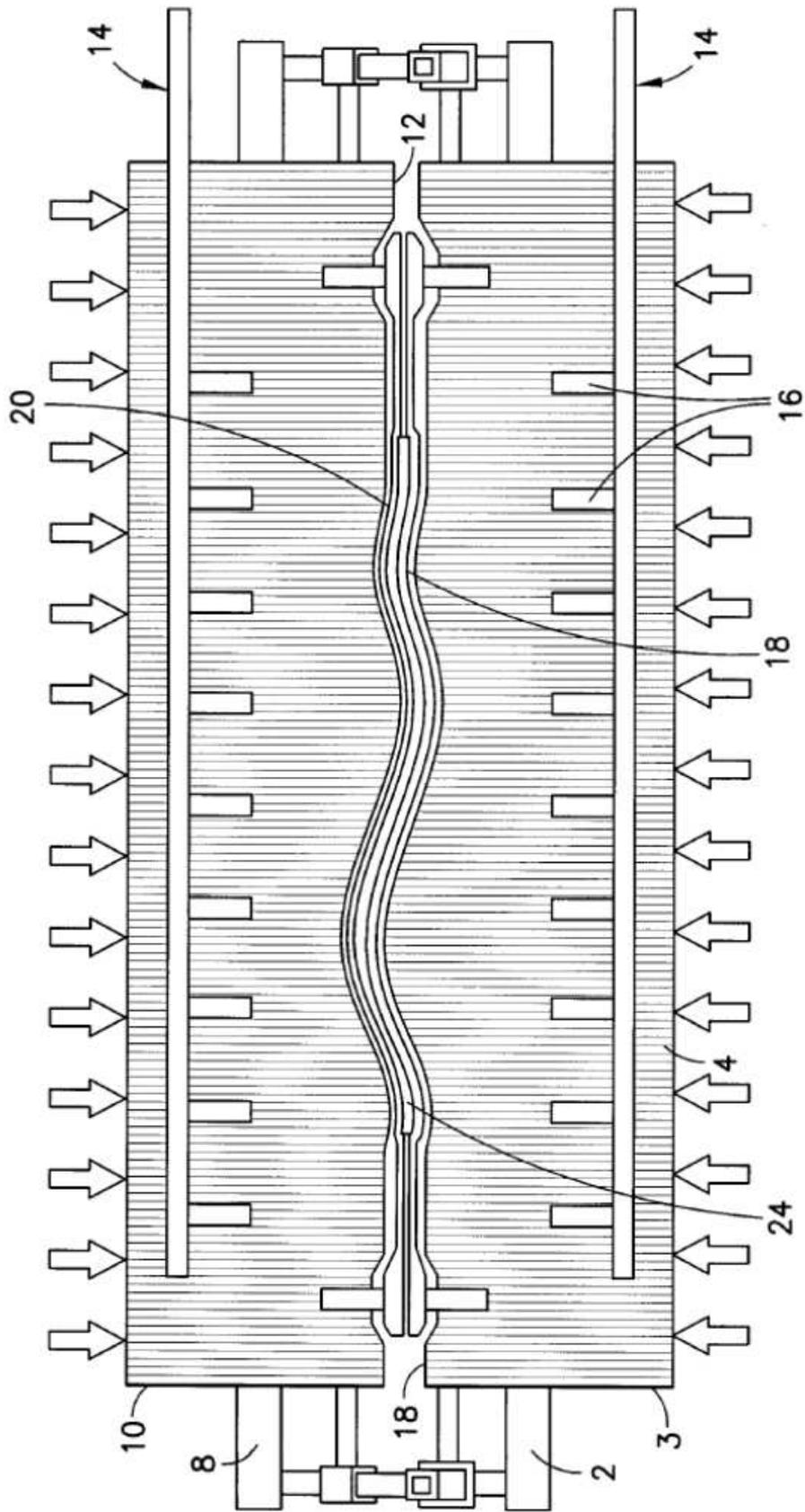


FIG.2

TÉCNICA ANTERIOR

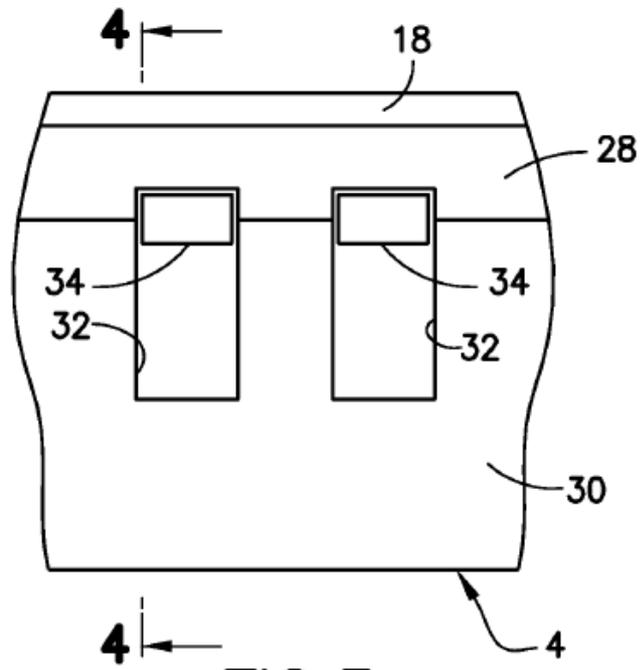


FIG. 3

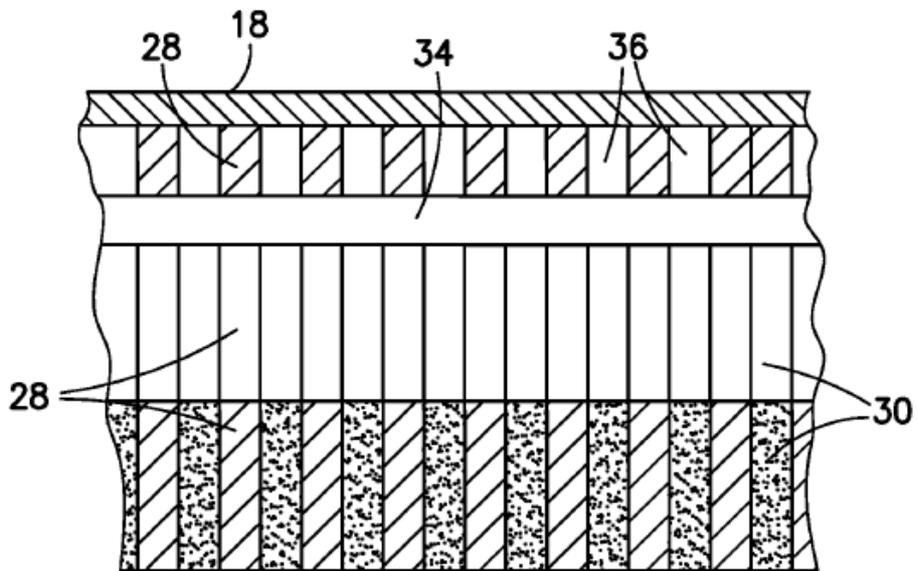


FIG. 4

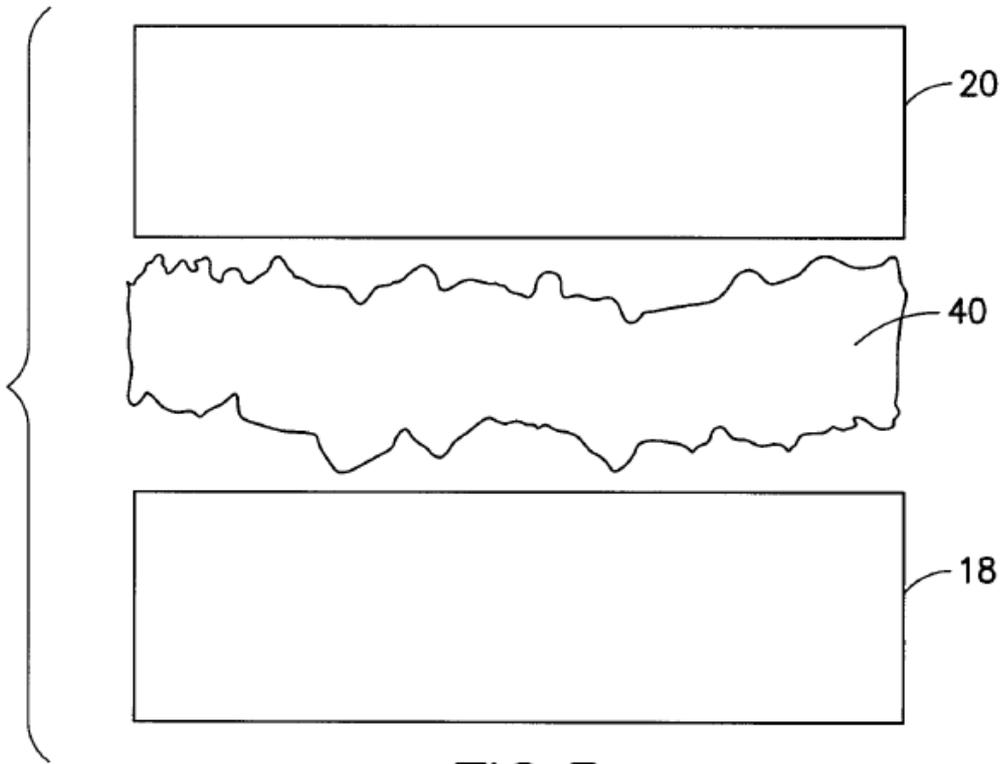


FIG. 5

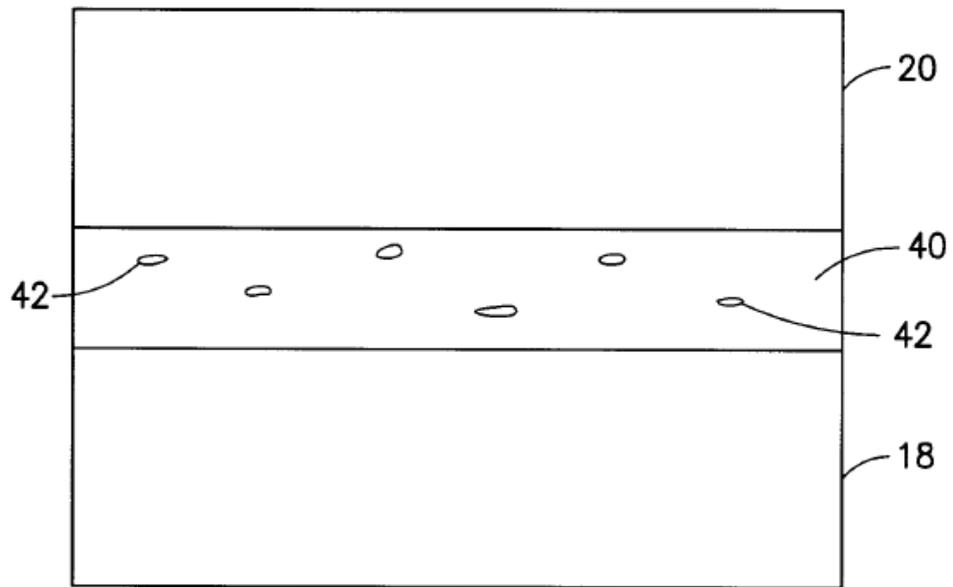


FIG. 6

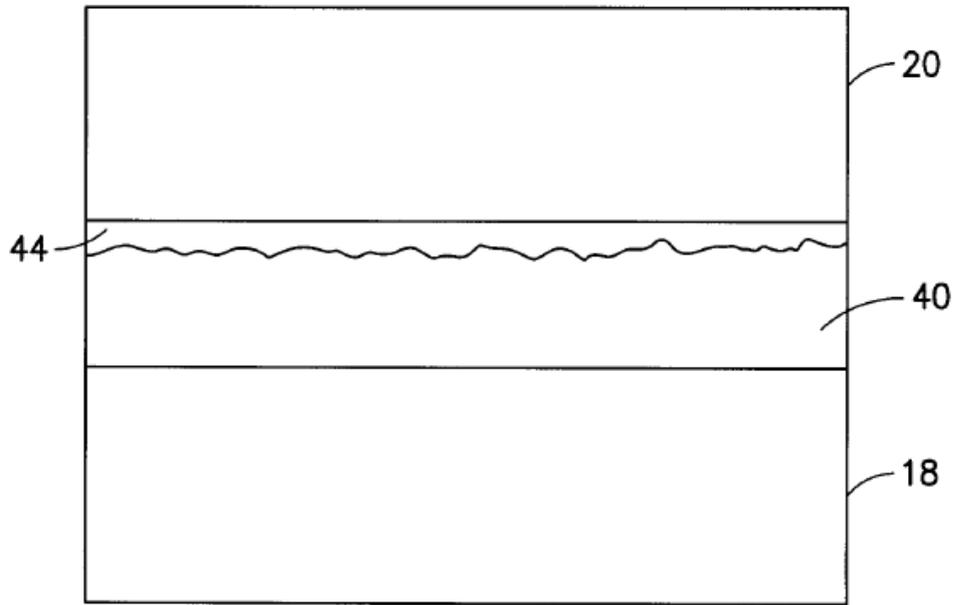


FIG.7

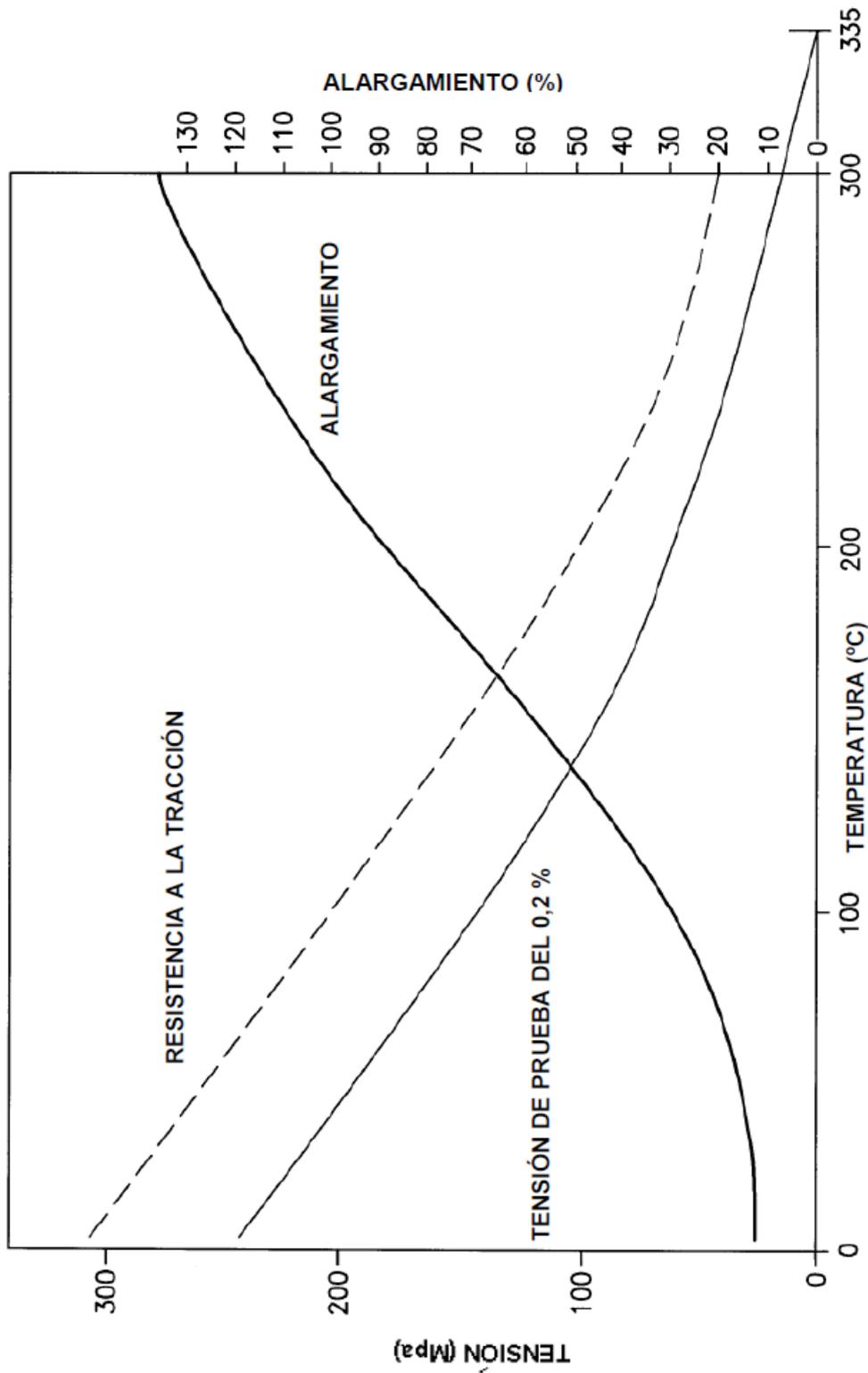


FIG.8

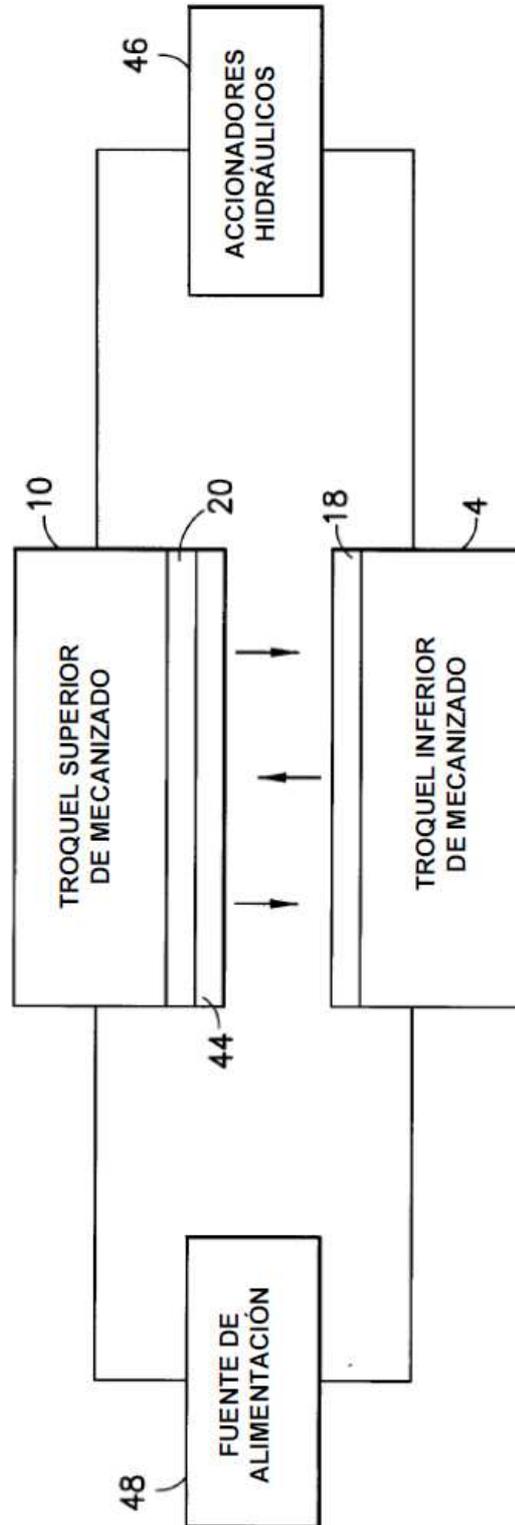


FIG.9