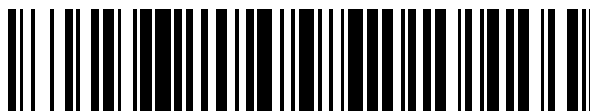


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 688 869**

51 Int. Cl.:

B29C 33/02	(2006.01)
B29C 35/02	(2006.01)
B29D 99/00	(2010.01)
F03D 1/06	(2006.01)
B29C 70/44	(2006.01)
B29C 33/04	(2006.01)
B29C 43/36	(2006.01)
B29L 9/00	(2006.01)
B29L 31/08	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.12.2012 PCT/DK2012/050467**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **04.07.2013 WO13097854**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.12.2012 E 12810046 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.08.2018 EP 2797732**

54 Título: **Método y aparato para fabricación de un componente de pala de turbina eólica con temperatura de curado uniforme**

30 Prioridad:

30.12.2011 US 201161581730 P
14.03.2012 DK 201270116

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.11.2018

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

DAVIS, OLAV;
RAJASINGAM, DAMIEN;
FISHER, ADAM;
GARSTKA, TOMASZ y
LIMMACK, ANDY

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 688 869 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

Método y aparato para fabricación de un componente de pala de turbina eólica con temperatura de curado uniforme

5 **Campo técnico**

La presente solicitud se refiere en general a turbinas eólicas, y más particularmente a un método y aparato para la fabricación de un componente de pala de turbina eólica mediante el curado del material compuesto con una temperatura generalmente uniforme a lo largo de toda la longitud del componente de pala.

10

Antecedentes

Las turbinas eólicas se usan para producir energía eléctrica usando un recurso renovable y sin la combustión de un combustible fósil. Generalmente, una turbina eólica convierte la energía cinética del viento en energía mecánica y entonces convierte en consecuencia la energía mecánica en energía eléctrica. Una turbina eólica de eje horizontal incluye una torre, una góndola localizada en la cima de la torre, y un rotor que está soportado en la góndola. El rotor se acopla o bien directa o bien indirectamente con un generador, que se aloja dentro de la góndola. El rotor incluye un buje central y una pluralidad de palas (por ejemplo, tres palas) montadas en el mismo y que se extienden radialmente desde el buje. En consecuencia, cuando el viento fuerza a las palas a rotar, se produce energía eléctrica por parte del generador.

15

20

Las palas de turbina eólica convencionales incluyen una concha aerodinámica exterior dispuesta alrededor de un larguero interior. La concha aerodinámica exterior se configura para proporcionar a la pala de turbina eólica sus rasgos y características aerodinámicas (por ejemplo, rendimientos de empuje y resistencia) mientras que el larguero se configura para proporcionar la resistencia y rigidez para el soporte de las cargas impuestas sobre la pala durante la operación. Para incrementar la resistencia estructural de estos componentes de pala de turbina eólica, la concha aerodinámica exterior y el larguero se forman en general en mitades u otras partes que se extienden a lo largo de toda la longitud de la pala acabada. Se usan típicamente equipos de moldeo y curado especializados para alojar las significativas longitudes de estos componentes de pala, que se incrementan continuamente en longitud según se desea más potencia de las grandes turbinas eólicas. Por ejemplo, la concha aerodinámica exterior puede formarse en dos semiconchas que se extienden a lo largo de una longitud del componente de 60 a 80 metros o más largos.

25

30

Las largas estructuras de compuestos tales como las de componentes de pala de turbina eólica se fabrican en general usando técnicas de tendido manual. Esto implica la disposición a mano de mallas o mantos de material fibroso reforzado en grandes moldes. Pueden disponerse en el molde diversas capas de material fibroso. Alternativamente, las capas o mallas pueden aplicarse mediante un equipo automatizado en el molde. Las mallas comprenden típicamente fibras de vidrio o carbono, por ejemplo. Una vez que se han dispuesto en el molde las mallas, se suministra resina al molde usando una técnica tal como el moldeo por transferencia de resina (RTM) o moldeo por transferencia de resina ayudado por vacío (VARTM) u otro método de infusión. Alternativamente, las mallas pueden impregnarse previamente con resina, es decir pre-impregnarse, lo que evita la necesidad de suministrar resina al molde. En cualquier caso, la disposición se somete en general a procesos de consolidación y curado ayudados por vacío y controlados en temperatura.

35

40

Cuando estos componentes de pala se forman usando estos procesos, es deseable mantener una temperatura uniforme a todo lo largo de todo el componente de pala durante el curado para evitar la formación de burbujas de aire en el componente de pala acabado. Los métodos tradicionales de curado de un material compuesto incluyen la colocación del material compuesto dentro de un horno comercial o rodear el material compuesto con un aceite de calentamiento u otro líquido similar. Sin embargo, no hay hornos comerciales estándar disponibles que se extiendan sobre la significativa longitud del componente requerido para formar un componente de pala de turbina eólica. Además, el tamaño del equipo de moldeo hace ineficaz el movimiento del molde dentro y fuera de un horno comercial, si no imposible. Más aún, se cree que es muy difícil mantener una temperatura uniforme de un flujo unitario de aceite de calentamiento que fluya a lo largo de toda la longitud del componente requerido cuando se cura un componente de pala. Por tanto, se han desarrollado métodos alternativos para el curado de componentes de pala de turbina eólica.

45

50

55

En este sentido, el equipo de moldeo actual para componentes de pala de turbina eólica incluye un cuerpo de molde principal sobre el que se tiende el material compuesto antes del curado. Cuando el material compuesto está en posición, se posiciona una manta aislante sobre el material compuesto y el cuerpo de molde principal se calienta por elementos de calentamiento eléctricos o aire calentado dentro del cuerpo de molde principal. Como resultado, el componente de pala solo se calienta desde un lado. En la solicitud de patente alemana DE102010013405, se sugiere proporcionar un molde de pala de turbina eólica que tenga una superficie de molde calentada que comprende más de una zona de calentamiento y en el que cada zona de calentamiento comprende un elemento de calentamiento y una fuente de alimentación eléctrica asociada. En la solicitud de patente WO2010/129496, se divulga un método y aparato para el moldeo rápido de palas de turbina eólica en el que se pasan fluidos de calentamiento y refrigeración u otros medios a lo largo de la herramienta de molde con el uso de líneas de conducción embebidas y en el que se coloca una cubierta adaptada sobre una parte que se está moldeando en un

60

65

proceso de moldeo. La cubierta adaptada se forma a partir de una pluralidad de celdas longitudinales posicionadas próximas entre sí. Al menos se acopla un orificio de comunicación a cada celda longitudinal, y se acopla una fuente de medio fluido a una temperatura preseleccionada a los orificios de comunicación mediante lo que las celdas longitudinales pueden llenarse con el medio fluido a la temperatura preseleccionada. La cubierta adaptada puede usarse así para calentar y enfriar selectivamente la parte que se está moldeando para disminuir el tiempo requerido para que la parte se eleve a la temperatura requerida para curar la resina en la parte y para enfriar la parte de modo que pueda retirarse del molde.

Con el tamaño progresivamente creciente de las palas de turbina eólica, el espesor de los componentes de pala también se ha incrementado junto con la longitud del componente. Adicionalmente, el espesor de algunos componentes de pala puede variar a lo largo de la longitud del componente. El calentamiento de estos componentes de pala más gruesos desde solo un lado puede ser indeseable debido a que se cree que es imposible calentar efectiva y uniformemente totalmente a través de los espesores incrementados y/o variables de grandes componentes de pala cuando se aplica calor solamente desde un lado. Si la temperatura del material compuesto varía significativamente durante el curado a lo largo del espesor o a lo largo de la longitud del componente, se incrementa el riesgo de captura de burbujas de aire en el componente de pala acabado.

Por ello, existe una necesidad de un método y aparato de moldeo asociado para la fabricación de componentes de pala de turbina eólica que proporcionen temperaturas de curado más generalmente uniformes a todo lo largo del componente de pala.

Sumario

Para acometer estas y otras deficiencias, un aparato de moldeo para la fabricación de un componente de pala de turbina eólica con una longitud de componente incluye un cuerpo de molde principal, una cámara flexible, y un controlador. El cuerpo de molde principal incluye una superficie que define la forma para la recepción del material compuesto que forma el componente de pala. El cuerpo de molde principal se divide a lo largo de la longitud del componente en una pluralidad de zonas de cuerpo de molde. Cada zona de cuerpo de molde incluye también un depósito térmico configurado para calentar el componente de pala de esa zona del cuerpo de molde. La cámara flexible se configura para superponerse y adaptarse a una forma del componente de pala sobre la superficie que define la forma. La cámara flexible recibe el líquido calentado para calentamiento del componente de pala. El controlador se acopla operativamente al cuerpo de molde principal para controlar independientemente la temperatura del componente de pala en cada zona del cuerpo de molde. El aparato de moldeo de la invención se define en la reivindicación adjunta 1. Las características opcionales adicionales del mismo se definen en las reivindicaciones subordinadas adjuntas 2-8.

En un aspecto, el aparato de moldeo incluye además una primera pluralidad de sensores de temperatura térmicamente acoplados a la pluralidad de zonas del cuerpo de molde para detectar la temperatura de cada zona del cuerpo de molde y comunicar estas temperaturas al controlador. El aparato de moldeo puede incluir también una bomba de fluido para el bombeo del fluido calentado a recipientes de los depósitos térmicos, y una válvula de control de flujo asociada con cada una de las zonas del cuerpo de molde. Las válvulas de control de flujo se controlan por el controlador de modo que ajusten un caudal del fluido calentado recibido en los recipientes correspondientes desde la bomba de fluido.

En otro aspecto, la cámara flexible se divide a lo largo de la longitud del componente en una pluralidad de zonas de cámara. Por ejemplo, la cámara flexible puede incluir una cámara unitaria dividida en la pluralidad de zonas de cámara por una pluralidad de divisiones dentro de la cámara unitaria. En otro ejemplo, la cámara flexible incluye una pluralidad de cámaras flexibles independientes, cada una definiendo una de la pluralidad de zonas de cámara. Adicionalmente, cada una de la pluralidad de zonas de cámara se posiciona en una localización común a lo largo de la longitud del componente con una correspondiente de la pluralidad de zonas de cuerpo del molde.

En otro aspecto más, el aparato de moldeo incluye además una segunda pluralidad de sensores de temperatura térmicamente acoplados a la pluralidad de zonas de cámara para detectar la temperatura de cada zona de cámara y comunicar estas temperaturas al controlador. El aparato de moldeo puede incluir también una bomba de líquido para el bombeo del líquido calentado a cada una de las zonas de cámara, y una válvula de control de flujo asociada con cada una de las zonas de cámara. Las válvulas de control de flujo se controlan por el controlador de modo que se ajuste el caudal de líquido calentado recibido en la zona de cámara correspondiente desde la bomba del líquido. En otro aspecto, el aparato de moldeo incluye un calentador de líquido para calentamiento del líquido calentado suministrado a la cámara flexible, acoplándose operativamente el calentador de líquido al controlador de modo que el controlador accione el calentador de líquido para controlar la temperatura del líquido calentado y de ese modo controlar la temperatura del componente de pala.

Cada una de la pluralidad de zonas del cuerpo de molde y de la cámara flexible puede calentarse mediante aceite de calentamiento o una mezcla de agua/glicol. Alternativamente, cada uno de los depósitos térmicos en las zonas del cuerpo de molde incluye un dispositivo de calentamiento eléctrico y la cámara flexible recibe aceite de calentamiento. La cámara flexible en este aspecto puede transferir calor desde el aceite de calentamiento y de un

dispositivo de calentamiento eléctrico a lo largo de la longitud del componente. Las zonas del cuerpo de molde se aíslan térmicamente entre sí.

5 En otra realización de la invención, un método para la fabricación de un componente de pala de turbina eólica que tenga una longitud de componente incluye el tendido de material compuesto sobre una superficie que define una forma de un cuerpo de molde principal. El cuerpo de molde principal se divide a lo largo de la longitud del componente en una pluralidad de zonas de cuerpo de molde. El método incluye también el posicionamiento de una cámara flexible para superponerse y adaptarse al material compuesto sobre la superficie que define la forma. El material compuesto se cura suministrando líquido calentado a la cámara flexible y mediante el suministro de energía 10 térmica desde los depósitos térmicos localizados en cada una de las zonas del cuerpo de molde. El método incluye también controlar la temperatura del material compuesto en cada una de las zonas del cuerpo de molde independientemente. El método de la invención se define en la reivindicación adjunta 9. Las características opcionales adicionales del mismo se definen en las reivindicaciones subordinadas adjuntas 10-12.

15 En un aspecto, el método incluye además la detección de la temperatura de cada depósito térmico y el control de la energía térmica suministrada a cada uno de los depósitos térmicos para mantener una temperatura generalmente uniforme a través de cada una de las zonas del cuerpo de molde. El control de la energía térmica suministrada a cada uno de los depósitos térmicos puede incluir modificar la alimentación eléctrica suministrada a los dispositivos de calentamiento eléctricos en los depósitos de calentamiento o modificar un caudal de fluido calentado suministrado 20 a los depósitos de calentamiento.

De acuerdo con la invención, la cámara flexible se divide a lo largo de la longitud del componente en una pluralidad de zonas de cámara, y se suministra líquido calentado a cada una de la pluralidad de zonas de cámara independientemente. Con este fin, el método puede incluir además la detección de la temperatura de cada zona de 25 cámara y el control de un caudal de líquido calentado suministrado a cada zona de cámara para mantener una temperatura generalmente uniforme a través de cada una de las zonas de cámara. Más particularmente, la temperatura de todas las zonas del cuerpo de molde y de todas las zonas de cámara puede controlarse de modo que sea generalmente uniforme. Como resultado, la temperatura se mantiene a una constante a lo largo de todo el espesor y longitud del componente de pala de turbina eólica durante el curado.

30 **Breve descripción de los dibujos**

Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de la presente memoria descriptiva, ilustran diversas realizaciones de la invención y, junto con una descripción general de la invención dada anteriormente y la 35 descripción detallada de las realizaciones dada a continuación, sirven para explicar las realizaciones de la invención.

La Fig. 1 es una vista en diagrama de una turbina eólica que incluye componentes de pala de turbina eólica fabricados de acuerdo con el método y aparato de moldeo de la presente invención;

40 la Fig. 2 es una vista en sección transversal esquemática de una primera realización del aparato de moldeo usado para fabricar un componente de pala, mostrando la operación de una bolsa de vacío;

la Fig. 3 es una vista en perspectiva del aparato de moldeo de la Fig. 2;

45 la Fig. 4 es una vista frontal en sección transversal del aparato de moldeo de la Fig. 3 a lo largo de la línea 3-3;

la Fig. 5 es un diagrama de flujo esquemático de una segunda realización del aparato de moldeo usado para fabricar un componente de pala, mostrando el flujo de fluido calentado a través de las zonas del cuerpo de molde; y

50 la Fig. 6 es un diagrama de flujo esquemático del aparato de moldeo de la Fig. 2, mostrando el flujo de líquido calentado a través de las zonas de cámara.

Descripción detallada

55 Con referencia a la Fig. 1 y de acuerdo con una realización de la invención, una turbina eólica 10 incluye una torre 12, una góndola 14 dispuesta en la cima de la torre 12, y un rotor 16 operativamente acoplado a un generador (no mostrado) alojado dentro de la góndola 14. Además del generador, la góndola 14 aloja diversos componentes requeridos para convertir la energía del viento en energía eléctrica y diversos componentes necesarios para operar, controlar y optimizar el rendimiento de la turbina eólica 10. La torre 12 soporta la carga presentada por la góndola 14, el rotor 16 y otros componentes de la turbina eólica 10 que están alojados dentro de la góndola 14, y también 60 funciona para elevar la góndola 14 y el rotor 16 a una altura por encima del nivel del terreno o nivel del mar, según sea el caso, en la que se encuentran típicamente corrientes de aire moviéndose más rápidamente de menor turbulencia.

65 El rotor 16 de la turbina eólica 10, que se representa como una turbina eólica de eje horizontal, sirve como el impulsor primario para el sistema electromecánico. Al exceder el viento un nivel mínimo activará el rotor 16 y

provocará la rotación en una dirección sustancialmente perpendicular a la dirección del viento. Con este fin, el rotor 16 de la turbina eólica 10 incluye un buje central 18 y al menos una pala 20 de turbina eólica que se proyecta hacia el exterior desde el buje central 18. En la realización representativa, el rotor 16 incluye tres palas 20 en localizaciones circunferencialmente distribuidas alrededor, pero el número puede variar. Las palas 20 se configuran para interactuar con el flujo de aire pasante para producir empuje que provoca que el buje central 18 gire alrededor de un eje longitudinal 22. En consecuencia, cuando el viento fuerza a las palas 20 a rotar, se genera potencia eléctrica en el generador.

La turbina eólica 10 puede incluirse entre una colección de turbinas eólicas similares que pertenecen a una granja eólica o parque eólico que sirve como una planta de generación de energía conectada mediante líneas de transmisión con una red eléctrica, tal como una red eléctrica trifásica de corriente alterna (CA). La red eléctrica consiste en general en una red de plantas de generación, circuitos de transmisión y subestaciones acopladas a una red de líneas de transmisión que transmiten la potencia a cargas en la forma de usuarios finales y otros clientes de las compañías eléctricas. Bajo circunstancias normales, la potencia eléctrica se suministra desde el generador a la red eléctrica como es conocido para un experto en la materia.

Como se ha descrito anteriormente, las palas 20 de la turbina eólica se forman típicamente como múltiples componentes ensamblados juntos después del curado tal como cubiertas de larguero, almas de terceros largueros y semiconchas aerodinámicas exteriores (de aquí en adelante "componentes de pala"). Con referencia a las figuras 2-4, se muestra una primera realización de un aparato de moldeo 26 para la fabricación de un componente de pala 28. El aparato de moldeo 26 incluye un cuerpo de molde principal 30 que tiene una forma que define la superficie 32 configurada para recibir el material compuesto 34 usado para formar el componente de pala 28. Una vez se posiciona el material compuesto 34 sobre la superficie que define la forma 32, se posiciona una bolsa de vacío 36 y una cámara flexible 38 sobre el material compuesto 34. Como es bien entendido en el campo de fabricación de palas, la bolsa de vacío 36 aplica una presión de vacío para comprimir el material compuesto 34 en la forma final para el componente de la pala 28 mientras se elimina cualquier exceso de aire o resina del material compuesto 34. La cámara flexible 38 se superpone y adapta a la forma del componente de pala 28. Ventajosamente, la cámara flexible 38 recibe un líquido calentado y el cuerpo de molde principal 30 incluye un depósito térmico 40. El líquido calentado y el depósito térmico 40 calientan colectivamente el componente de pala 28 desde ambos lados para curar el material compuesto 34 en la forma final. Como se describe con detalle adicional a continuación, al menos uno de entre el cuerpo de molde principal 30 y la cámara flexible 38 se divide en zonas a lo largo de una longitud CL del componente de modo que la temperatura se controla independientemente en estas zonas para obtener una temperatura de curado generalmente uniforme del componente de pala 28 a lo largo de toda la longitud CL del componente.

Con referencia particular a la Fig. 2, se muestra esquemáticamente el proceso de moldeo por tendido de laminados usado en el aparato de moldeo 26 de la invención actual. Los materiales compuestos 34 para la formación del componente de pala 28 se aplican en capas a la superficie que define la forma 32 del cuerpo de molde principal 30 bien manualmente o bien por máquina. Como se ha descrito brevemente anteriormente, los materiales compuestos 34 incluyen uno o más materiales de fibra tales como fibra de vidrio, fibra de carbono, u otros materiales junto con una resina para mantener juntos los materiales de fibra. Por ejemplo, los materiales compuestos 34 pueden incluir una pluralidad de capas de fibra pre-impregnadas con resina 42, capas separadas de capas de fibra seca (es decir libre de resina) 44 y capas de resina 46 o alguna combinación de tanto capas de fibra pre-impregnada como seca 42, 44. En este sentido, los materiales compuestos 34 pueden incluir todas las capas de fibra pre-impregnada 42 o todas las capas de fibra seca 44, o alguna combinación de ambas como se muestra con finalidades ilustrativas en la Fig. 3. Cuando se usan capas de fibra seca 44, puede inyectarse un material de resina adicional durante el proceso de moldeo en el material compuesto 34. El material compuesto 34 puede incluir también otras capas de material 48 intercaladas con las capas de fibra 42, 44 para otras finalidades conocidas (por ejemplo, un conductor metálico usado para canalizar descargas de rayos fuera de las partes sensibles de la pala 20 de turbina eólica final). Son también posibles capas adicionales, que incluyen, por ejemplo, tejido de respiración y lámina de pelado. Se entenderá que el tipo particular y ordenación de capas de materiales compuestos 34 puede modificarse sin apartarse del alcance de la invención actual.

Después de que el material compuesto 34 se haya tendido en su posición sobre la superficie que define la forma 32, se coloca la bolsa de vacío 36 sobre el material compuesto 34 y la superficie que define la forma 32. Como se muestra en la Fig. 2, la bolsa de vacío 36 se sujeta en su sitio sobre un cuerpo de molde principal 30 con un elemento de sujeción 50 tal como una cinta selladora de la bolsa. La bolsa de vacío 36 incluye al menos un orificio de salida 52 que se conecta entonces a una fuente de vacío tal como una bomba de vacío 54. La bomba de vacío 54 aplica una presión atmosférica negativa al material compuesto 34, lo que elimina el aire y resina en exceso del material compuesto 34 y tira de la bolsa de vacío 36 apretadamente sobre el material compuesto 34 y el cuerpo de molde principal 30. En este sentido, la bolsa de vacío 36 y la bomba de vacío 54 posicionan el material compuesto 34 en una forma final para curado. La cámara flexible 38 se posiciona en una forma superpuesta sobre la bolsa de vacío 36 en el material compuesto 34 como se muestra en la Fig. 2. Como se describe con detalle adicional a continuación, la cámara flexible 38 y el cuerpo de molde principal 30 proporcionan calor a continuación sobre ambos lados del material compuesto 34 para curar el material compuesto 34 y formar el componente de pala 28 curado. Se entenderá que la cámara flexible 38 puede posicionarse sobre el material compuesto 34 tanto antes como después

de la actuación de la bomba de vacío 54 dependiendo de las preferencias del fabricante.

Se muestran detalles adicionales del aparato de moldeo 26 de esta realización en las Figs. 3 y 4. Con este fin, la cámara flexible 38 de esta realización es una cámara unitaria que se extiende a lo largo de sustancialmente toda la longitud del componente CL del componente de pala 28. La cámara flexible 38 se superpone al componente de pala 28 de modo que la cámara flexible 38 se adapte a la forma del componente de pala 28 como se muestra más claramente en la Fig. 4. Como resultado, la cámara flexible 38 se posiciona en estrecha proximidad con toda el área superficial a lo largo de un lado superior 56 del componente de pala 28 tal como se posiciona sobre un cuerpo de molde principal 30. La cámara flexible 38 recibe un líquido calentado tal como aceite calentado, una mezcla de agua/glicol, u otro líquido adecuado. El líquido calentado permite a la cámara flexible 38 adaptarse a la forma del componente de pala 28 como se ha descrito anteriormente. El líquido calentado fluye sobre sustancialmente todo el lado superior 56 del componente de pala 28 y de ese modo aplica energía térmica para curar el componente de pala 28 sobre la superficie que define la forma 32. Como se muestra en la Fig. 3, la cámara flexible 38 puede dividirse opcionalmente en una pluralidad de zonas de cámara 58 mediante una pluralidad de divisiones térmicamente aislantes 60 posicionadas en serie a lo largo de la longitud CL del componente (se describe otra realización similar a esta disposición con referencia a la Fig. 5 a continuación). Independientemente de si la cámara flexible 38 es completamente unitaria o está dividida en la pluralidad de zonas de cámara 58, se proporciona continuamente líquido calentado a toda la cámara flexible 38 durante el proceso de curado.

El cuerpo de molde principal 30 también se ilustra adicionalmente en las Figs. 3 y 4. El cuerpo de molde principal 30 incluye un depósito térmico 40, que puede incluir un dispositivo de calentamiento eléctrico 62 tal como una bobina de calentamiento posicionada en estrecha proximidad con la superficie que define la forma 32. En consecuencia, el dispositivo de calentamiento eléctrico 62 es operativo para aplicar energía térmica a un lado inferior 64 del componente de pala 28 a lo largo de sustancialmente toda la longitud CL del componente. El líquido calentado dentro de la cámara flexible 38 y el dispositivo de calentamiento eléctrico 62 en el depósito térmico 40 del cuerpo de molde principal 30 calientan colectivamente el componente de pala 28 a lo largo de los lados superior e inferior 56, 64 para proporcionar sustancialmente calentamiento uniforme a través del espesor y a lo largo de la longitud CL del componente de pala 28. De modo similar a la cámara flexible 38, el cuerpo de molde principal 30 puede dividirse opcionalmente en una pluralidad de zonas de cuerpo de molde 66 mediante una pluralidad de divisiones térmicamente aislantes 68 localizadas en serie a lo largo de la longitud CL del componente. En dichas realizaciones con una pluralidad de zonas del cuerpo de molde 66, cada una de las zonas del cuerpo de molde 66 incluye un depósito térmico 40 y un dispositivo de calentamiento eléctrico 62 para calentamiento de la región del componente de pala 28 localizada en esa zona del cuerpo de molde 66. Se entenderá que uno o ambos del cuerpo de molde principal 30 y la cámara flexible 38 pueden dividirse en zonas de acuerdo con diversas realizaciones de la invención actual.

Para asegurar que la temperatura de curado aplicada al componente de pala 28 es generalmente uniforme a lo largo de la longitud CL del componente, el aparato de moldeo 26 de esta realización incluye también un controlador 70 esquemáticamente mostrado en las Figs. 3 y 4. El controlador 70 recibe las temperaturas detectadas desde varias posiciones a lo largo del componente de pala 28 y ajusta el flujo del líquido calentado en la cámara flexible 38 y/o la potencia eléctrica suministrada al (a los) dispositivo(s) eléctrico(s) de calentamiento 62 para mantener la temperatura uniforme deseada. Se entenderá que una temperatura generalmente uniforme de acuerdo con la presente invención significa una temperatura constante más o menos 2 °C a todo lo largo del espesor y longitud CL del componente. Cuando la cámara flexible 38 y/o el cuerpo de molde principal 30 se divide en zonas de cámara 58 y/o zonas del cuerpo de molde 66 correspondientes, el controlador 70 ajusta la energía térmica aplicada por cada zona respectiva 58, 66 para controlar independientemente la temperatura del componente de pala 28 en cada zona 58, 66. Cada una de las zonas de cámara 58 se muestra en la Fig. 3 situada en una localización común a lo largo de la longitud CL del componente con una zona de cuerpo de molde 66 correspondiente, aunque se apreciará que las zonas de cámara 58 y las zonas de cuerpo de molde 66 pueden posicionarse en localizaciones que difieren a lo largo de la longitud CL del componente en otras realizaciones consistentes con el alcance de la presente invención.

En un ejemplo particular de la primera realización del aparato de moldeo 26, la cámara flexible 38 es una cámara unitaria mientras que el cuerpo de molde principal 30 se divide en las zonas del cuerpo de molde 66. En este sentido, el controlador 70 controla por separado la alimentación eléctrica suministrada a los dispositivos eléctricos de calentamiento 62 en cada depósito térmico 40 de las zonas del cuerpo de molde 66 para calentar el lado inferior 64 del componente de pala 28 como se indica por las flechas 72 en la Fig. 3. El controlador 70 puede recibir una temperatura detectada adyacente a cada una de las zonas del cuerpo de molde 66 para determinar cómo ajustar la alimentación eléctrica en cada dispositivo eléctrico de calentamiento 62 para corregir cualesquiera discrepancias en la temperatura a través de la longitud CL del componente. Aunque las zonas del cuerpo de molde 66 están térmicamente aisladas entre sí, la energía térmica puede transferirse ventajosamente a través de varias secciones del componente de pala 28 y también por el líquido calentado dentro de la cámara flexible 38. Esta transferencia longitudinal de la energía térmica y la aplicación de energía térmica al lado superior 56 del componente de pala 28 por el líquido calentado es indicada por las flechas 74 en la Fig. 3. Por consiguiente, el componente de pala 28 se calienta ventajosamente de una forma uniforme durante el curado a lo largo de los lados superior e inferior 56, 64 para reducir la probabilidad de que queden atrapadas cualesquiera burbujas de aire dentro del material compuesto 34.

Haciendo referencia a las Figs. 5 y 6, se muestra esquemáticamente otra realización de un aparato de moldeo 80 para la fabricación de un componente de pala 28 de turbina eólica. El aparato de moldeo 80 de esta realización es similar a la primera realización previamente descrita, de modo que la descripción que sigue se enfoca solamente sobre las diferencias presentes en esta realización. Con referencia particular a la Fig. 5, el aparato de moldeo 80 incluye un cuerpo de molde principal 82 dividido en una pluralidad de zonas del cuerpo de molde 84 térmicamente aisladas entre sí por divisiones térmicamente aislantes 86. Cada una de las zonas del cuerpo de molde 84 incluye un depósito térmico 88, que en esta realización es un recipiente 88 configurado para recibir un fluido calentado. Por ejemplo, el fluido calentado recibido por cada recipiente 88 puede ser un gas calentado tal como aire o puede ser un líquido calentado tal como aceite de calentamiento o mezcla de agua/glicol. El recipiente 88 se extiende a lo largo de sustancialmente todo el área superficial de la superficie que define la forma (no mostrado) en la zona del cuerpo de molde 84 particular de modo que el fluido calentado pueda dispersarse uniformemente y aplicar energía térmica al lado inferior del componente de pala 28. Aunque el recipiente 88 se muestra como un compartimento separado dentro de la zona del cuerpo de molde 84 en la Fig. 5, se entenderá que el recipiente 88 puede definirse por las paredes estructurales del cuerpo de molde principal 82 en otras realizaciones consistentes con la presente invención.

Para suministrar a las zonas del cuerpo de molde 84 un suministro continuo de fluido calentado, el aparato de moldeo 80 de esta realización incluye un circuito de recirculación de fluido calentado 90 como se muestra en la Fig. 5. El circuito de recirculación 90 incluye una bomba 92 y un calentador de fluido 94 para la generación de un suministro de fluido calentado. La bomba 92 entrega fluido calentado como se muestra por las flechas de flujo 96 a través de una pluralidad de pasos de suministro 98 que conducen a cada recipiente 88. Los pasos de suministro 98 pueden incluir válvulas de control de flujo 100 correspondientes con las finalidades descritas con detalle adicional a continuación. Después de entrar en los recipientes 88, el fluido calentado fluye dentro de los recipientes 88 y sale eventualmente a través de una pluralidad de pasos de retorno 102 que conducen de vuelta a la bomba 92 y calentador de fluido 94. Por ello, según la energía térmica se elimina continuamente del fluido calentado en las zonas del cuerpo de molde 84, se repone el suministro de fluido calentado nuevamente en los recipientes 88 para mantener la temperatura generalmente uniforme del componente de pala 28 a lo largo de la longitud CL del componente. Aunque la bomba 92 y el calentador de fluido 94 se muestran esquemáticamente en la Fig. 5 como exteriores al cuerpo de molde principal 82, se entenderá que la bomba 92 y/o el calentador de fluido 94 pueden posicionarse dentro de una parte del cuerpo de molde principal 82 en otras realizaciones de la presente invención.

De modo similar a la realización previa, el aparato de moldeo 80 de esta realización incluye un controlador 104 para controlar independientemente la temperatura del componente de pala 28 en cada zona del cuerpo de molde 84. El controlador 104 se acopla operativamente a la bomba 92 y el calentador de fluido 94 puede accionar el calentador de fluido 94 para ajustar la temperatura del fluido calentado entregado a los recipientes 88. Adicionalmente, el aparato de moldeo 80 incluye una primera pluralidad de sensores de temperatura 106 térmicamente acoplados a las zonas del cuerpo de molde 84 para detección de la temperatura en cada zona del cuerpo de molde 84. La primera pluralidad de sensores de temperatura 106 se conecta operativamente al controlador 104 de modo que los sensores de temperatura 106 comuniquen estas temperaturas de las zonas del cuerpo de molde 84 al controlador 104. El controlador 104 puede determinar entonces si hay cualquier discrepancia de temperatura entre cualquiera de las zonas del cuerpo de molde 84. El controlador 104 se conecta operativamente también a cada una de las válvulas de control de flujo 100. Por ello, si se detecta cualquier discrepancia en temperatura por los sensores de temperatura 106, el controlador 104 acciona las válvulas de control de flujo 100 para ajustar el caudal de fluido calentado en las zonas del cuerpo de molde 84 necesarias. Por ejemplo, si una de las zonas del cuerpo de molde 84 cae en su temperatura fuera de la temperatura de curado uniforme deseada de las otras zonas del cuerpo de molde 84, entonces la válvula de control de flujo 100 correspondiente de esa zona del cuerpo de molde 84 se abre más para permitir un flujo más alto de fluido calentado a través del recipiente 88 de esa zona del cuerpo de molde 84 para corregir la discrepancia de temperatura. En consecuencia, el controlador 104 acciona las válvulas de control de flujo 100 de acuerdo con las temperaturas detectadas por la primera pluralidad de sensores de temperatura 106 para controlar independientemente la energía térmica entregada en cada zona del cuerpo de molde 84. Como alternativa o de manera adicional, se entenderá que el controlador 104 puede ajustar la temperatura del líquido calentado producido por el calentador de fluido 94 para controlar la energía térmica entregada en cada zona del cuerpo de molde 84. Como resultado, puede mantenerse una temperatura de curado uniforme a lo largo de toda la longitud CL del componente de pala 28 por el cuerpo de molde principal 82.

Pasando a la Fig. 6, el aparato de moldeo 80 de esta realización incluye también una cámara flexible 112 para superponerse y adaptarse a un lado superior del componente de pala 28 del cuerpo de molde principal 82. La cámara flexible 112 incluye una pluralidad de cámaras flexibles 114 independientes de modo que dividan la cámara flexible 112 en una pluralidad de zonas de cámara 116. Se entenderá que la pluralidad de zonas de cámara 116 pueden estar aisladas térmicamente entre sí en algunas realizaciones (tal como teniendo a la pluralidad de cámaras flexibles 114 independientes no en contacto entre sí). Cada una de las zonas de cámara 116 se configura para recibir un líquido calentado. Por ejemplo, el líquido calentado recibido por cada zona de cámara 116 puede ser aceite calentado o una mezcla de agua/glicol. La cámara flexible 114 independiente se extiende a lo largo de sustancialmente toda el área superficial de la superficie que define la forma (no mostrado) en la zona de cámara 116 particular de modo que el fluido calentado pueda dispersarse uniformemente y aplicar energía térmica al lado superior del componente de pala 28.

Para suministrar a las zonas de cámara 116 alimentación continua del líquido calentado, el aparato de moldeo 80 de esta realización incluye un circuito de recirculación del líquido calentado 120 como se muestra en la Fig. 6. El circuito de recirculación 120 incluye una bomba 122 y un calentador de líquido 124 para generar un suministro de líquido calentado. El controlador 104 se acopla operativamente a la bomba 122 y calentador de líquido 124 y puede accionar el calentador de líquido 124 para ajustar la temperatura del líquido calentado entregado a las zonas de cámara 116. La bomba 122 entrega líquido calentado como se muestra por las flechas de flujo 126 a través de la pluralidad de pasos de suministro 128 que conducen al interior de cada zona de cámara 116. Los pasos de suministro 128 pueden incluir válvulas de control de flujo 130 correspondientes con las finalidades descritas con detalle adicional a continuación. Después de entrar en las zonas de cámara 116, el líquido calentado fluye al interior de las zonas de cámara 116 y sale eventualmente a través de una pluralidad de pasos de retorno 132 que conducen de vuelta a la bomba 122 y calentador de líquido 124. Por ello, según la energía térmica se elimina continuamente del líquido calentado en las zonas de cámara 116, se repone el suministro de líquido calentado nuevamente en las zonas de cámara 116 para mantener la temperatura generalmente uniforme del componente de pala 28 a lo largo de la longitud CL del componente. Aunque la bomba 122 y el calentador de líquido 124 se muestran esquemáticamente en la Fig. 5 como exteriores al cuerpo de molde principal 82, se entenderá que la bomba 122 y/o el calentador de líquido 124 pueden posicionarse dentro de una parte del cuerpo de molde principal 82 en otras realizaciones de la presente invención.

Adicionalmente, el aparato de moldeo 80 incluye una segunda pluralidad de sensores de temperatura 136 térmicamente acoplados a las zonas de cámara 116 para detección de la temperatura en cada zona de cámara 116. La segunda pluralidad de sensores de temperatura 136 se conecta operativamente al controlador 104 de modo que los sensores de temperatura 136 comuniquen estas temperaturas de las zonas de cámara 116 al controlador 104. El controlador 104 puede determinar entonces si hay cualquier discrepancia de temperatura entre cualquiera de las zonas de cámara 116. El controlador 104 se conecta operativamente también a cada una de las válvulas de control de flujo 130. Por ello, si se detecta cualquier discrepancia en temperatura por los sensores de temperatura 136, el controlador 104 acciona las válvulas de control de flujo 130 para ajustar el caudal de líquido calentado en las zonas de cámara 116 necesarias. Por ejemplo, si una de las zonas de cámara 116 cae en su temperatura fuera de la temperatura de curado uniforme deseada de las otras zonas de cámara 116, entonces la válvula de control de flujo 130 correspondiente de esa zona de cámara 116 se abre más para permitir un flujo más alto de líquido calentado a través de la zona de cámara 116 para corregir la discrepancia de temperatura. En consecuencia, el controlador 104 acciona las válvulas de control de flujo 130 de acuerdo con las temperaturas detectadas por la segunda pluralidad de sensores de temperatura 136 para controlar independientemente la energía térmica entregada en cada zona de cámara 116. Como alternativa o de manera adicional, se entenderá que el controlador 104 puede ajustar la temperatura del líquido calentado producido por el calentador de líquido 124 para controlar la energía térmica entregada en cada zona de cámara 116. Como resultado, puede mantenerse una temperatura de curado más uniforme a lo largo de toda la longitud CL del componente de pala 28 por la cámara flexible 112. Aunque se muestran en las Figs. 5 y 6 seis zonas de cuerpo de molde 84 y zonas de cámara 116, se entenderá que pueden proporcionarse más o menos zonas 84, 116 de uno o de ambos tipos para optimizar la distribución del calor en otras realizaciones consistentes con la invención.

El controlador 104 del aparato de moldeo 80 es operativo por lo tanto para modificar la energía térmica aplicada en diversas zonas de ambos lados superior e inferior del componente de pala 28. Ventajosamente, este control independiente permite una generación más fiable de una temperatura de curado sustancialmente uniforme a lo largo de todo el espesor y longitud CL del componente de pala 28. Por consiguiente, se reduce o minimiza el atrapamiento de burbujas de aire u otras inconsistencias dentro del componente de pala 28 final, lo que de ese modo incrementa la esperanza de vida útil del componente de pala 28. Adicionalmente, el uso de la cámara flexible 112 permite una fabricación completa de los componentes de pala 28 sin requerir el movimiento de un material compuesto 34 no curado o del equipo de moldeo.

Aunque la invención se ha ilustrado mediante una descripción de diversas realizaciones, y aunque estas realizaciones se han descrito con detalle considerable, no es la intención del presente solicitante restringir o limitar de cualquier forma el alcance de las reivindicaciones adjuntas a dichos detalles. Les surgirán fácilmente a los expertos en la materia ventajas y modificaciones adicionales. Por ejemplo, si la temperatura de curado de un componente de pala 28 ha de modificarse de modo que sea diferente en diferentes zonas del componente de pala 28, los aparatos de moldeo 26, 80 de la presente invención pueden controlar independientemente la temperatura del componente de pala 28 consecuentemente en cada zona. Adicionalmente, pueden proporcionarse múltiples bombas y calentadores de fluido en cada circuito de recirculación de fluido en estas realizaciones para producir puntos de consigna separados de temperatura de líquido/fluido calentado para suministro a las diferentes zonas. La invención no está limitada a los detalles específicos, métodos representativos y ejemplos ilustrativos mostrados y descritos a modo de ejemplo.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de moldeo (26, 80) de un componente de pala de turbina eólica para fabricación de un componente de pala (28) de turbina eólica que tiene una longitud (CL) de componente, comprendiendo el aparato de moldeo:
- 5 un cuerpo de molde principal (30, 82) que incluye una superficie que define la forma (32) configurada para recibir material compuesto (34) que forma el componente de pala, estando dividido el cuerpo de molde principal a lo largo de la longitud del componente en una pluralidad de zonas del cuerpo de molde (66, 84), incluyendo cada zona del cuerpo de molde un depósito térmico (40, 88) configurado para calentar el componente de pala en esa zona del cuerpo de molde en el que la pluralidad de zonas del cuerpo de molde están térmicamente aisladas entre sí;
- 10 una cámara flexible (38) configurada para superponerse al componente de pala sobre la superficie que define la forma y adaptarse a una forma del componente de pala, recibiendo la cámara flexible un líquido calentado para calentamiento del componente de pala; y
- un controlador (70, 104) operativamente acoplado al cuerpo de molde principal para controlar independientemente la temperatura del componente de pala en cada zona del cuerpo de molde.
- 15
2. El aparato de moldeo de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
- una primera pluralidad de sensores de temperatura (106) operativamente acoplados al controlador y térmicamente acoplados a la pluralidad de zonas del cuerpo de molde para la detección de la temperatura de cada zona del cuerpo de molde y comunicar estas temperaturas al controlador.
- 20
3. El aparato de moldeo de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que cada uno de los depósitos térmicos en las zonas del cuerpo de molde incluye un recipiente (88) para recibir un fluido calentado, y el aparato comprende adicionalmente:
- una bomba de fluido (92) para bombeo del fluido calentado a cada uno de los recipientes de los depósitos térmicos; y
- 25 una válvula de control de flujo (100) asociada con cada una de las zonas del cuerpo de molde y operativamente acoplada al controlador, accionadas las válvulas de control de flujo por el controlador para ajustar un caudal del fluido calentado recibido en los recipientes correspondientes desde la bomba de fluido.
- 30
4. El aparato de moldeo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la cámara flexible se divide a lo largo de la longitud del componente en una pluralidad de zonas de cámara.
5. El aparato de moldeo de acuerdo con la reivindicación 4, en el que cada una de la pluralidad de zonas de cámara se posiciona en una localización común a lo largo de la longitud del componente con una correspondiente de la pluralidad de zonas del cuerpo de molde.
- 35
6. El aparato de moldeo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4-5, que comprende adicionalmente:
- una segunda pluralidad de sensores de temperatura (136) operativamente acoplados al controlador y térmicamente acoplados a la pluralidad de zonas de cámara para la detección de la temperatura de cada zona de cámara y comunicar estas temperaturas al controlador.
- 40
7. El aparato de moldeo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4-6, que comprende adicionalmente:
- una bomba de líquido (122) para bombeo de líquido calentado a cada una de las zonas de cámara; y
- 45 una válvula de control de flujo (130) asociada con cada una de las zonas de cámara y operativamente acoplada al controlador, accionadas las válvulas de control de flujo por el controlador para ajustar el caudal de líquido calentado recibido en la zona de cámara correspondiente desde la bomba de líquido.
8. El aparato de moldeo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que cada uno de los depósitos térmicos en las zonas del cuerpo de molde incluye un dispositivo eléctrico de calentamiento (62) para calentamiento del componente de pala, y en el que la cámara flexible incluye una cámara unitaria que recibe líquido de calentamiento, transfiriendo la cámara unitaria energía térmica desde el líquido de calentamiento y desde cada uno de los dispositivos eléctricos de calentamiento a lo largo de la longitud del componente.
- 50
9. Un método para la fabricación de un componente de pala de turbina eólica que tiene una longitud (CL) de componente, comprendiendo el método:
- 55 tender un material compuesto (34) sobre una superficie que define la forma (32) de un cuerpo de molde principal (30) que se divide a lo largo de la longitud del componente en una pluralidad de zonas del cuerpo de molde (66, 84) en el que la pluralidad de zonas del cuerpo de molde están térmicamente aisladas entre sí;
- posicionar la cámara flexible (38) para superponerse y adaptarse al material compuesto sobre la superficie que define la forma;
- 60 curar el material compuesto suministrando líquido calentado a la cámara flexible y mediante el suministro de energía térmica desde los depósitos térmicos (40, 88) localizados en cada una de las zonas del cuerpo de molde; y
- controlar la temperatura del material compuesto en cada una de las zonas del cuerpo de molde independientemente.
- 65
10. El método según la reivindicación 9, que comprende adicionalmente:

detectar la temperatura de cada depósito térmico; y
controlar la energía térmica suministrada a cada uno de los depósitos térmicos para mantener una temperatura generalmente uniforme a través de cada una de las zonas del cuerpo de molde.

- 5 11. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9-10, en el que la cámara flexible se divide a lo largo de la longitud del componente en una pluralidad de zonas de cámara (58, 116), y el curado del material compuesto comprende adicionalmente:
suministrar líquido calentado a cada una de la pluralidad de zonas de cámara independientemente.
- 10 12. El método según la reivindicación 9, en el que cada uno de los depósitos térmicos en las zonas del cuerpo de molde incluye un dispositivo eléctrico de calentamiento (62) para calentamiento del componente de pala, la cámara flexible incluye una cámara unitaria que recibe líquido calentado, y el método comprende adicionalmente:
transferir energía térmica desde el líquido calentado y desde cada uno de los dispositivos eléctricos de calentamiento a lo largo de la longitud del componente a través de la cámara unitaria.

15

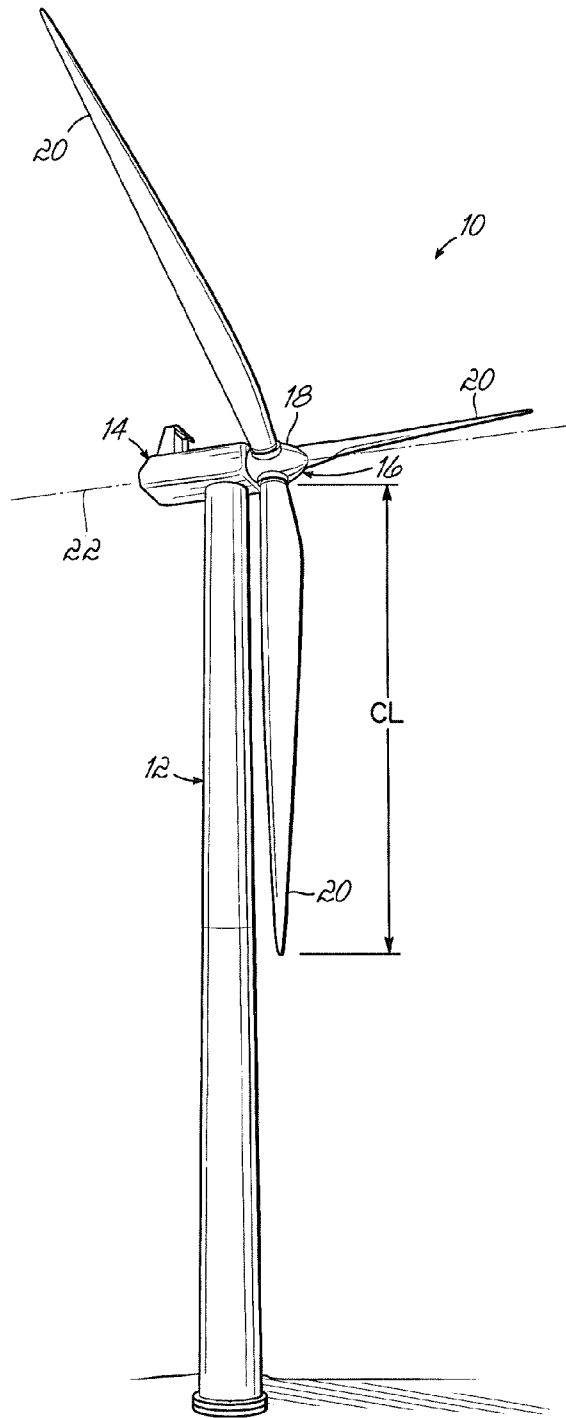


FIG. 1

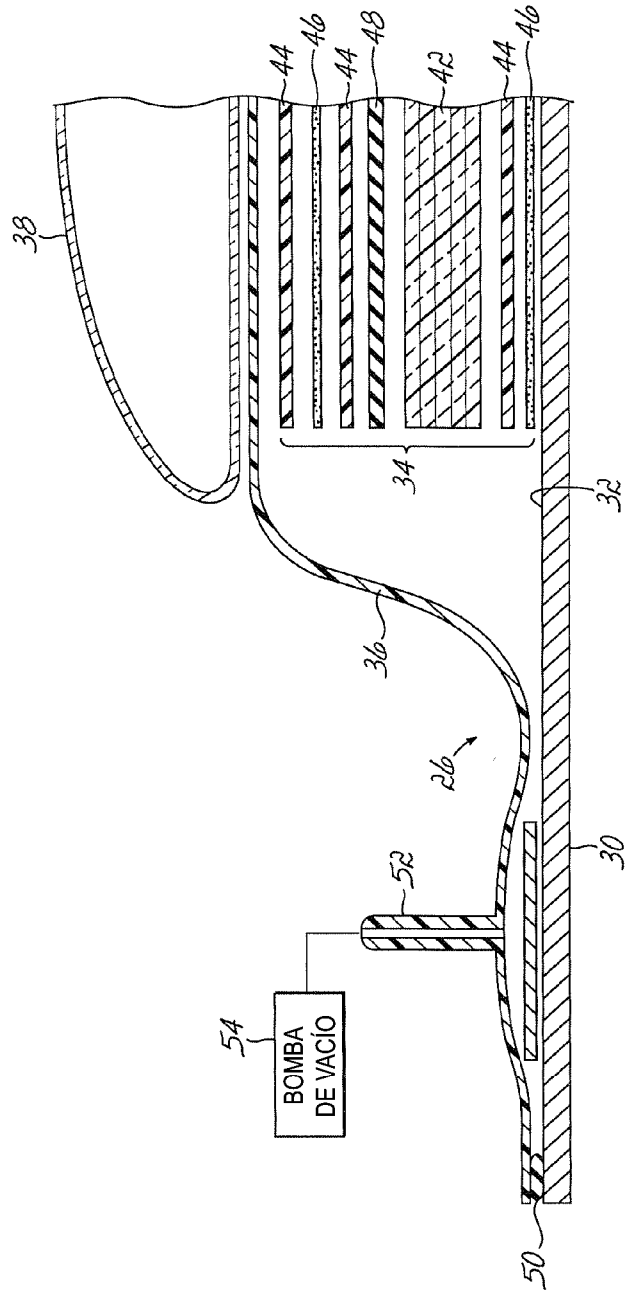


FIG. 2

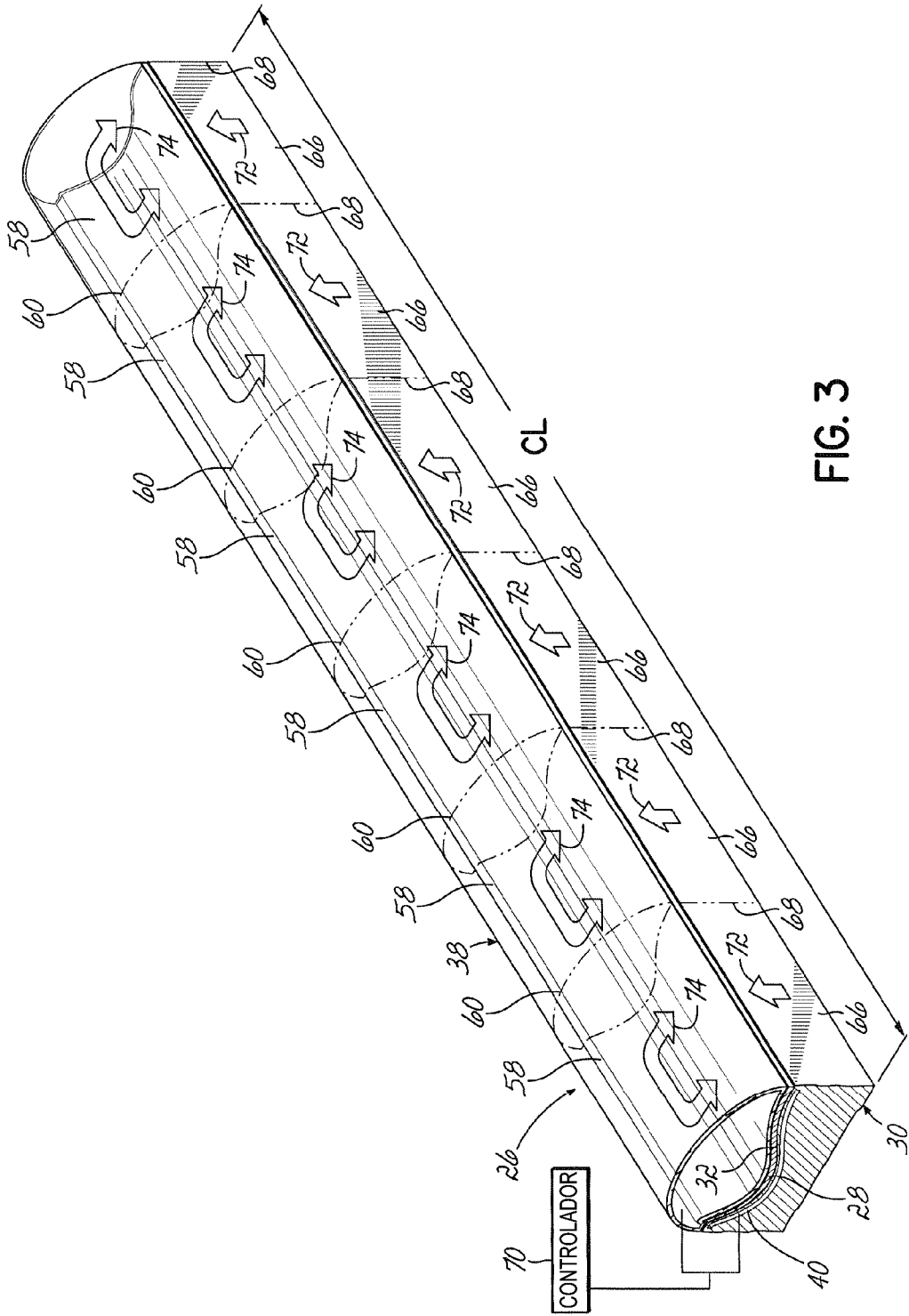


FIG. 3

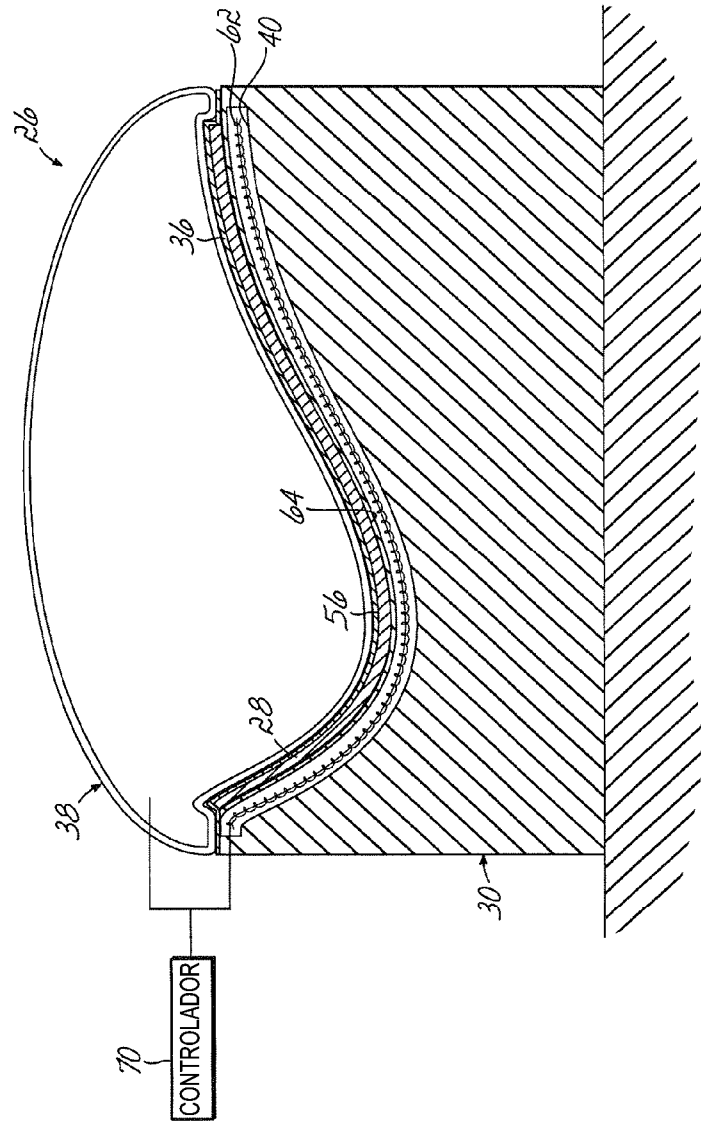


FIG. 4

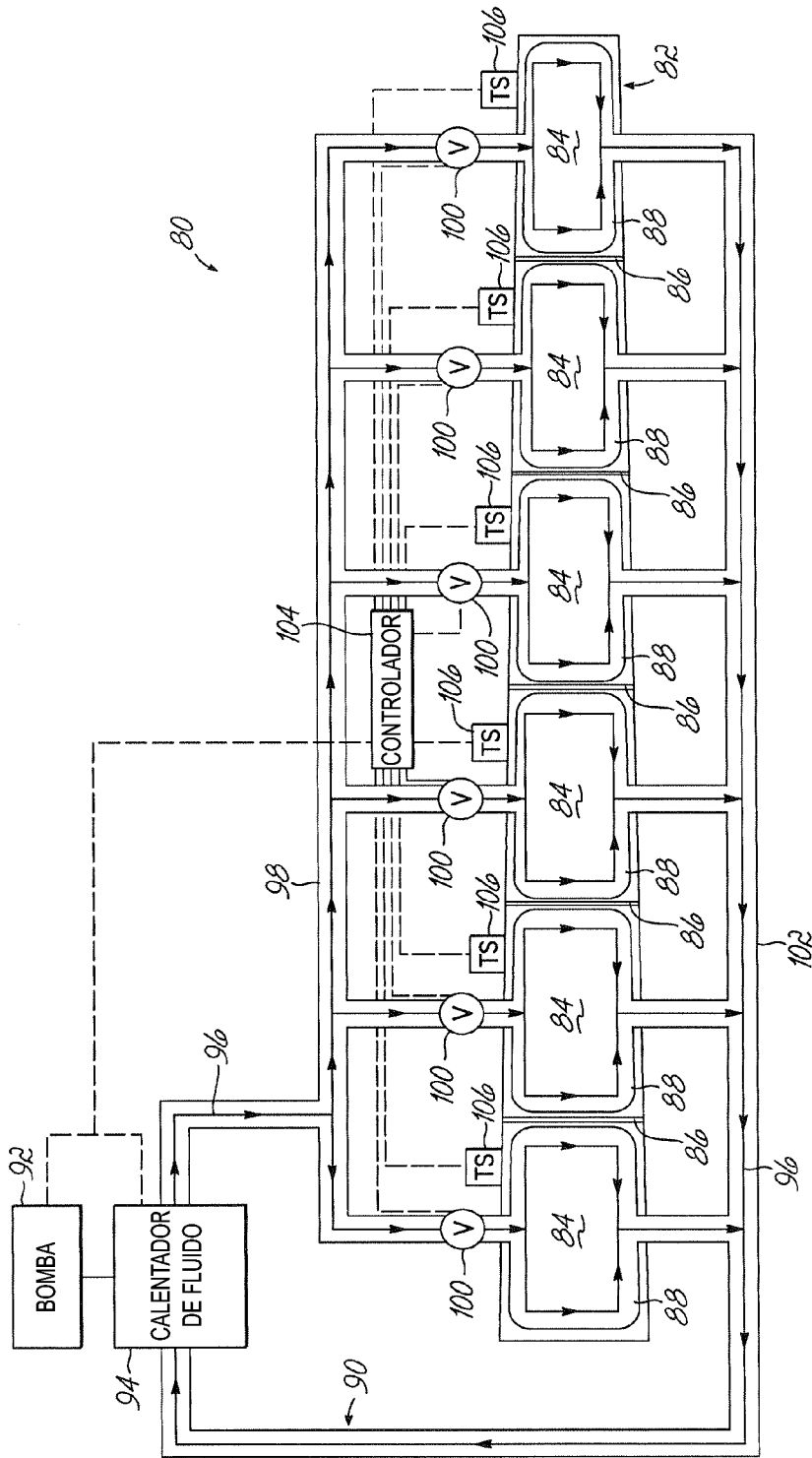


FIG. 5

