

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 767 474**

51 Int. Cl.:

B29C 65/32 (2006.01)

B29D 99/00 (2010.01)

F03D 1/06 (2006.01)

B29C 35/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.11.2015 E 15196773 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2019 EP 3040181**

54 Título: **Consolidación por inducción para la fabricación de pala eólica**

30 Prioridad:

05.01.2015 US 201562176903 P

02.10.2015 US 201514873684

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

17.06.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MARCOE, JEFFERY;
MATSEN, MARC ROLLO y
NEGLEY, MARK ALAN**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 767 474 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

Consolidación por inducción para la fabricación de pala eólica

Campo técnico

5 Esta divulgación se refiere en general a sistemas y procedimientos para formar una pala de turbina eólica compuesta por un material termoplástico y usar el calentamiento por inducción para consolidar el material termoplástico.

Antecedentes

10 Las partes compuestas conformadas se usan habitualmente en aplicaciones tales como las aeronaves y los vehículos en los que se desean un peso ligero y una gran resistencia. Las estructuras y las partes compuestas por material termoplástico y de material termoplástico reforzado con fibra se usan en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo en la fabricación de aeronaves, naves espaciales, giroaviones, embarcaciones, automóviles, camiones y otros vehículos y estructuras, debido a sus elevadas relaciones resistencia/peso, resistencia a la corrosión, y otras propiedades favorables. En la fabricación y el ensamblaje de aeronaves, tales estructuras y partes compuestas por material termoplástico y de material termoplástico reforzado con fibra se usan en cantidades crecientes para formar el fuselaje, las alas, la sección de la cola, los paneles de revestimiento, y otros componentes. No obstante, el uso de materiales compuesto termoplásticos en el diseño y la fabricación de estructuras tubulares cilíndricas y no cilíndricas tales como tubos, tuberías, conductos, líneas, y componentes huecos alargados, para su uso en aeronaves u otras aplicaciones, puede ser difícil debido a la retirada de herramientas, el tamaño de la pieza, la temperatura de procesamiento, las tolerancias dimensionales de la superficie exterior, el alineamiento de fibras, y otros desafíos del procesamiento.

20 Aunque existen métodos conocidos para fabricar estructuras tubulares cilíndricas y no cilíndricas de materiales compuestos termoendurecibles y de materiales metálicos de aluminio y de titanio, existen ciertas desventajas en la utilización de estos materiales. Por ejemplo, el uso de materiales compuestos termoendurecibles puede requerir extensos ciclos de curado, por ejemplo, de 4 horas a 24 horas o más, debido a la reticulación a la que se someten los materiales compuestos termoendurecibles, y los ciclos de curado más extensos pueden dar como resultado un mayor tiempo de fabricación y, a su vez, mayores costes de fabricación. El uso de materiales metálicos puede dar como resultado un mayor peso global de la aeronave u otro mecanismo que utilice la parte acabada, que, a su vez, puede dar como resultado mayores costes de combustible y de funcionamiento, especialmente durante el vuelo de la aeronave. Asimismo, el uso de materiales metálicos de titanio puede dar como resultado mayores costes de fabricación debido a los elevados costes de tales materiales metálicos de titanio.

30 En el documento JP 2011 098514, se describe un molde que incluye un molde superior y un molde inferior que tienen superficies de cavidad hechas de un material metálico magnético de una resistencia específica a 20°C de 4,0-100 $\mu\Omega$ cm. Los circuitos de enfriamiento compuestos de un material metálico no magnético de una resistencia específica a 20°C de hasta 5,0 $\mu\Omega$ cm y las bobinas de calentamiento por inducción que calientan las superficies de la cavidad mediante calentamiento por inducción de alta frecuencia están dispuestos en el molde superior y el molde inferior, respectivamente. También se prevé un método de fabricación del moldeo de un material compuesto tipo resina termoplástica reforzada con fibra que hace uso del molde.

35 En el documento US 2005/0035115, se describe un aparato y un método para formar una pieza de trabajo compuesta. Un generador de campo electromagnético induce una corriente en un susceptor, calentando así la pieza de trabajo en una cavidad de matriz. Una cámara elastomérica en la cavidad se infla y empuja a la pieza de trabajo contra una superficie de contorno correspondiente a la configuración deseada de la pieza de trabajo. Además, se puede hacer circular un fluido refrigerante a través de la cavidad de la matriz para enfriar la pieza de trabajo.

40 En el documento US2008302486, se describe una herramienta para la colocación de fibra que comprende una pluralidad de segmentos de herramienta, teniendo cada segmento de herramienta una superficie exterior que define un perfil predeterminado, estando cada segmento de herramienta montado de manera desmontable sobre al menos un vástago alargado.

45 En el documento US2010065552, se describe un método de fabricación de un componente termoplástico usando el calentamiento inductivo. El método incluye el posicionamiento de una pluralidad de bobinas de calentamiento por inducción para definir un área del procedimiento para el componente termoplástico, donde la pluralidad de bobinas de calentamiento por inducción comprende un primer conjunto de bobinas y un segundo conjunto de bobinas. El método incluye también controlar un suministro de electricidad proporcionado a la pluralidad de bobinas de calentamiento por inducción para activar las bobinas de manera intermitente. La activación intermitente está configurada para facilitar la evitación de la interferencia electromagnética entre bobinas adyacentes.

50 Por consiguiente, el uso de materiales termoplásticos proporciona una alternativa deseable, más económica, para su uso en la fabricación de componentes que se emplean en la fabricación de diversos aparatos que requieren componentes de peso ligero fuertes.

Un tal aparato que se beneficia de los componentes de peso ligero fuertes es una turbina eólica. Las turbinas eólicas se han convertido en una importante fuente de energía en los últimos años. Con el fin de aumentar la eficiencia de la turbina eólica, muchas turbinas eólicas están diseñadas para tener una altura de varios cientos de pies y pueden tener palas que tengan una longitud de más de cien pies. Como resultado, las instalaciones utilizadas para fabricar turbinas eólicas, y en particular palas de turbina eólica, son de un tamaño relativamente grande. En gran medida, el tamaño de estas instalaciones es impulsado tanto por el tamaño real de la pala de turbina eólica terminada como por la extensa duración de ciclo asociada a la fabricación de la pala cuando se fabrica de materiales compuestos. Estas extensas duraciones de ciclo son el resultado directo tanto del moldeo como del curado de la pala eólica. Más concretamente, el periodo de tiempo necesario en la actualidad para moldear y curar una pala de turbina eólica convencional es significativo. Así, con el fin de satisfacer las demandas actuales para las turbinas eólicas, los fabricantes han estado aumentando el tamaño de las instalaciones de producción con el fin de hacer posible que las palas se fabriquen de manera concurrente. No obstante, en vez de construir instalaciones de producción de mayores dimensiones, sería deseable que se redujera el tiempo necesario para fabricar una pala de turbina eólica, de modo que se pueda fabricar una mayor cantidad de palas de turbina sin aumentar el tamaño de la instalación de producción.

Por consiguiente, existe una necesidad de fabricar palas de turbina eólica usando materiales termoplásticos que proporcionen ventajas con respecto a las estructuras y los métodos conocidos.

Sumario de la invención

Esta necesidad de estructuras tubulares compuestas termoplásticas mejoradas en la fabricación de palas de turbina eólica y de métodos mejorados para fabricar estas palas se ve satisfecha mediante la enseñanza presentada en esta divulgación. Tal y como se discute en la descripción detallada a continuación, las realizaciones de las estructuras compuestas por pala de turbina eólica termoplástica mejorada y los métodos mejorados para la fabricación de tales palas pueden proporcionar ventajas significativas con respecto a las estructuras y los métodos existentes.

En el presente documento, se describe un método de fabricación de una pala de turbina eólica, comprendiendo el método envolver una superficie exterior de un mandril con un material compuesto termoplástico; y consolidar el material compuesto termoplástico usando al menos una chapa susceptible; donde el mandril es un mandril segmentado que comprende una pluralidad de segmentos, teniendo cada uno su propio perfil de sección transversal, y donde cada uno de los segmentos de mandril está envuelto individualmente con dicho material compuesto termoplástico y consolidado.

También se describe en el presente documento un sistema para formar una pala de turbina eólica, que comprende un mandril metálico inflable que tiene una superficie exterior y que está configurado en forma de una sección o una pala de turbina eólica completa, siendo el mandril un mandril segmentado que comprende una pluralidad de segmentos, teniendo cada uno su propio perfil de sección transversal; una máquina de trenzar configurada para envolver individualmente la superficie exterior de cada uno de los segmentos del mandril con un material termoplástico; un molde cerámico con una bobina de inducción integral; y al menos una chapa de material susceptible envolviendo una sección interna del molde cerámico.

Se da a conocer un método de fabricación de una pala de turbina eólica que incluye envolver un mandril con un material termoplástico y consolidar el material termoplástico usándose al menos una chapa susceptible. El método puede incluir también posicionar el mandril envuelto en un molde cerámico, y presionar una sección interna del mandril de modo que el mandril envuelto se presione contra una superficie interior del molde cerámico. El suministro de energía a una bobina de inducción adyacente a la chapa susceptible puede consolidar el material termoplástico. De manera preferida, el mandril es un mandril de aluminio y puede contener una pluralidad de secciones de mandril inflables individualmente, donde cada sección de mandril es inflable por separado de modo que el termoplástico se presiona contra una superficie interior de un molde cerámico. El sobretejido mediante un aparato de trenzado puede llevar a cabo la envoltura del mandril con el material termoplástico.

También se da a conocer un sistema para formar una pala de turbina eólica que incluye un mandril metálico configurado en forma de una sección de o de una pala de turbina eólica completa, una máquina de trenzar configurada para envolver el mandril con un material termoplástico, una herramienta cerámica con una bobina de inducción integral; y al menos una chapa de material susceptible envolviendo una sección interna de la herramienta cerámica.

También se da a conocer una pala de turbina eólica fabricada de material termoplástico trenzado y consolidado, donde el material termoplástico se sobreteje sobre un mandril metálico inflable y se consolida en un sistema de procesamiento por inducción usándose una o más chapas susceptibles incorporadas en un molde cerámico.

Breve descripción de las figuras

La presente divulgación se comprenderá de manera más completa a partir de la descripción más detallada presentada a continuación y de los dibujos adjuntos que se presentan únicamente mediante su ilustración y, por tanto, no constituyen limitaciones de la presente divulgación, y donde:

La figura 1 es una vista en perspectiva de un ejemplo de una turbina eólica que tiene tres palas de turbina;

la figura 2 es una vista esquemática de un procedimiento de sobretejido que envuelve un mandril en forma de pala de turbina eólica con material termoplástico;

la figura 3 es una representación esquemática de un mandril segmentado;

5 la figura 4 es una vista en sección transversal de un mandril envuelto obtenido a partir del procedimiento de sobretejido ilustrado en la figura 2; y

la figura 5 es una vista en sección transversal del mandril envuelto de la figura 4 colocado en una herramienta de inducción cerámica para consolidar el material termoplástico trenzado empleándose chapas susceptibles; y

la figura 6 es la pala de turbina eólica terminada fabricada usando el procedimiento y el equipo mostrados en las figuras 2-4.

10 Las partes correspondientes se marcan con los mismos símbolos de referencia en todas las figuras.

Descripción detallada

15 Las realizaciones dadas a conocer se describirán a continuación más detalladamente con referencia a los dibujos adjuntos en los que se muestran algunas, pero no todas de las realizaciones dadas a conocer. De hecho, se pueden prever varias realizaciones diferentes y no ha de interpretarse que se limitan a las realizaciones expuestas en la presente divulgación, sino que estas realizaciones se prevén para que esta divulgación sea rigurosa y completa y traslade por completo el alcance de la divulgación al experto en la técnica.

20 La figura 1 muestra una turbina 1 eólica típica que tiene tres palas 2 de turbina. Las palas 2 de turbina pueden fabricarse según los métodos de fabricación descritos en esta divulgación, por ejemplo, usando un procedimiento de sobretejido tal como se ilustra esquemáticamente en la figura 2. La máquina 4 de trenzar envuelve una pluralidad de cintas o estopas termoplásticas alrededor de un mandril 3 que está configurado en forma de pala 2 de turbina. Las cintas termoplásticas son materiales 6 compuestos termoplásticos de fibra continua suministrados por un número de carretes o bobinas 7 de la máquina 4 de trenzar para cubrir la superficie 3a exterior del mandril 3 con termoplástico 5 sobretejido, que se ajusta a la forma del mandril 3.

25 El mandril 3 puede estar hecho de un número de materiales o combinación de materiales; sin embargo, un material preferido es el metal. Características deseables para un mandril metálico son que se trate de uno que pueda conformarse dando lugar a una cámara inflable o expandible con la capacidad de mantener la presión, la estabilidad térmica, la flexibilidad, la conformidad y las características de expansión térmica. Por ejemplo, puede ser deseable para el material de la cámara metálica que sea estable térmicamente a temperaturas de consolidación para la estructura que se está fabricando. Durante la consolidación, se puede presionar la cámara metálica, de modo que la cámara metálica confiera una fuerza de compresión dirigida hacia fuera contra el termoplástico 5 sobretejido. Un metal preferido que puede usarse es el aluminio o una aleación de aluminio. De manera alternativa, el mandril 3 podría fabricarse de magnesio o una aleación de magnesio. Se prefieren los mandriles metálicos debido a sus propiedades de conducción y a su capacidad de resistir las temperaturas necesarias durante la consolidación del sobretejido 5 termoplástico.

35 El material 6 compuesto termoplástico de fibra continua preferiblemente consiste en un material compuesto de fibra de carbono; incluyendo el material de polímero reforzado con fibra de carbono el sulfuro de polifenileno reforzado con fibra de carbono (PPS), la polieteretercetona reforzada con fibra de carbono (PEEK), la polietercetona reforzada con fibra de carbono (PEKK), y la polietilimina reforzada con fibra de carbono (PEI); el nailon u otros materiales compuestos termoplásticos apropiados. Tal como se ha mencionado, el material 6 compuesto termoplástico de fibra continua se encuentra preferiblemente en una forma que consiste en un material compuesto termoplástico de cinta ranurada continua, un material de fibra mezclada, un material compuesto termoplástico de fibra continua anisotrópica o casi isotrópica, u otro material compuesto termoplástico de fibra continua apropiado. Preferiblemente, el material 6 compuesto termoplástico de fibra continua, tal como en forma de cinta o estopa unidireccional, tiene una anchura estrecha de 1/8 pulgadas (0,3175 cm), ¼ pulgadas (0,635 cm) pulgadas, o cinta de otra anchura apropiada de hasta 4" (10,16 cm) de anchura. Las estopas no han de tener la misma anchura, por ejemplo, las estopas axiales y las estopas oblicuas pueden tener diferentes anchuras para cubrir el mandril y para su rendimiento mecánico estructural. La utilización de materiales compuestos termoplásticos de fibra continua en forma cinta o estopa unidireccional puede tener anchuras superiores a 1/8 pulgadas (0,3175 cm), lo cual proporciona mayores velocidades de tendido del material de la máquina de trenzar. El material de fibra combinada puede comprender fibras secas con un polvo de resina termoplástica incrustado en las fibras secas. El material 6 compuesto termoplástico de fibra continua puede enrollarse y/o trenzarse alrededor del mandril 3 en una dirección de cero (0) grados, y también puede enrollarse o trenzarse en una dirección oblicua. Cuando el material 6 compuesto termoplástico de fibra continua se enrolla o trenza en una dirección oblicua, se puede usar el material de fibra combinada, de modo que, cuando el material 6 compuesto termoplástico de fibra continua se caliente y consolide, el polvo de resina incrustado rellene las fibras secas y se funda para dar como resultado la estructura 10 de pala de turbina eólica tubular de compuesto termoplástico terminada consolidada (véase la figura 6).

Para los fines de esta solicitud, "material compuesto termoplástico de fibra continua casi isotrópica" significa un laminado que aproxima la isotropía mediante la orientación de las estopas en varias o más direcciones en el mismo

plano. Por ejemplo, una parte casi isotrópica puede tener fibras orientadas de manera aleatoria en todas las direcciones, o puede tener fibras orientadas de modo que se desarrolle una fuerza igual alrededor de todo el plano de la parte. En general, un laminado casi isotrópico hecho de un tejido preimpregnado o tejido entretejido puede tener estopas orientadas en 0° (cero grados), 90°, +45°, y -45°, con aproximadamente el 25% de las estopas en cada una de estas cuatro direcciones. También se pueden obtener propiedades casi isotrópicas con estopas unidireccionales trenzadas (0 grados) y orientadas oblicuamente en 60 grados. Para los fines de esta solicitud, "material compuesto termoplástico de fibra continua anisotrópica" significa la dependencia direccional del material compuesto de una propiedad física y puede ser una diferencia, cuando se mida a lo largo de diferentes ejes, en una propiedad física o mecánica del material (absorbancia, índice de refracción, conductividad, resistencia a la tracción, etc.). También se puede hacer referencia a anisotrópico como "unidireccional". Los métodos de esta divulgación proporcionan una fabricación y una configuración de palas de turbina eólica de fibra continua de compuesto termoplástico (unidireccional) anisotrópica de gran carga o casi anisotrópica de gran carga fabricadas con la utilización de mandriles o materiales de herramientas metálico inflables o expandibles.

La figura 2 proporciona una ilustración esquemática de un aparato 4 de trenzado para sobretejer el ejemplo de los posibles mandriles que se pueden usar en las realizaciones del método de esta divulgación. El sobretejido del mandril 3 se efectúa preferiblemente usando el aparato 4 de trenzado que tiene una o más bobinas o tubos 7 de trenzado para dispensar y trenzar el material 6 compuesto termoplástico de fibra continua por encima del mandril 3. Un aparato o máquina de trenzado conocido en la técnica puede utilizarse para sobretejerse el mandril. Preferiblemente, el aparato o máquina de trenzado conocido tiene la capacidad de asumir cambios y variaciones de la superficie 3a exterior del mandril y modificar el espesor del compuesto 5 termoplástico de fibra trenzada, el calibre, el ángulo de oblicuidad a lo largo de la longitud, la forma de la sección transversal, el recorrido angular de la sección transversal a lo largo de la longitud, la curva, la forma de la gota, y el número de estopas. Preferiblemente, el sobretejido del mandril 3 se efectúa a temperatura ambiente. El procedimiento de sobretejido proporciona preferiblemente una tolerancia al deterioro mejorada y propiedades de resistencia frente a la rotura mejoradas del material 6 compuesto termoplástico de fibra continua gracias a la construcción por encima y por debajo del procedimiento de sobretejido. Es posible utilizar un número de técnicas y patrones de trenzado conocidos para el experto en la técnica. En algunas circunstancias, puede ser beneficioso utilizar un láser para ayudar en la colocación del material termoplástico durante el procedimiento de sobretejido. El equipo láser podría utilizarse también para fijar secciones del material 6 compuesto termoplástico mientras que se lleva a cabo el procedimiento de sobretejido para mantener esencialmente la posición de estopas seleccionadas con respecto a las otras estopas.

El mandril 8 sobretejido tiene preferiblemente una sección 8a transversal sobretejida (véase la figura 4) que define o bien toda la pala 2 de turbina eólica o bien una sección lineal de la pala. Preferiblemente, la sección 8a transversal del mandril sobretejido corresponde en su forma con la pala 2 de turbina deseada. Se usa un mandril 3 segmentado como se ilustra esquemáticamente en la figura 3. En el mandril segmentado particular mostrado en la figura 3, el mandril 3 comprende 4 segmentos 31a - 31d, teniendo cada uno su propio perfil de sección transversal, tal como se ejemplifica mediante los dos perfiles 32 y 33 en sección transversal. Cada una de las secciones 31a - 31d de mandril es envuelta individualmente con material termoplástico y se consolida. Del mismo modo, cada sección se puede inflar usando una configuración de una o múltiples cámaras. Una vez que se ha terminado la sección tubular terminada, las secciones se pueden unir entre sí para formar una pala 10 de turbina finalizada tal como se muestra en la figura 6. La utilización de mandriles/cámaras segmentados hace más fácil la retirada del mandril/cámara de las secciones de compuesto 5 termoplástico de fibra trenzada.

Una vez que el mandril 3 está sobretejido por completo, el método, tal como se muestra en la figura 4, comprende además la etapa de instalar el mandril 8 sobretejido en una disposición 20 de herramientas emparejadas (véase la figura 5). La figura 5 es una ilustración de una vista en sección transversal tomada a lo largo de la sección central aproximada del mandril 3 de la pala de turbina eólica, mostrando el mandril 8 sobretejido instalado en la disposición 20 de herramientas emparejadas. La disposición 20 de herramientas emparejadas comprende preferiblemente una disposición de herramientas de concha de cerámica que comprende un primer lado 21 de molde de sección y un segundo lado 22 de molde de sección. El mandril 8 sobretejido puede estar instalado dentro de y entre el primer lado 21 de molde de sección y el segundo lado 22 de molde de sección. Tal y como se muestra en la figura 5, una vez que la disposición 20 de herramientas emparejadas se cierra alrededor del mandril 8 sobretejido, la primera sección 21 y la segunda sección 22 de la disposición 20 de herramientas emparejadas pueden mantenerse unidas a través de un elemento 27 de sujeción, tal como una abrazadera u otro dispositivo adecuado.

La disposición 20 de herramientas incluye además los componentes mecánicos y eléctricos necesarios para consolidar el mandril 8 sobretejido instalado en un perfil de calentamiento especificado con el fin de consolidar el material 5 compuesto termoplástico de fibra continua y formar una estructura 10 tubular de compuesto termoplástico. La figura 5 es una ilustración de una vista en perspectiva en sección transversal del mandril 8 sobretejido instalado en la disposición 20 de herramientas emparejadas que incluye una bobina 25 de inducción que, cuando se le suministre energía, provocará que las chapas 24 y 26 susceptibles emitan calor que consolide el material 6 compuesto termoplástico de fibra continua sobretejido sobre el mandril 3. El molde 23 cerámico de la disposición 20 de herramientas puede ser una estructura unitaria que tenga una abertura definida allí a través de la cual esté dimensionada para recibir el mandril. Opcionalmente, el horno cerámico puede estar formado a partir de dos piezas 21 y 22 de cerámica moldeadas que, cuando estén combinadas, formen la abertura descrita anteriormente. Tal como se ha mencionado, el molde cerámico

incluye al menos una bobina 25 de inducción formada en él. Durante su funcionamiento, se le suministra energía la bobina de inducción para generar un campo magnético dentro del molde cerámico. La cerámica es un material de molde preferido, dada su transparencia para los campos magnéticos.

5 El horno incluye además al menos un revestimiento o chapa 24, 26 susceptible inteligente, que está dispuesta para encapsular al menos parcialmente el mandril envuelto con el material termoplástico. Durante su funcionamiento, el revestimiento susceptible inteligente acepta energía de la bobina 25 de inducción fundida en una pieza y calienta con rapidez a la temperatura de consolidación deseada requerida para consolidar el material termoplástico. El susceptible 24, 26 inteligente puede comprender un material configurado para generar calor cuando se exponga a un campo magnético creado por una o más bobinas 25 de inducción. El material susceptible puede seleccionarse de un metal, una aleación metálica, una cerámica, una película metalizada, o cualquier otro material adecuado. En algunos ejemplos ilustrativos, el material comprende una aleación metálica que tiene propiedades ferromagnéticas. En algunos ejemplos ilustrativos, un material ferromagnético puede seleccionarse basándose en una temperatura de consolidación deseada. Por ejemplo, el material susceptible puede seleccionarse basándose en una temperatura a la que un material ferromagnético se vuelva no magnético. Esta temperatura se conoce también como temperatura de Curie. Un material ferromagnético puede seleccionarse de modo que la temperatura de Curie para el material ferromagnético corresponda a una temperatura de consolidación deseada. En estos ejemplos ilustrativos, los susceptibles 24, 26 inteligentes pueden seleccionarse de la aleación 510, Invar, Kovar, Moly Permalloy, o cualquier otro material apropiado que genere calor cuando se expone a un campo magnético. La aleación 510 puede conocerse también como bronce fosforoso. Preferiblemente, el perfil de calentamiento especificado comprende una temperatura de calentamiento en un intervalo de desde aproximadamente 150°F (65°C) hasta aproximadamente 800°F (427°C). De manera más preferida, la temperatura de calentamiento se encuentra en un intervalo de desde aproximadamente 400°F (204°C) hasta aproximadamente 750°F (399°C). De la manera más preferida, la temperatura de calentamiento se encuentra en un intervalo de desde aproximadamente 550°F (288°C) hasta aproximadamente 700°F (371°C). Preferiblemente, el perfil de calentamiento especificado comprende un tiempo de calentamiento de un intervalo de desde aproximadamente 20 minutos hasta aproximadamente 240 minutos. De manera más preferida, el tiempo de calentamiento se encuentra en un intervalo de desde aproximadamente 30 minutos hasta aproximadamente 120 minutos.

30 Durante el calentamiento usando la combinación de la bobina 25 de inducción y las chapas 24 y 26 susceptibles, se presiona una sección 30 interna del mandril 3 para expandir el mandril con el fin de ejercer presión sobre el material 5 compuesto termoplástico de fibra continua contra la disposición 20 de herramientas emparejadas, provocando la consolidación o el endurecimiento del material 5 compuesto termoplástico de fibra continua para formar la estructura 10 de pala tubular de compuesto termoplástico. La presión se genera usando aire presurizado u otra fuente de gas presurizado, incluyendo el gas inerte, tal como el nitrógeno o el helio. Tal como se usan en el presente documento, "consolidar" o "consolidación" significa el endurecimiento o el refuerzo del material compuesto termoplástico sometido a calor y/o presión para formar una estructura unitaria y el enfriamiento de la estructura unitaria endurecida o reforzada, por ejemplo, la pala 10 de turbina eólica tubular de compuesto termoplástico. Durante la consolidación, el calor y/o la presión provocan un flujo del material de resina/polimérico y el humedecimiento de las fibras de refuerzo del material compuesto termoplástico.

40 Preferiblemente, la presión ejercida por el mandril sobre el material 5 compuesto termoplástico de fibra continua puede encontrarse en un intervalo de desde aproximadamente 100 lbf/in² (6,9 bares) hasta aproximadamente 400 lbf/in² (27,6 bares), de la manera más preferida, en el intervalo de desde aproximadamente 100 lbf/in² (6,9 bares) hasta aproximadamente 150 lbf/in² (10,3 bares). Además, al proporcionar una disposición 20 de herramientas de concha de cerámica con superficies lisas, pulidas, definidas por las chapas 24 y 26 susceptibles, la presión ejercida por el mandril 3 inflable, expandible, se genera de dentro hacia fuera, de modo que se puede evitar o minimizar cualquier arruga o deformación sobre la parte exterior de la estructura 10 tubular de compuesto termoplástico formada endurecida o consolida. En una realización, el mandril es una cámara inflable que tiene una única cavidad interior. De manera opcional, tal como se ha mencionado, la cámara podría estar formada para incluir varias cavidades separadas que puedan llenarse a diferentes presiones si se desea. Estas cámaras separadas están contenidas dentro del único mandril. Adicionalmente, el mandril puede formarse a partir de varias secciones de mandril, teniendo cada sección secciones de cámara inflable única o múltiples. Cuando se utilizan varios mandriles, la combinación de estos tiene la longitud, anchura, etc. suficiente para consolidar una única pala de turbina eólica. A modo de ejemplo, para una pala de 60 pies (18,3 m), se podrían utilizar dos mandriles/cámaras de 30 pies (9,1 m). Para una pala de 90 pies (27,4 m), se podrían utilizar tres mandriles/cámaras de 30 pies (9,1 m).

55 El método de fabricación de la pala 10 de turbina eólica puede incluir además una etapa de enfriamiento en la que la disposición 20 de herramientas emparejadas con la estructura 10 tubular de compuesto termoplástico formada se enfría en un perfil de enfriamiento especificado que se base en las resinas particulares empleadas. Como tales, se pueden utilizar una amplia variedad de velocidades de enfriamiento basándose en la baja masa térmica y la capacidad de producir flujo gaseoso a través de la cámara metálica presurizada interna. El perfil de enfriamiento especificado comprende preferiblemente una temperatura por debajo de una temperatura de transición del vidrio del material 5 compuesto termoplástico de fibra continua. El mandril 3 inflable se mantiene a la presión y, después de un tiempo predeterminado dentro de la disposición 20 de herramientas, la pala de turbina eólica consolidada enfriada se extrae, se recorta y se inspecciona. Una ventaja del sistema descrito anteriormente consiste en que la pala de turbina eólica terminada no tenga ninguna línea de costura.

REIVINDICACIONES

1. Método de fabricación de una pala (10) de turbina eólica, comprendiendo el método
envolver una superficie (3a) exterior de un mandril (3) con un material (6) compuesto termoplástico; y
consolidar el material (6) compuesto termoplástico usando al menos una chapa (24, 26) susceptora;
- 5 en el que el mandril (3) es un mandril segmentado que comprende una pluralidad de segmentos (31a - 31d), teniendo
cada uno su propio perfil de sección transversal, y
en el que cada uno de los segmentos (31a - 31d) de mandril está envuelto individualmente con dicho material
compuesto termoplástico y consolidado.
2. Método según la reivindicación 1, que comprende además
- 10 posicionar el mandril (3) envuelto en un molde (23) cerámico; y
presionar una sección (30) interna del mandril (3) de modo que el mandril (3) envuelto se presiona contra una superficie
interior del molde (23) cerámico.
3. Método según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la consolidación del material (6) compuesto
termoplástico se efectúa suministrando energía a una bobina (25) de inducción adyacente a la chapa (24, 26)
susceptora.
- 15 4. Método según cualquier reivindicación anterior, en el que el mandril (3) comprende un mandril de aluminio.
5. Método según la reivindicación 4, que comprende además presionar una sección (30) interna del mandril de aluminio
de modo que el mandril se infla y el material (6) compuesto termoplástico se presiona contra una superficie interior del
molde (23) cerámico.
- 20 6. Método según cualquier reivindicación anterior, en el que cada uno de los segmentos (31a - 31d) de mandril
comprende una configuración de una o múltiples cámaras, comprendiendo además el método inflar la(s) cámara(s) de
modo que el material (6) compuesto termoplástico se presiona contra una superficie interior de un molde (23) cerámico.
7. Método según cualquier reivindicación anterior, que comprende además consolidar el material (6) compuesto
termoplástico usando dos chapas (24, 26) susceptoras para formar una única pala (10) de turbina eólica unitaria.
- 25 8. Método según la reivindicación 2, en el que presionar la sección (30) interna del mandril (3) implica inflar una o más
cámaras situadas dentro de los segmentos (31a - 31d) de mandril usando un gas presurizado.
9. Método según cualquier reivindicación anterior, en el que envolver comprende sobretejer usando una máquina (4) de
trenzar.
10. Sistema para formar una pala (10) de turbina eólica, que comprende
- 30 un mandril (3) metálico inflable que tiene una superficie (3a) exterior y que está configurado en forma de una sección o
una pala (10) de turbina eólica completa, siendo el mandril un mandril segmentado que comprende una pluralidad de
segmentos (31a - 31d), teniendo cada uno su propio perfil de sección transversal;
- una máquina (4) de trenzar configurada para envolver individualmente la superficie (3a) exterior de cada uno de los
segmentos (31a - 31d) del mandril (3) con un material termoplástico (6);
- 35 un molde (23) cerámico con una bobina (25) de inducción integral; y
al menos una chapa de material (24, 26) susceptor envolviendo una sección (30) interna del molde (23) cerámico.
11. Sistema según la reivindicación 10, en el que el mandril (3) inflable comprende una o más cámaras inflables.
12. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque además el envolvimiento del material
(6) compuesto termoplástico comprende usar un material compuesto de fibra continua que es una cinta o estopa
unidireccional.
- 40 13. Método según la reivindicación 12, caracterizado porque además el envolvimiento comprende usar estopas axiales y
estopas oblicuas, donde las estopas oblicuas tienen una anchura diferente a la de las estopas axiales.

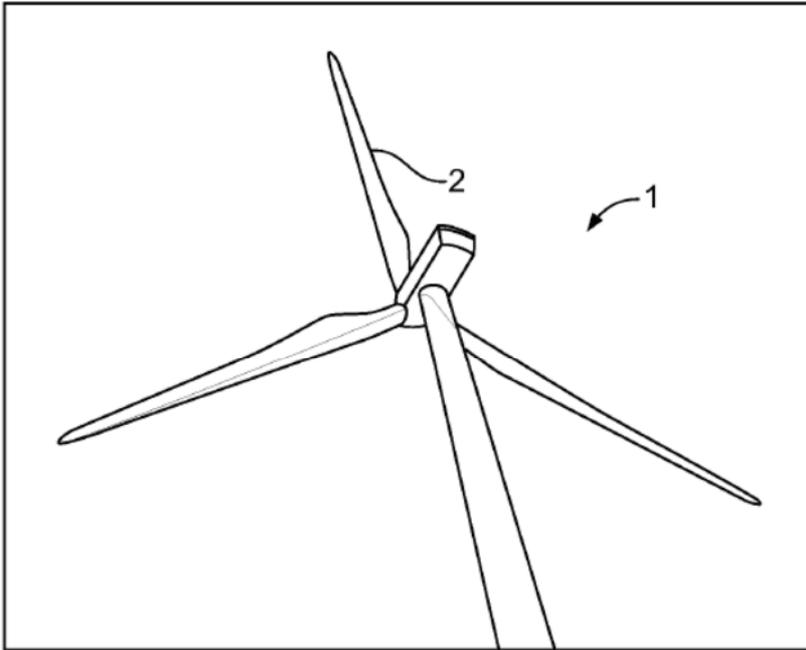


FIG. 1

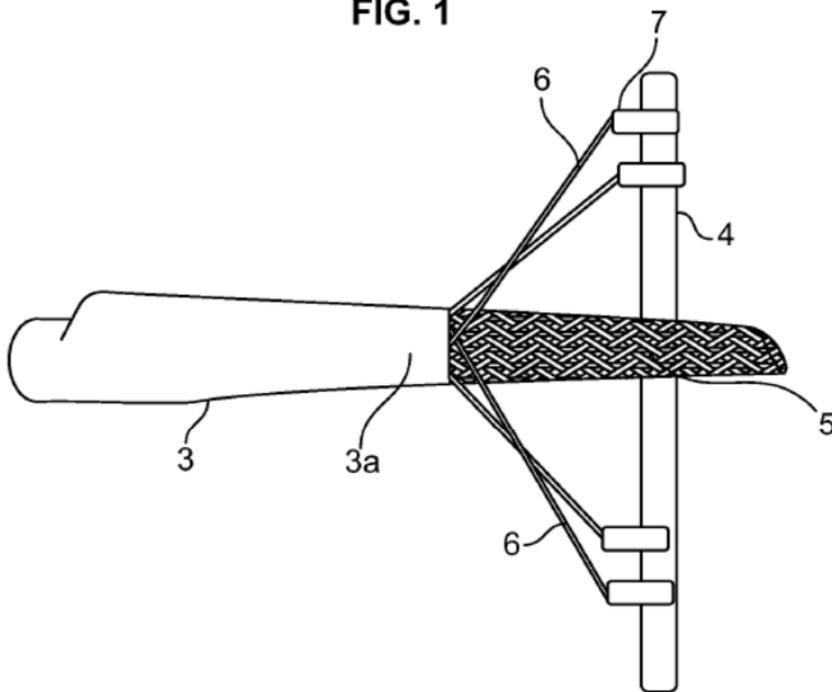


FIG. 2

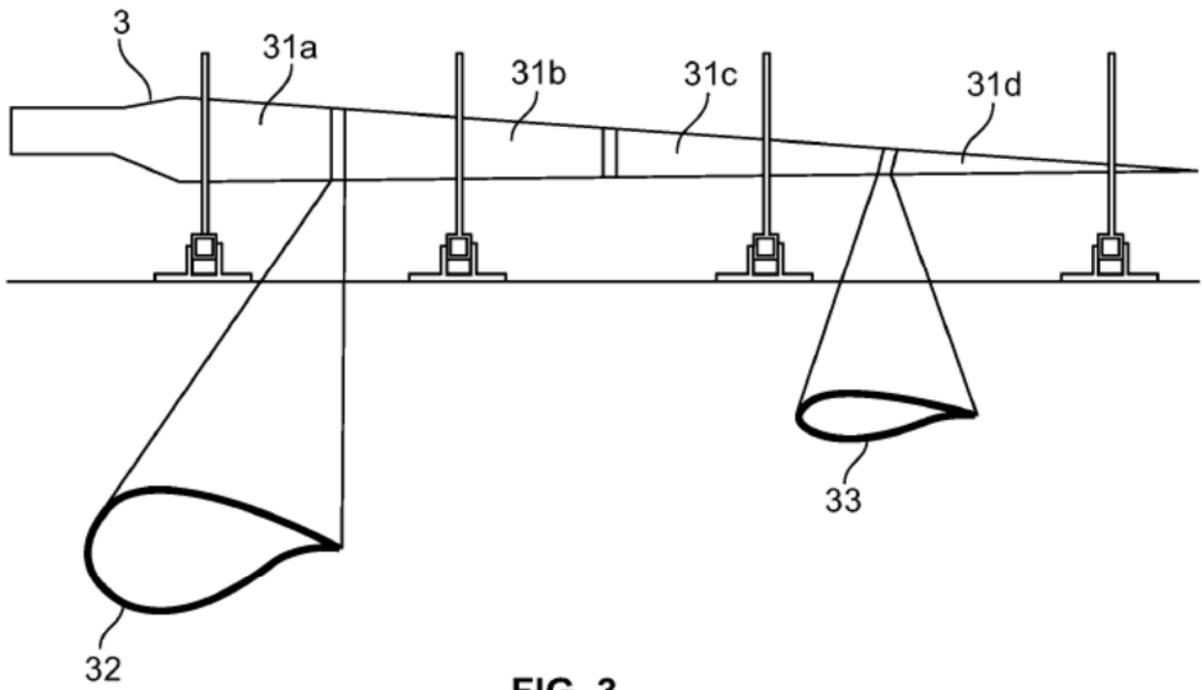


FIG. 3

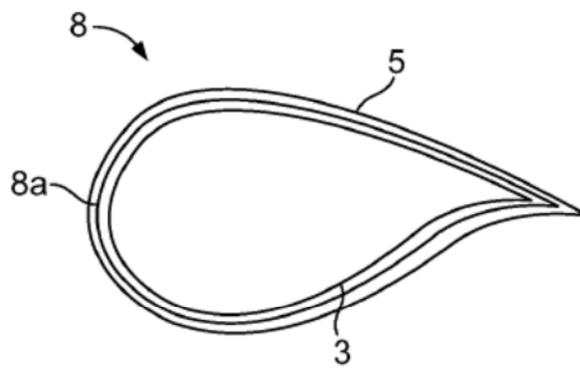


FIG. 4

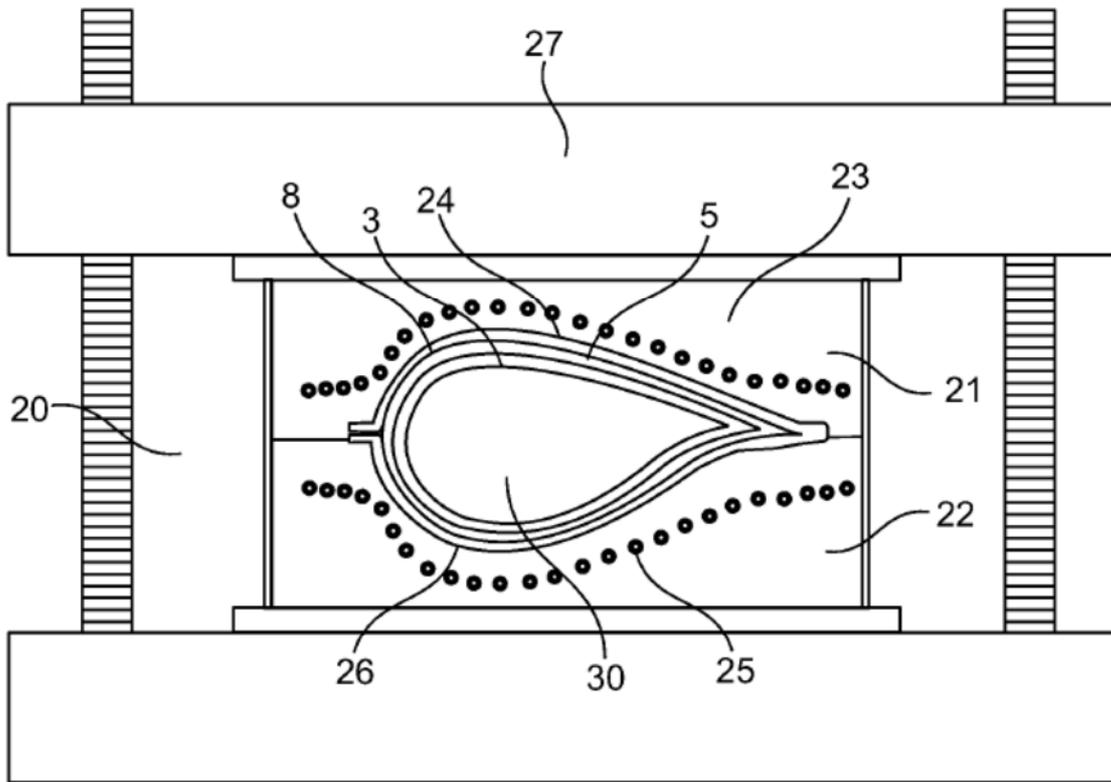


FIG. 5

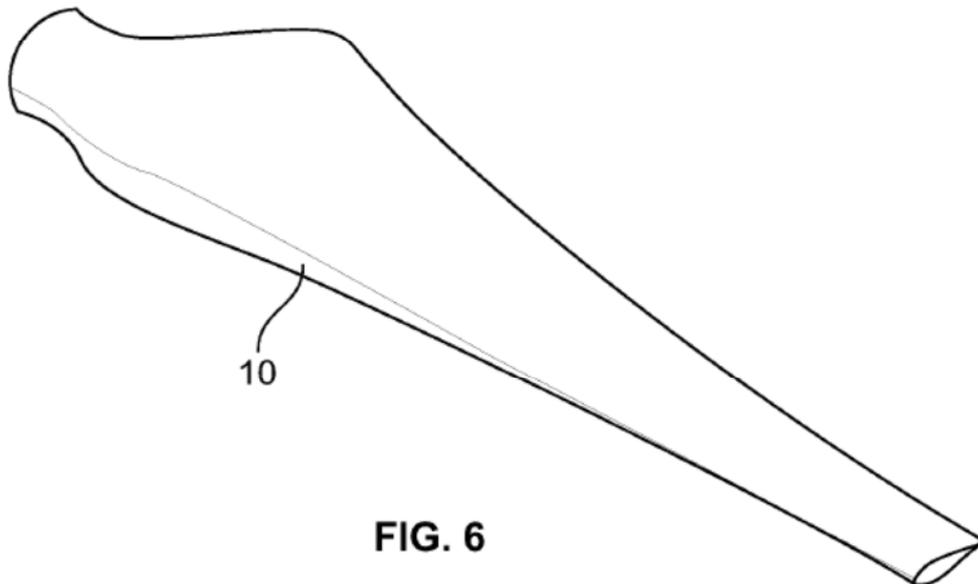


FIG. 6