

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 632 058**

51 Int. Cl.:

**B24B 9/20** (2006.01)

**B24B 19/14** (2006.01)

**B24B 55/02** (2006.01)

**B29C 70/54** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.06.2013 PCT/DK2013/050205**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.01.2014 WO14000742**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.06.2013 E 13731673 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.05.2017 EP 2864079**

54 Título: **Método y aparato para proporcionar un borde con sección decreciente sobre una lámina que comprende un material fibroso**

30 Prioridad:

**25.06.2012 DK 201270360**

**25.06.2012 US 201261663982 P**

**28.01.2013 GB 201301430**

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

**08.09.2017**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**

**Hedeager 42**

**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**BECH, ANTON**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 632 058 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 proporcionar un borde con sección decreciente sobre una lámina que comprende un material fibroso

**Campo técnico**

- 5 La presente invención se refiere a un método y un aparato para proporcionar un borde con sección decreciente sobre una lámina que comprende un material fibroso. El material fibroso con sección decreciente puede usarse para fabricar una pala de turbina eólica.

**Antecedentes**

- 10 Esta invención se refiere a técnicas para biselar hojas o capas, en el presente documento denominados frecuentemente láminas, usadas en estructuras de materiales compuestos, tales como palas de turbina eólica.

- 15 Las estructuras de materiales compuestos comprenden normalmente una o más láminas, en el presente documento también denominadas capas, siendo cada capa una lámina reforzada con fibras que puede comprender una matriz de resina termoplástica o termoendurecible. Las fibras pueden impregnarse previamente con la matriz como una "material preimpregnado" o la matriz puede impregnarse en una lámina de fibras durante la fabricación de una estructura de material compuesto, por ejemplo durante procedimientos de apilamiento o moldeo por inyección. Alternativamente, la lámina reforzada con fibras puede impregnarse previamente solo en un lado mediante una película de resina, es decir una "semi-impregnación". Como alternativa adicional, el material fibroso puede incrustarse con la resina de matriz de laminado mediante una transferencia asistida por vacío dentro de una pila de material fibroso, por ejemplo tal como en VARTM (moldeo por transferencia de resina asistida por vacío). La resina normalmente usada es una resina termoendurecible, cuya viscosidad se reduce cuando se calienta y posteriormente se aumenta hasta solidificarse, cuando se cura con calentamiento continuado.

- 20 Las capas se disponen frecuentemente una encima de otra en una disposición estratificada o laminada. También son posibles estructuras de materiales compuestos de una sola capa, solapándose capas de un único grosor en sus bordes. Las capas pueden estar soportadas por un núcleo de espuma para definir una piel sobre o alrededor del núcleo, por ejemplo para proporcionar una estructura de tipo sándwich.

- 25 En palas de turbina eólica, la estructura suele tener secciones decrecientes tanto en la dirección de la envergadura desde la raíz de la pala hasta la punta de la pala como en la dirección de la cuerda. Para lograr esto, algunas capas pueden terminarse o "caer" hacia dentro de un extremo de la estructura, dejando que otras capas continuas se extiendan adicionalmente hacia ese extremo. Sin embargo, tales caídas de capas pueden provocar debilidad en el laminado, provocando a su vez daño tal como deslaminación o grietas. El biselado del borde es útil para enderezar la trayectoria de carga y maximizar el área superficial de la superficie de contacto entre capas. Esto permite que se usen capas más gruesas, lo que facilita el proceso de apilamiento porque se requieren entonces menos hojas en el laminado para lograr un grosor global requerido.

- 30 Las capas para su uso en estructuras de materiales compuestos son difíciles de biselar de manera eficaz, precisa y repetitiva, particularmente con el ángulo de sección decreciente llano que es deseable para maximizar el área superficial de la superficie de contacto del borde. Las capas son flexibles y compresibles y de ese modo tienden a moverse de manera impredecible bajo las fuerzas aplicadas mediante el proceso de biselado. Además, las capas pueden degradarse con el calor generado por el proceso de biselado. Éste es un problema particular de los materiales preimpregnados, si la matriz se cura o se transforma de otra manera con calor. Por ejemplo, el calor generado durante el biselado puede provocar que la matriz termoplástica se ablande o se funda y obstruya la herramienta de biselado. Si la matriz se ablanda o se funde, también es posible que la herramienta de biselado arrastre la capa de manera impredecible, deformándola posiblemente y de ese modo socavando la precisión de corte.

- 35 Algunos ejemplos de herramientas para producir una sección decreciente en las capas se dan a conocer en el documento EP1786617. Éstas incluyen cuchillas de dedos similares a máquinas cortapelo, pero las cuchillas de dedos no son adecuadas para cortar materiales preimpregnados en los que las fibras están incrustadas en una matriz ya que la integración estrecha de las fibras en una capa preimpregnada impide que los dedos penetren entre las fibras. Además, en láminas de fibra seca, en las que las fibras se mantienen juntas, por ejemplo mediante cosido, y están orientadas en diversos ángulos, se impediría que los dedos penetraran entre las fibras. El documento EP1786617 también da a conocer fresas con caras inclinadas, que giran alrededor de un eje ortogonal a un plano que contiene el borde en el que está produciéndose una sección decreciente. Cuando se configura tal como se muestra en el documento EP1786617, las fresas confieren calor a una capa preimpregnada que puede degradar la capa y fundir su matriz; éste es también un problema sufrido por otras técnicas de abrasión, que usan esmeriladora de cinta o similar. Además, en una capa de fibras secas, cuando se configura tal como se muestra en el documento EP1786617, las fresas confieren una fuerza lateral a la capa, paralela al borde con sección decreciente, que tiende a deformar la capa, y las fibras individuales en la misma, y de ese modo se socava la precisión de corte.

- 55 El documento WO2012013193 da a conocer una técnica en la que se sujeta una capa preimpregnada entre bloques

de acero refrigerados, se dispone una muela abrasiva para que se traslade a lo largo de un borde libre de la capa para eliminar material de dicho borde para crear un bisel, y se dispone una boquilla que suministra refrigerante para que se mueva en tándem con la muela abrasiva. Aunque ésta es una técnica prometedora, todavía puede mejorarse, en particular para facilitar la fabricación a gran escala, por ejemplo de palas de turbina eólica. Por tanto, existe la necesidad de un procedimiento para biselar los bordes de láminas de material fibroso de una manera controlada y con una calidad constante adecuada para la fabricación de palas en grandes números.

### Sumario

Un objeto de la invención es proporcionar una técnica para biselar los bordes de láminas de material fibroso de una manera controlada y con una calidad constante adecuada para la fabricación a gran escala, por ejemplo de palas de turbina eólica. Otro objeto de la invención es facilitar la reducción del riesgo de caídas de capas que provocan debilidad en laminadas en palas de turbina eólica.

Estos objetos se logran con un método para proporcionar un borde con sección decreciente sobre una lámina que comprende un material fibroso, según la reivindicación 1.

El material fibroso puede ser de cualquier tipo adecuado para una pala de turbina eólica, tal como Triax, Biax tejido o estratificado, unidireccional, etc. Además, las fibras pueden ser de cualquier tipo, por ejemplo vidrio, carbono, etc. La sustancia en la que se incrusta el material fibroso significa la sustancia en la que se impregna el material fibroso.

La invención proporciona que la sustancia se mantenga sólida al tiempo que se mecaniza con el dispositivo de mecanizado, de modo que una parte del primer borde se elimina por mecanizado, creando una sección decreciente, sin el riesgo de que la sustancia contamine cualquier parte del dispositivo de mecanizado. La lámina puede comprender un material preimpregnado en donde la sustancia es la resina de matriz. Debido a la pegajosidad normal del material preimpregnado, es especialmente difícil mecanizar sin que las herramientas queden cubiertas con el material de resina. Esto se evita cuando la resina se mantiene sólida según la invención. Además, el mecanizado tiende a introducir calentamiento debido a fricción y fuerzas de desgarro, pero la invención contrarrestará este fenómeno. Por tanto, cuando la sustancia es una resina, puede producirse una sección decreciente en el primer borde sin el riesgo de que la resina se dañe o comience a curar durante el mecanizado.

Tal como se ejemplifica a continuación, la sustancia también podría comprender o ser agua, por ejemplo agua desmineralizada, para su uso durante la producción de una sección decreciente en capas de fibras secas, en donde el agua se proporciona temporalmente para estabilizar las fibras durante el mecanizado, por ejemplo el agua funcionará como portador para facilitar el esmerilado de las fibras secas, puesto que el agua se mantiene congelada al tiempo que se mecaniza. Esto hace posible que se fabriquen secciones decrecientes precisas. Por supuesto, la sustancia debe proporcionarse a la lámina antes de que la sustancia pase por el dispositivo de congelación. La impregnación puede realizarse en una estación de impregnación aguas arriba del dispositivo de enfriamiento, y preferiblemente, la impregnación con agua se realiza solo en los bordes de la lámina, a lo largo de los cuales está llevándose a cabo el mecanizado de una sección decreciente. Alternativamente, cuando la lámina se proporciona como una banda en un rollo, el agua puede proporcionarse mientras que la banda está todavía sobre el rollo, por ejemplo sumergiendo todo el rollo en agua, o vertiendo agua sobre el rollo.

Preferiblemente, el enfriamiento del primer borde se lleva a cabo simultáneamente a medida que se mueve la lámina por un dispositivo de congelación. La lámina se dispone preferiblemente para que esté plana horizontalmente, y con el primer borde paralelo a la dirección de movimiento de la lámina, a medida que la lámina pasa por los dispositivos de congelación y mecanizado. Puesto que la lámina se mueve durante dichas etapas del método, el dispositivo de congelación y el dispositivo de mecanizado pueden ser estacionarios. Esto a su vez permite la fabricación a gran escala puesto que es posible el procesamiento de láminas muy largas. Por ejemplo, la lámina puede ser una banda proporcionada como un rollo de material, y la lámina puede desenrollarse del rollo a medida que se llevan a cabo las etapas de movimiento de la lámina por el dispositivo de congelación y el dispositivo de mecanizado. La lámina puede moverse entonces de manera continua desde el rollo y por el dispositivo de congelación y el dispositivo de mecanizado. Esto significa, por supuesto, que en cualquier momento dado en el tiempo durante el procedimiento, la sustancia no será sólida en una parte del primer borde que no ha alcanzado aún el dispositivo de congelación, y la sustancia será sólida en una parte del primer borde que se mecaniza mediante el dispositivo de mecanizado. Para que quede claro: La sustancia es sólida a partir del enfriamiento usando el dispositivo de congelación, mientras que la sustancia pasa por el dispositivo de mecanizado.

La sustancia que está en un estado no sólido a temperatura ambiente, en particular a 20 grados Celsius, significa que está por encima de su temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ); está entonces por ejemplo en un estado fluido o semifluido. Cuando se enfría, la sustancia se vuelve sólida, lo que significa en este caso que está por debajo de su temperatura de transición vítrea. Más generalmente, la sustancia tiene una primera viscosidad a una primera temperatura, en particular temperatura ambiente, por encima de la temperatura de transición vítrea de la sustancia, y una segunda viscosidad a una segunda temperatura, por debajo de la temperatura de transición vítrea de la sustancia. En particular, la primera viscosidad corresponde a un estado sólido de la sustancia, y la segunda viscosidad corresponde a un estado no sólido de la sustancia.

- Para casos en los que la sustancia es una resina epoxídica, la temperatura de transición vítrea de la resina epoxídica no curada varía algo dependiendo del tipo de resina usada. El mantenimiento de la temperatura de la resina por debajo de su temperatura de transición vítrea no curada durante la producción de la sección decreciente (biselado) de la lámina garantiza que la resina permanece dura durante el proceso de biselado. La temperatura de transición vítrea de la resina no curada también puede denominarse en la técnica "T<sub>g</sub> fría" o "T<sub>g</sub> no curada", y es una propiedad intrínseca de la resina que variará de un material a otro. Dicho de manera sencilla, la T<sub>g</sub> fría/no curada es la temperatura de transición vítrea de una matriz que ha reaccionado a temperatura ambiental, y por tanto presenta un grado relativamente bajo de reticulación. Para resinas epoxídicas los valores de T<sub>g</sub> no curada típicos pueden ser de entre -15°C y +5°C. Para resinas epoxídicas de bisfenol A semisólidas para el material preimpregnado, la T<sub>g</sub> fría/no curada es a menudo de alrededor de -2°C. Una resina comercializada por Hexcel Composites como HexPly® M9.6G tiene una T<sub>g</sub> no curada de +2°C. A medida que la matriz envejece, se producirá algo de reticulación adicional, provocando que la T<sub>g</sub> fría aumente ligeramente con el tiempo. En comparación, cuando se cura una matriz a una temperatura elevada, presentará un grado relativamente alto de reticulación, dando como resultado que la matriz curada tenga una T<sub>g</sub> mucho más alta, normalmente muy por encima de 100°C.
- El método comprende calentar una superficie abrasiva del dispositivo de mecanizado de modo que, durante la etapa de mecanizado, está a una temperatura por encima de la temperatura ambiente. El calentamiento del dispositivo de mecanizado, en el caso de que la sustancia sea una resina epoxídica de modo que la lámina forma una capa preimpregnada, impedirá que la resina epoxídica contamine el dispositivo de mecanizado. La resina epoxídica, que es un polímero termoendurecible, podría ser por ejemplo una resina epoxídica de bisfenol A o una resina epoxídica de bisfenol F. El motivo de que se evite la contaminación es que la resina epoxídica obtendrá una viscosidad baja a partir del calentamiento, y en este estado, la resina epoxídica no podrá acumular ninguna cantidad significativa de depósitos sobre la superficie abrasiva del dispositivo de mecanizado. En su lugar la superficie abrasiva permanecerá húmeda y limpia de depósitos. Tal como se describe en más detalle a continuación, puede usarse el calentamiento por inducción para calentar la superficie abrasiva.
- Cuando la sustancia es una resina epoxídica, la etapa de calentamiento de la superficie abrasiva puede comprender calentar la superficie abrasiva de modo que, durante la etapa de mecanizado, está a una temperatura por encima de 30 grados Celsius, preferiblemente por encima de 40 grados Celsius, más preferiblemente por encima de 50 grados Celsius, y aún más preferiblemente al menos 60 grados. De ese modo, la superficie abrasiva, y por tanto la resina, pueden calentarse de modo que, durante la etapa de mecanizado, está a una temperatura por encima de un intervalo de temperatura en el que la resina epoxídica es semisólida. Cuando la sustancia es una resina epoxídica, la etapa de calentamiento de la superficie abrasiva puede comprender calentar la superficie abrasiva de modo que, durante la etapa de mecanizado, está a una temperatura por debajo de una temperatura de comienzo del curado de la resina epoxídica, por ejemplo por debajo de 100 grados Celsius, o por debajo de 80 grados Celsius. Por ejemplo, dicha resina epoxídica comercializada por Hexcel Composites como HexPly® M9.6G tiene una temperatura de comienzo del curado de 80°C, (ciclo de curado de 80 - 120°C), y cuando esta resina constituye la sustancia de la lámina que va a mecanizarse, la superficie abrasiva se calienta adecuadamente de modo que está a alrededor de 60 grados Celsius.
- Debe mencionarse que la invención puede aplicarse a capas preimpregnadas, pero no solamente a aquellas con resinas epoxídicas, sino también a capas preimpregnadas con cualquier otro tipo de resina adecuada para preimpregnación, tal como una resina fenólica.
- Preferiblemente, el dispositivo de mecanizado comprende una primera muela abrasiva giratoria que presenta la superficie abrasiva, y la etapa de calentar la superficie abrasiva comprende calentar la muela abrasiva de modo que, durante la etapa de mecanizado, está a una temperatura por encima de la temperatura ambiente. El uso de una muela abrasiva calentada ha demostrado tener éxito en ensayos realizados por el inventor. Alternativamente, la superficie abrasiva podría presentarla algún otro tipo de dispositivo de mecanizado, por ejemplo una esmeriladora de cinta. De manera más general, el dispositivo de mecanizado puede comprender un medio abrasivo que se calienta de modo que, durante la etapa de mecanizado, está a una temperatura por encima de la temperatura ambiente.
- En algunas realizaciones, sólo se produce una sección decreciente en el primer borde. Sin embargo, ventajosamente, la sustancia en la que se incrusta el material fibroso puede proporcionarse también en un segundo borde de la lámina, ubicado opuesto al primer borde. El segundo borde puede ser de ese modo paralelo al primer borde. El método puede comprender entonces adicionalmente enfriar el segundo borde usando el dispositivo de congelación, de modo que la sustancia en el segundo borde se solidifique, y mecanizar, durante la etapa de movimiento de la lámina por el dispositivo de mecanizado, el segundo borde con el dispositivo de mecanizado, para proporcionar un segundo borde con sección decreciente.
- La producción de una sección decreciente en los bordes tanto primero como segundo de dicha manera es particularmente adecuada para dicha disposición en la que la lámina es una banda proporcionada como un rollo de material, y la lámina se desenrolla del rollo a medida que se llevan a cabo las etapas de mover la lámina por el dispositivo de congelación y el dispositivo de mecanizado. Los bordes primero y segundo podrían ser entonces los bordes longitudinales de la banda. La lámina puede moverse entonces por medio de un dispositivo de impulsión, es decir una unidad motriz, ubicada aguas abajo del dispositivo de congelación y el dispositivo de mecanizado, dispositivo de impulsión que tira de la lámina para desenrollarla del rollo y para que pase por el dispositivo de

congelación y el dispositivo de mecanizado. Alternativamente un transportador puede portar y mover simultáneamente el material por el dispositivo de congelación y el dispositivo de mecanizado. En ambos ejemplos, la lámina se movería de manera continua por el dispositivo de congelación y el dispositivo de mecanizado.

5 El dispositivo de congelación podría comprender una unidad para los bordes tanto primero como segundo o unidades separadas para los bordes primero y segundo. Preferiblemente, el dispositivo de congelación presenta una primera cavidad de enfriamiento que encierra el primer borde, y opcionalmente una segunda cavidad de enfriamiento que encierra el segundo borde. Cada cavidad de enfriamiento puede proporcionarse de cualquier modo apropiado, por ejemplo como una cámara o un canal. Tal como se ejemplifica a continuación, el dispositivo de congelación puede comprender un enfriador con un compresor conectado a un evaporador, y conductos que conectan el evaporador a la cavidad de enfriamiento. Alternativamente, el dispositivo de congelación podría estar dispuesto para distribuir un refrigerante directamente sobre el primer borde. Por ejemplo, puede bombearse y pulverizarse sobre la lámina un refrigerante de tetrafluoroetano. Por supuesto se apreciará que pueden usarse otros refrigerantes adecuados para este fin, por ejemplo nitrógeno líquido o dióxido de carbono líquido. Preferiblemente, el primer borde, y la sustancia en el mismo, se enfrían hasta una temperatura adecuada, por ejemplo -50°C.

15 La etapa de mecanizado puede implicar cualquier proceso de eliminación de material y de sustancia conocido, incluyendo corte, cizalladura, abrasión, aserrado, molienda y/o corte por ultrasonidos. El dispositivo de mecanizado podría comprender unidades de corte o abrasión separadas para los bordes primero y segundo. Preferiblemente, el dispositivo de mecanizado comprende una primera muela abrasiva, y la etapa de mecanizado del primer borde comprende mecanizar el primer borde con la primera muela abrasiva. La primera muela abrasiva podría ser una herramienta recubierta con diamante, de alta velocidad, que proporciona un impacto de alta velocidad a las fibras individuales. A baja velocidad las fibras individuales tienden a cortarse por abrasión individual, y esto tiende a moverlas durante el proceso. Como resultado, el corte final del material puede ser difícil de controlar y se desviará de la forma de sección decreciente deseada. El corte de las fibras individuales con impacto en vez de abrasión de las mismas permite que el corte se realice sin que las fibras individuales se muevan durante el proceso de corte. De ese modo, es posible obtener una sección decreciente sin deformación de la sustancia y el material fibroso no eliminado.

20 Preferiblemente, cuando la lámina es una banda proporcionada como un rollo de material, la lámina se corta de manera sustancialmente transversal a una dirección longitudinal de la banda, (o transversalmente a la dirección de movimiento de la lámina), para dar secciones de lámina, usando un dispositivo de corte dispuesto aguas abajo del dispositivo de mecanizado. Preferiblemente, los cortes se realizan para adaptarse a la forma de un molde para una pala de turbina eólica. Por tanto, pueden colocarse una pluralidad de secciones de lámina en un molde de vaina de pala de turbina eólica, de modo que las secciones de lámina se extienden transversalmente en el molde con el primer borde con sección decreciente orientado en la dirección de la cuerda de una pala que incluye las secciones de lámina. Por tanto, las secciones de lámina se colocan en el molde de modo que se extienden desde un borde de ataque hasta un borde de salida de la pala. De ese modo, tal como se ejemplifica a continuación, los bordes con sección decreciente de las secciones de lámina también se extenderán en la dirección de la cuerda de la pala, y preferiblemente las láminas se colocan de modo que se solapan parcialmente para proporcionar uniones estructuralmente estables entre ellas.

30 Se definen unas realizaciones del método según la reivindicación 1 en las reivindicaciones dependientes 2-9 y en la descripción detallada a continuación.

Además, los objetos se logran con un aparato para proporcionar un borde con sección decreciente sobre una lámina que comprende un material fibroso, según la reivindicación 10. La lámina está dotada, al menos en un primer borde de la lámina, de una sustancia en la que se incrusta el material fibroso, sustancia que está en un estado no sólido a temperatura ambiente, en particular a 20 grados Celsius,

45 - comprendiendo el aparato un dispositivo de congelación y estando adaptado para mover la lámina por el dispositivo de congelación, estando adaptado el dispositivo de congelación para enfriar el primer borde de modo que la sustancia en el primer borde se vuelve sólida,

50 - comprendiendo el aparato que comprende un dispositivo de mecanizado y estando adaptado para mover la lámina por el dispositivo de mecanizado, dispositivo de mecanizado que está adaptado para mecanizar, a medida que la lámina se mueve por el dispositivo de mecanizado y mientras que la sustancia es sólida a partir del enfriamiento del dispositivo de congelación, el primer borde para proporcionar un primer borde con sección decreciente.

El aparato comprende un dispositivo de calentamiento adaptado para calentar una superficie abrasiva del dispositivo de mecanizado de modo que, cuando se mecaniza el primer borde, está a una temperatura por encima de la temperatura ambiente.

55 En algunas realizaciones, el dispositivo de congelación presenta una primera cavidad de enfriamiento adaptada para encerrar el primer borde. Alternativamente, o además, el dispositivo de congelación puede presentar un conducto de refrigerante líquido adaptado para portar un líquido y para extenderse a lo largo del primer borde. Por tanto, el dispositivo de congelación podría incluir un sistema para un líquido, tal como salmuera, que se bombea a través del

5 conducto de refrigerante líquido, que enfría el conducto que a su vez enfría el primer borde. Tal como se ejemplifica a continuación, el dispositivo de congelación puede presentar un primer conducto de refrigerante líquido y un segundo conducto de refrigerante líquido, ambos adaptados para portar un líquido y para extenderse a lo largo del primer borde, en el que el conducto de refrigerante líquido primero y segundo están ubicados en lados opuestos del primer borde.

10 Alternativamente o además, el dispositivo de congelación puede presentar un enfriador termoeléctrico, tal como un enfriador de Peltier, ubicado en el primer borde. Tal como se ejemplifica a continuación, el dispositivo de congelación puede presentar un primer enfriador termoeléctrico y un segundo enfriador termoeléctrico, ambos ubicados en el primer borde, en el que los enfriadores termoeléctricos primero y segundo están ubicados en lados opuestos del primer borde. De ese modo, los enfriadores termoeléctricos primero y segundo pueden combinarse con los conductos de refrigerante líquido primero y segundo, o la primera cavidad de enfriamiento, para proporcionar un dispositivo de congelación con una disposición de enfriamiento por fases. De ese modo la lámina podría pasar por una primera fase con sólo los conductos de refrigerante líquido primero y segundo, o la primera cavidad de enfriamiento, y posteriormente la lámina podría pasar por una segunda fase adyacente con los enfriadores termoeléctricos y los conductos de refrigerante líquido primero y segundo, o la primera cavidad de enfriamiento. En una disposición de este tipo, la primera fase podría llevar la temperatura del primer borde hasta una primera temperatura, y la segunda fase podría llevar la temperatura del primer borde hasta una segunda temperatura que es considerablemente menor que la primera temperatura.

20 Se definen unas realizaciones adicionales del aparato según la reivindicación 10 en las reivindicaciones dependientes 11-15 y en la descripción detallada a continuación.

25 En algunos aspectos, el método de la invención puede comprender la etapa de proporcionar la sustancia a la lámina. Debe indicarse que cuando se pone en práctica el método según este aspecto de la invención, la lámina puede moverse por el dispositivo de mecanizado, o la lámina puede estar estacionaria y soportada de manera adecuada, mientras que el dispositivo de mecanizado se mueve durante la etapa de mecanizado. Si la lámina se mueve, puede proporcionarse un procedimiento continuo, en el que, en un momento dado, algo de la sustancia en el primer borde no se enfría, y por tanto no es sólida, y otra parte del primer borde es sólido a partir de la etapa de enfriamiento.

30 En algunos aspectos, los objetos de la invención también pueden lograrse con un aparato para proporcionar un borde con sección decreciente sobre una lámina que comprende un material fibroso, comprendiendo el aparato un dispositivo de mecanizado y estando adaptado para mover la lámina por el dispositivo de mecanizado, dispositivo de mecanizado que comprende una primera muela abrasiva giratoria adaptada para mecanizar, a medida que la lámina se mueve por el dispositivo de mecanizado, un primer borde de la lámina para proporcionar un primer borde con sección decreciente, en el que la primera muela abrasiva tiene una superficie abrasiva cilíndrica que está dispuesta de modo que una parte de la superficie abrasiva cilíndrica, que está en contacto temporal con la lámina durante el mecanizado del primer borde, se mueve en una dirección que tiene una componente que está apuntando en el sentido opuesto a la lámina.

40 El contacto temporal de la porción de la superficie abrasiva cilíndrica con la lámina es por supuesto un resultado de la rotación de la muela abrasiva. Dicha porción de superficie abrasiva aparece localmente en una región de contacto entre la superficie abrasiva y la lámina. El movimiento, provocado por la rotación de la muela abrasiva, de dicha porción en el que se aleja de la lámina proporciona el movimiento del polvo de abrasión en una dirección en la que se aleja de la lámina, lo que facilita que la lámina esté libre de contaminación y acumulación de material de abrasión.

45 Preferiblemente, la superficie abrasiva cilíndrica tiene un eje de rotación que está orientado en un ángulo con respecto a una dirección de desplazamiento de la lámina por el dispositivo de mecanizado, ángulo que es mayor de 0 grados y menos de 90 grados, preferiblemente 10-80 grados. Preferiblemente, para dotar al primer borde de una sección decreciente, el eje de rotación de la superficie abrasiva está orientado en un ángulo con respecto a una línea imaginaria, que es transversal a la dirección de desplazamiento de la lámina por el dispositivo de mecanizado, línea imaginaria que también se extiende dentro de un plano de la lámina a medida que pasa por el dispositivo de mecanizado, ángulo que es mayor de 0 grados y menor de 90 grados, preferiblemente 1-30 grados, más preferiblemente 1-15 grados.

50 Se definen unas realizaciones del aparato según algunos aspectos de la invención en la descripción detallada a continuación.

### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra una turbina eólica desde un lado frontal, es decir el lado cara al viento,

55 la figura 2 muestra una vista en perspectiva de un aparato para mecanizar y formar material de tipo lámina fibrosa, en este caso a partir de un rollo, en donde se producen ángulos agudos de sección decreciente a lo largo de los lados del material de tipo lámina,

la figura 2a muestra una vista lateral del aparato en la figura 2,

la figura 2b y la figura 2c muestran secciones transversales de partes del aparato en la figura 2, cortada perpendicularmente a una dirección de transporte de la lámina indicada por una flecha A en la figura 2,

la figura 3 muestra una vista desde arriba de un aparato alternativo para formar un ángulo de sección decreciente en una lámina que comprende material fibroso,

5 la figura 3a muestra una sección transversal de partes del aparato en la figura 3, cortada perpendicularmente a una dirección de transporte de la lámina indicada por una flecha A en la figura 3,

la figura 3b muestra una sección transversal similar a la mostrada en la figura 3a, de partes de un aparato según aún otra realización de la invención,

la figura 3c muestra una vista lateral esquemática del aparato, cuyas partes se muestran en la figura 3b,

10 la figura 4a muestra una vista desde arriba de una parte del aparato en la figura 3,

la figura 4b muestra una sección transversal de la parte en la figura 4a, cortada perpendicularmente a una dirección de transporte de la lámina indicada por una flecha A en la figura 3,

la figura 5 muestra una vista en sección transversal de una parte de un dispositivo de mecanizado del aparato en la figura 3, en donde la sección es paralela a un eje de rotación de una muela abrasiva del dispositivo de mecanizado,

15 la figura 6 muestra una vista desde arriba de un molde de pala de turbina eólica con algo de material colocado en el mismo,

la figura 6a muestra un ángulo agudo que forma una sección decreciente en una pieza de material fibroso,

la figura 6b muestra una unión por solapamiento de sección decreciente formada por dos piezas de material fibroso, teniendo cada una una sección decreciente, y

20 la figura 7 muestra una vista lateral de un aparato según una realización alternativa de la invención.

### Descripción detallada

La figura 1 ilustra una turbina eólica 1. La turbina eólica comprende una torre de turbina eólica 2 sobre la que está montada una góndola de turbina eólica 3. Un rotor de turbina eólica 4 que comprende al menos una pala de turbina eólica 5 está montado sobre un buje 6. El buje 6 está conectado a la góndola 3 a través de un árbol de baja  
25 velocidad (no mostrado) que se extiende desde el frente de la góndola. La turbina eólica ilustrada en la figura 1 puede ser un modelo pequeño destinado a uso doméstico o de servicio ligero, o puede ser un modelo grande, tal como los que se usan en la generación de electricidad a gran escala o en un parque eólico por ejemplo. En el último caso, el diámetro del rotor podría ser tan grande como 100 metros o más.

La figura 2 muestra un aparato 26 para formar un ángulo de sección decreciente en una lámina 21 que comprende material fibroso para una pala de turbina eólica 4. El material fibroso está al menos parcialmente incrustado en una sustancia. En esta realización, la sustancia es una resina, por ejemplo una resina epoxídica; por tanto la lámina se proporciona en forma de un denominado material preimpregnado. Uno de los problemas encontrados en este caso es formar un ángulo agudo sin deformar la lámina 21 o el material fibroso, ya que un propósito de la sección decreciente es usarla como parte de una unión por solapamiento de la sección decreciente 23 tal como se muestra  
35 en la figura 6b.

A continuación se describirá el método para usar el aparato 26 para proporcionar el borde con sección decreciente sobre la lámina que comprende el material fibroso. La lámina 21 se proporciona como una banda y se tira de la misma desde un rollo 18 de material fibroso prefabricado, y se mueve mientras que se llevan a cabo las etapas descritas a continuación.

La lámina 21 está dotada de la sustancia en la que se incrusta el material fibroso, al menos en un primer borde 211 y un segundo borde 212 de la lámina, sustancia que está en un estado no sólido a temperatura ambiente, en particular a 20 grados Celsius. La lámina 21 se mueve por un dispositivo de congelación formado por dos secciones de congelación 17, en comunicación con un enfriador 20, descrito en más detalle a continuación. El dispositivo de congelación 17 enfría los bordes primero y segundo 211, 212 de modo que la sustancia en dichos bordes se vuelve  
45 sólida.

Integrado con el dispositivo de congelación 17 está un dispositivo de mecanizado 16, en el presente documento también denominado herramientas 16, descrito en más detalle a continuación. Mientras que la sustancia es sólida a partir del enfriamiento mediante el dispositivo de congelación 17, la lámina 21 se mueve por el dispositivo de mecanizado 16. Los bordes primero y segundo 211, 212 se mecanizan con el dispositivo de mecanizado 16 para proporcionar un primer y un segundo borde con sección decreciente 211a, 212a a partir del primer y el segundo borde 211, 212, respectivamente. Los bordes con sección decreciente se formarán eliminando partes del material fibroso y la sustancia. Las herramientas 16 están dispuestas de modo que los bordes con sección decreciente  
50

forman ángulos agudos de entre 1 y 15 grados con respecto al plano de la lámina 21. Cuando el dispositivo de mecanizado 16 está integrado con el dispositivo de congelación 17, el mecanizado puede realizarse mientras que la sustancia se mantiene solidificada mediante el dispositivo de congelación 17 que actúa a lo largo de los bordes primero y segundo. Alternativamente, el dispositivo de mecanizado 16 puede estar separado de, y ubicado aguas abajo del dispositivo de congelación 17, mediante lo cual las etapas de congelación y mecanizado se realizan secuencialmente.

Tal como puede observarse en la figura 2a, para mover la lámina 21, el aparato 21 está dotado de un dispositivo de impulsión 11 en forma de un dispositivo de arrastre 11 ubicado aguas abajo de las secciones de congelación 17 y las herramientas 16, (indicadas simbólicamente en la figura 2a con un rectángulo con líneas discontinuas). El dispositivo de arrastre 11 arrastra y hace avanzar la lámina 21 alejándose del rollo 18 y por las secciones de congelación 17 y las herramientas 16, en una dirección de transporte de lámina indicada por las flechas A en las figuras 2 y 2a. Se proporciona una estructura de soporte 27 con una superficie de soporte 271 para portar la lámina 21. La superficie de soporte 271, preferiblemente una superficie de metal, soportará la lámina después de que se haya retirado del rollo 18 y mientras que se mueve por el dispositivo de congelación 17 y el dispositivo de mecanizado 16. Por supuesto, como alternativa al rollo 18, el material fibroso podría proporcionarse en varias láminas alimentadas individualmente a través del aparato 26. Como alternativa al dispositivo de arrastre 11, la(s) lámina(s) 21 podría(n) transportarse por las herramientas 16 y las secciones de congelación 17 mediante un dispositivo de impulsión en forma de un transportador (no mostrado), un transportador de cinta o cadena, integrado en la estructura de soporte 27.

Tal como puede observarse en la figura 2, el enfriador comprende un compresor 201 conectado a un evaporador 202. Las secciones de congelación 17 comprenden elementos alargados que se extienden a lo largo de porciones de los bordes de la estructura de soporte 27 (figura 2a) para encerrar los bordes 211, 212 de la lámina 21. La figura 2b muestra una sección transversal de una de las secciones de congelador con una porción de la estructura de soporte 27 que presenta la superficie de soporte 271 para la lámina 21. La sección de congelador 17 tiene una sección transversal en forma de C en donde el extremo distal inferior de la "C" está montado en la estructura de soporte 27. La sección de congelador 17 presenta por tanto una cavidad de enfriamiento mediante lo cual está diseñada para encerrar gas, por ejemplo aire, frío para enfriar el borde 211 de la lámina 21. El extremo distal superior de la sección de congelador presenta un labio 171, preferiblemente de un material elástico tal como caucho o en forma de un cepillo, que sella el interior de la sección de congelador 17. El labio está en contacto en su extremo distal con la lámina.

Los conductos 203a, 203b conectan el evaporador a la sección de congelación 17, y se proporciona un ventilador 204 para hacer circular el gas desde el evaporador 202 hasta las secciones de congelación 17 y de vuelta hasta el evaporador 202. El respectivo conducto 203a que transporta gas a la respectiva sección de congelación 17 está conectado a la sección de congelación 17 en una ubicación que está a una distancia desde una ubicación de una conexión entre la sección de congelador 17 y el respectivo conducto 203b que transporta el gas alejándolo de la sección de congelador 17. Esto permite que se mueva el gas frío internamente en las secciones de congelador a lo largo del borde de lámina 211 que va a enfriarse.

Tal como puede observarse en la figura 2b, la estructura de soporte 27 puede estar dotada de uno o más canales de enfriamiento internos 272, que pueden aplicar el efecto de enfriamiento en el borde de lámina 211. Los canales de enfriamiento pueden comunicarse con los conductos 203a, 203b para recibir y evacuar el gas de enfriamiento.

El dispositivo de mecanizado 16 comprende dos herramientas de abrasión 161, (una de las cuales puede observarse en la figura 2c), una para cada uno de los bordes primero y segundo 211, 212. Cada herramienta de abrasión 161 es una herramienta giratoria con una muela abrasiva que presenta una superficie de abrasión cilíndrica. El eje de rotación de la herramienta 161 está orientado en paralelo con la dirección de transporte de la lámina, (indicada por la flecha A en la figura 2). La dirección de la rotación, indicada con la flecha B en la figura 2c, es tal que la parte inferior de la superficie de la herramienta, en contacto con la lámina 21, se mueve alejándose de una parte interna de la lámina.

En realizaciones alternativas, el eje de rotación de la herramienta 161 está orientado perpendicular a la dirección de transporte de la lámina. En tales realizaciones, cuando la superficie de abrasión de la muela abrasiva es cilíndrica, el eje de rotación puede estar orientado en un ángulo con respecto al plano de la lámina, el ángulo que corresponde al ángulo de la sección decreciente de la lámina que va a obtenerse. Alternativamente, cuando el eje de rotación de la herramienta está orientado perpendicular a la dirección de transporte de la lámina, puede estar orientado en paralelo con el plano de la lámina, y la sección decreciente de la lámina puede obtenerse mediante la superficie de abrasión de la muela abrasiva que tiene la forma de un cono truncado.

Tal como puede observarse en la figura 2c, cada herramienta de abrasión 161 está alojada en una respectiva carcasa de herramienta 162, que se comunica con la respectiva sección de congelación 17 y el respectivo conducto 203a que transporta el gas frío desde el evaporador 202. La carcasa de herramienta 162 está diseñada para encerrar el gas frío para enfriar el borde 211 de la lámina 21 mientras que se mecaniza. Un borde de la carcasa de herramienta 162 presenta un labio 162a, preferiblemente de un material elástico tal como caucho o en forma de un cepillo, que sella el interior de la carcasa de herramienta 162. El labio está en contacto en su extremo distal con la

lámina 21.

Tal como puede observarse en la figura 2c, en esta realización, el canal de enfriamiento interno 272, descrito anteriormente con referencia a la figura 2b, se extiende hacia el interior de la región del dispositivo de mecanizado.

5 La lámina 21 con el material fibroso y la sustancia puede mecanizarse esencialmente sin deformación del material y la sustancia no eliminados. Esto puede obtenerse proporcionando las herramientas 161 como herramientas de alta velocidad que tienen una cara de corte con un recubrimiento de diamante. Una herramienta de este tipo cortaría las fibras individuales mediante impacto en vez de abrasión, mediante lo cual el riesgo de que las fibras se muevan mientras se cortan se reduce o se elimina.

10 En comunicación con la carcasa de herramienta 162 está un extractor de polvo 19, que incluye un ventilador y extrae el gas de la carcasa de herramienta 162 para eliminar el polvo obtenido mediante el mecanizado. El extractor de polvo está dotado de un filtro, a su vez proporcionado por un rollo de filtro 15 dispuesto para suministrar material de filtro nuevo. El material de filtro atraparé partículas hasta un determinado tamaño. En la figura 2, el extractor de polvo 19 se muestra emitiendo el gas extraído a la atmósfera. Como alternativa, el extractor de polvo 19 podría comunicarse con el evaporador 202, de modo que el aire evacuado desde la carcasa de herramienta, y que pasó a través del filtro, se devuelve al circuito para enfriarse de nuevo y descargarse a las secciones de congelación 17 y la carcasa de herramienta 162.

Tal como puede observarse en la figura 2, un dispositivo de inspección de la calidad 12, que podría proporcionarse como un sensor de muela dentada o una cámara óptica, puede estar dispuesto tras el dispositivo de mecanizado 16 para verificar el resultado del mecanizado.

20 Se hace referencia a las figuras 2 y 3. Aguas abajo del dispositivo de arrastre 11 está una cuchilla 14, dispuesta para cortar la lámina 21 para dar secciones 21a adaptadas para ubicaciones particulares en un molde de vaina de pala de turbina eólica (no mostrado). Las secciones de lámina 21a podrían estar dispuestas tal como se describe en la solicitud de patente internacional n.º PCT/DK2012/050261 presentada por el solicitante. Por ejemplo, las secciones de láminas 21a pueden cortarse de modo que se obtenga una extensión longitudinal y una extensión lateral que es más corta que la extensión longitudinal, y pueden disponerse en el molde de pala de manera que están situadas longitudinalmente en una dirección correspondiente a la dirección de la cuerda del molde de pala y solapándose en una dirección de la envergadura. En comparación con el apilamiento de las láminas de material fibroso de una manera tradicional, con su extensión longitudinal en la dirección de la envergadura de la pala, una pila de láminas de material fibroso en la dirección de la cuerda de la manera propuesta en el presente documento reduce el desperdicio de material significativamente.

La figura 3 muestra una vista desde arriba de un aparato alternativo para formar un ángulo de sección decreciente en una lámina 21 que comprende material fibroso para una pala de turbina eólica 4. El aparato en la figura 3 tiene características en común con el aparato descrito anteriormente con referencia a la figura 2, pero en este caso se describirán las diferencias importantes.

35 La lámina 21 se mueve por un dispositivo de congelación formado por dos secciones de congelación 17, en comunicación con un enfriador 20. Las secciones de congelación 17 comprenden elementos alargados que se extienden a lo largo de porciones de bordes de la estructura de soporte.

40 La figura 3a muestra una sección transversal de una de las secciones de congelador con una porción de la estructura de soporte 27 que presenta la superficie de soporte para la lámina 21. El dispositivo de congelación presenta un primer conducto de refrigerante líquido 206 y un segundo conducto de refrigerante líquido 207, ambos adaptados para portar un líquido y para extenderse a lo largo del primer borde 211, en el que los conductos de refrigerante líquido primero y segundo están ubicados en lados opuestos del primer borde 211. Por tanto, el dispositivo de congelación incluye un sistema para un líquido, tal como salmuera, que se bombea a través de los conductos de refrigerante líquido 206, 207, que enfría los conductos que a su vez enfría el primer borde 211.

45 La figura 3b y la figura 3c muestran una modificación de la realización en la figura 3. La figura 3b muestra una sección transversal de una de la sección de congelador, similar a la sección transversal en la figura 3a. Tal como puede observarse en la figura 3b, además de los conductos de refrigerante líquido 206, 207, el dispositivo de congelación presenta un primer enfriador termoeléctrico 208 y un segundo enfriador termoeléctrico 209, ambos enfriadores de Peltier. Los enfriadores termoeléctricos primero y segundo 208, 209 están ubicados en lados opuestos del primer borde 211, y entre los respectivos conductos de refrigerante líquido 206, 207 y el primer borde 211.

55 Tal como puede observarse en la figura 3c, los enfriadores termoeléctricos primero y segundo 208, 209 se combinan con los conductos de refrigerante líquido primero y segundo 206, 207 para proporcionar un dispositivo de congelación con una disposición de enfriamiento por fases. De ese modo la lámina 21 pasa por una primera fase de congelador 20A con solo los conductos de refrigerante líquido primero y segundo 206, 207, y posteriormente la lámina pasa por una segunda fase de congelador adyacente 20B con los enfriadores termoeléctricos 208, 209 y los conductos de refrigerante líquido primero y segundo 206, 207. De ese modo, la primera fase de congelador 20A lleva la temperatura del primer borde 211 hasta una primera temperatura, y la segunda fase de congelador 20B lleva

la temperatura del primer borde 211 hasta una segunda temperatura que es considerablemente menor que la primera temperatura.

5 En las realizaciones en la figura 3 y la figura 3c, se proporciona un dispositivo de mecanizado 16 aguas abajo del dispositivo de congelación 17. El dispositivo de mecanizado 16 comprende muelas abrasivas giratorias primera y segunda 1611, 1612, mediante las cuales los bordes primero y segundo 211, 212 se mecanizan para proporcionar un primer y un segundo borde con sección decreciente 211a, 212a. Las muelas abrasivas primera y segunda 1611, 1612 tienen respectivas superficies abrasivas cilíndricas 1611a, 1612a.

10 Tal como puede observarse en la figura 4a, cada superficie abrasiva está dispuesta de modo que, durante la rotación, que está indicada por la flecha P, una porción de la superficie abrasiva cilíndrica está en contacto temporal con la lámina 21 durante el mecanizado del primer borde, se mueve en una dirección indicada por la flecha R en la figura 4a, que tiene una componente que está apuntando en el sentido opuesto a la lámina 21. Este movimiento proporciona que el polvo de la abrasión se mueva en una dirección alejándose de la lámina 21, lo que facilita que la lámina 21 se mantenga libre de contaminación y acumulación de material de abrasión. Tal como puede observarse en la figura 4a, la superficie abrasiva cilíndrica tiene un eje de rotación que está orientado en un ángulo C con respecto a una dirección de desplazamiento de la lámina por el dispositivo de mecanizado, ángulo C que es de aproximadamente 45 grados. Más generalmente, el ángulo C podría ser de 10-80 grados.

20 Tal como puede observarse en la figura 4b, para proporcionar el borde con sección decreciente, el eje de rotación de la superficie abrasiva cilíndrica 1611a está orientado en un ángulo D con respecto a una línea imaginaria J, que es horizontal en la figura 4b. Es decir, la línea imaginaria J es transversal a la dirección de desplazamiento de la lámina 21 por la superficie abrasiva 1611a. La línea imaginaria J también es paralela a un plano de la lámina a medida que pasa por la superficie abrasiva 1611a. El ángulo D es mayor de 0 grados y menor de 90 grados, preferiblemente 1-30 grados, más preferiblemente 1-15 grados.

25 Tal como puede observarse en la figura 5, el dispositivo de mecanizado comprende, en cada muela abrasiva 1611, 1612, un dispositivo de calentamiento 163 adaptado para calentar la superficie abrasiva 1611a. La muela abrasiva 1611 está montada en su extremo distal en un árbol 1613. El dispositivo de calentamiento 163 comprende un calentador por inducción, que comprende a su vez una bobina 1631, que es estacionaria dentro de la muela abrasiva giratoria 1611. La bobina 1631 está conectada a un generador 1632 que produce una corriente alterna en la bobina 1631. De ese modo, la bobina 1631 crea calentamiento por inducción para calentar la muela abrasiva 1611.

30 Cuando la sustancia en la lámina 21 es una resina epoxídica, la superficie abrasiva 1611a se calienta de modo que, durante el mecanizado, está a una temperatura por encima de un intervalo de temperatura a la que la resina epoxídica es semisólida, pero por debajo de la temperatura de comienzo del curado de la resina epoxídica. Cuando la resina epoxídica es una resina epoxídica de bisfenol A, un valor mínimo adecuado para la temperatura de la superficie abrasiva es de 60 grados Celsius, y un valor máximo adecuado para la temperatura de la superficie abrasiva es de 80 grados Celsius.

35 El dispositivo de calentamiento impedirá que la resina epoxídica contamine el dispositivo de mecanizado. El motivo es que la resina epoxídica obtendrá una baja viscosidad a partir del calentamiento, y en este estado, la resina epoxídica no podrá acumular ninguna cantidad significativa de depósitos sobre la superficie abrasiva 1611. En su lugar la superficie abrasiva permanecerá húmeda y limpia de depósitos.

40 Tal como se indica en la figura 6, como resultado del procedimiento descrito anteriormente, los bordes con sección decreciente primero y segundo 211a, 212a de cada sección de lámina se extenderán en la dirección de la cuerda de la pala. La figura 6a muestra una lámina 21 que tiene una sección decreciente 22, obtenida mediante una realización del método según la invención, con un ángulo agudo A. El ángulo A se define en relación con el plano de la lámina 21 y es de entre 1 y 15 grados. La figura 6b muestra una unión por solapamiento de la sección decreciente 23 formada entre dos láminas 21, por ejemplo colocadas adyacentes entre sí en el molde tal como se muestra en la figura 6. Las secciones decrecientes reducirán el riesgo de concentraciones de tensión, por ejemplo debido a vías de resina formadas en caídas de capas con bordes de láminas sin sección decreciente.

45 Se apreciará que pueden hacerse muchas modificaciones en las técnicas descritas anteriormente sin apartarse del alcance de la presente invención tal como se define mediante las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, se apreciará que puede sustituirse la capa preimpregnada descrita a modo de ejemplo anteriormente por una capa semi-impregnada u otra capa fibrosa que comprende un material de matriz resinoso. La invención también puede usarse para láminas de fibras secas. En tal caso, la sustancia en la que se incrusta el material fibroso puede ser agua. Tal como se muestra en la figura 7, la lámina de fibras secas 21 puede tirarse del rollo 18 y guiarse a través de un recipiente de agua 29 antes de que se mueva a través del dispositivo de congelación 17 y el dispositivo de mecanizado 16. El dispositivo de congelación congelará el agua que impregna las fibras. Esto hará posible mecanizar los bordes con sección decreciente sin que las fibras individuales se muevan durante el proceso de abrasión, puesto que el agua congelada mantendrá las fibras en su sitio. Tras el mecanizado, el agua puede vaporizarse, o separarse del material fibroso de cualquier otro modo, por ejemplo mediante un dispositivo de secado adecuado.

Alternativamente, sobre láminas secas, la impregnación con agua puede realizarse solo en los bordes de la lámina, a lo largo de los cuales va a llevarse a cabo el mecanizado de la sección decreciente, de modo que una sección media de la lámina se deja secar a lo largo de todo el proceso.

- 5 La invención podría usarse para muchas clases diferentes de orientaciones de fibras, tal como por ejemplo en las láminas de fibras Triax o unidireccionales. Además, aunque se ha descrito anteriormente una herramienta de abrasión, se apreciará que la invención puede usarse en conexión con cualquier otra técnica o herramienta de mecanizado.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para proporcionar un borde con sección decreciente sobre una lámina que comprende un material fibroso, que comprende:
  - 5 - dotar a la lámina de una sustancia en la que se incrusta, al menos en un primer borde de la lámina, el material fibroso, sustancia que está en un estado no sólido a temperatura ambiente, en particular a 20 grados Celsius,
  - enfriar el primer borde, de modo que la sustancia en el primer borde se vuelve sólida,
  - mecanizar, mientras que la sustancia en el primer borde es sólida a partir del enfriamiento, el primer borde con un dispositivo de mecanizado para proporcionar un primer borde con sección decreciente, y
  - 10 - calentar una superficie abrasiva del dispositivo de mecanizado de modo que, durante la etapa de mecanizado, está a una temperatura por encima de la temperatura ambiente.
2. Método según la reivindicación 1, en el que el dispositivo de mecanizado comprende una primera muela abrasiva giratoria que presenta la superficie abrasiva, y la etapa de calentar la superficie abrasiva comprende calentar la muela abrasiva de modo que, durante la etapa de mecanizado, está a una temperatura por encima de la temperatura ambiente.
3. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, en el que la sustancia es una resina epoxídica, y la etapa de calentar la superficie abrasiva comprende calentar la superficie abrasiva de modo que, durante la etapa de mecanizado, está a una temperatura por encima de 30 grados Celsius, preferiblemente por encima de 40 grados Celsius, más preferiblemente por encima de 50 grados Celsius, y aún más preferiblemente al menos 60 grados.
4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que la sustancia es una resina epoxídica, y la etapa de calentar la superficie abrasiva comprende calentar la superficie abrasiva de modo que, durante la etapa de mecanizado, está a una temperatura por debajo de una temperatura de comienzo del curado de la resina epoxídica, por ejemplo por debajo de 100 grados Celsius, o por debajo de 80 grados Celsius.
- 25 5. Método según cualquier de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende adicionalmente mover dicha lámina por un dispositivo de congelación y por un dispositivo de mecanizado.
6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la lámina comprende un material preimpregnado con el material fibroso, y la sustancia es una resina de matriz, en particular una resina epoxídica.
- 30 7. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 5, que comprende la etapa de dotar a la lámina de la sustancia en la que se incrusta el material fibroso, en donde el material fibroso comprende fibras secas y la sustancia comprende agua, siendo la sustancia preferiblemente agua, por ejemplo agua desmineralizada.
8. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha etapa de calentar dicha superficie abrasiva usa calentamiento por inducción.
- 35 9. Método según la reivindicación 8, que incluye calentar dicha superficie abrasiva por medio de una bobina de inducción que es estacionaria dentro de una muela abrasiva giratoria.
10. Aparato para proporcionar un borde con sección decreciente sobre una lámina que comprende un material fibroso, lámina que está dotada, al menos en un primer borde de la lámina, de una sustancia en la que se incrusta el material fibroso, sustancia que está en un estado no sólido a temperatura ambiente, en particular a 20 grados Celsius,
  - 40 - comprendiendo el aparato un dispositivo de congelación y estando adaptado para mover la lámina por el dispositivo de congelación, estando adaptado el dispositivo de congelación para enfriar el primer borde de modo que la sustancia en el primer borde se vuelve sólida,
  - 45 - comprendiendo el aparato un dispositivo de mecanizado y estando adaptado para mover la lámina por el dispositivo de mecanizado, dispositivo de mecanizado que está adaptado para mecanizar, a medida que la lámina se mueve por el dispositivo de mecanizado y mientras que la sustancia es sólida a partir del enfriamiento del dispositivo de congelación, el primer borde para proporcionar un primer borde con sección decreciente, comprendiendo dicho aparato además un dispositivo de calentamiento adaptado para calentar una superficie abrasiva del dispositivo de mecanizado de modo que, cuando se mecaniza el primer borde, está a una temperatura por encima de la temperatura ambiente.
  - 50
11. Aparato según la reivindicación 10, en el que el dispositivo de mecanizado comprende una primera muela

abrasiva giratoria para el mecanizado del primer borde, presentando la primera muela abrasiva la superficie abrasiva, y el dispositivo de calentamiento está adaptado para calentar la primera muela abrasiva de modo que, cuando se mecaniza el primer borde, está a una temperatura por encima de la temperatura ambiente.

- 5 12. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 10-11, en el que el dispositivo de congelación presenta una primera cavidad de enfriamiento adaptada para encerrar el primer borde.
13. Aparato según la reivindicación 12, en el que el dispositivo de mecanizado comprende una primera muela abrasiva para mecanizar el primer borde, en el que el dispositivo de mecanizado comprende una carcasa de herramienta que encierra la primera muela abrasiva, en el que la carcasa de herramienta se comunica con la primera cavidad de enfriamiento.
- 10 14. Aparato según cualquier reivindicación anterior 10-13, que comprende un calentador por inducción configurado para calentar dicha superficie abrasiva.
15. Aparato según la reivindicación 14, en el que dicho calentador por inducción está en forma de una bobina estacionaria situado dentro de una muela abrasiva giratoria, estando configurada dicha bobina para calentar dicha muela abrasiva por inducción.

15

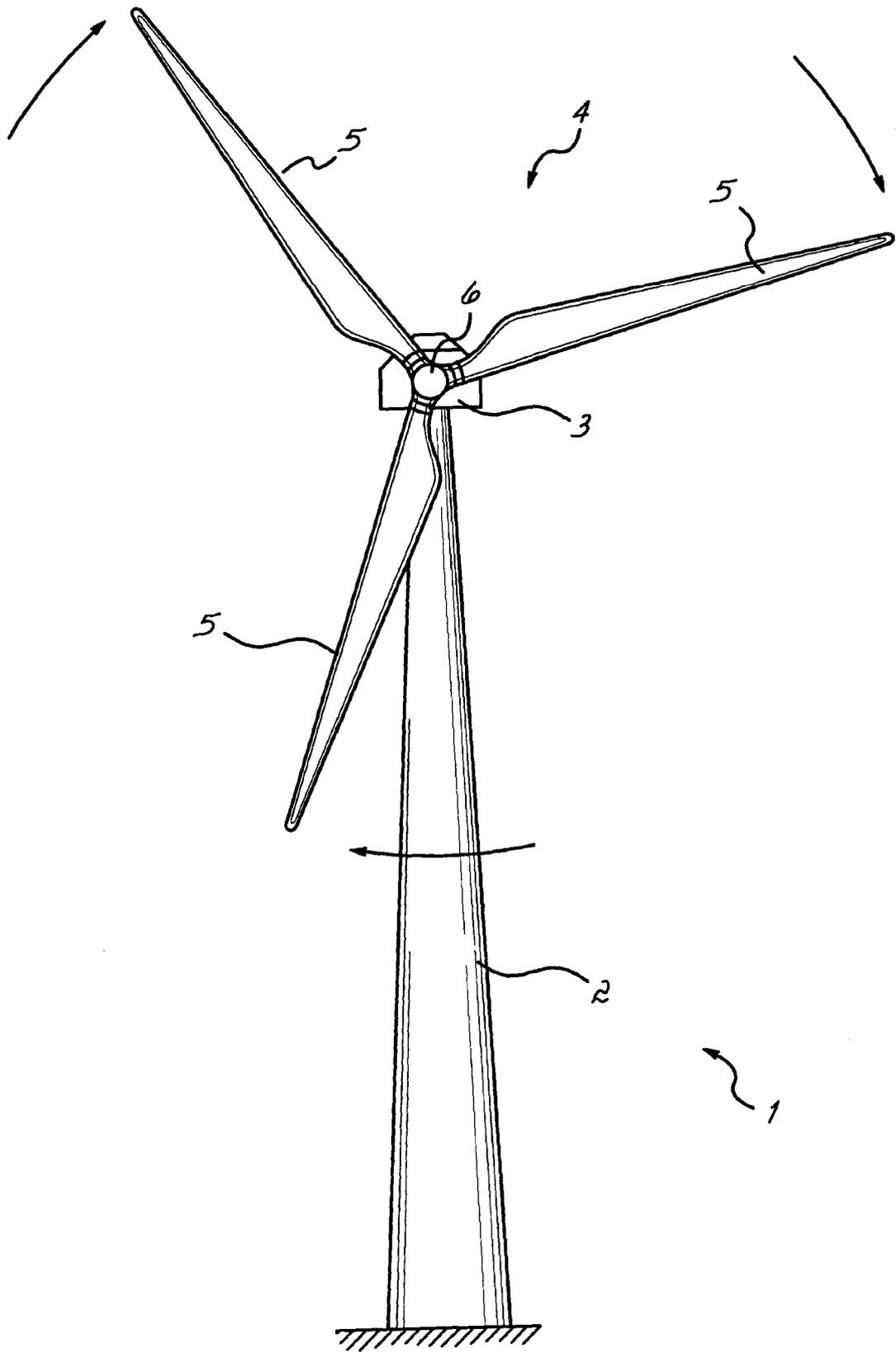


FIG. 1

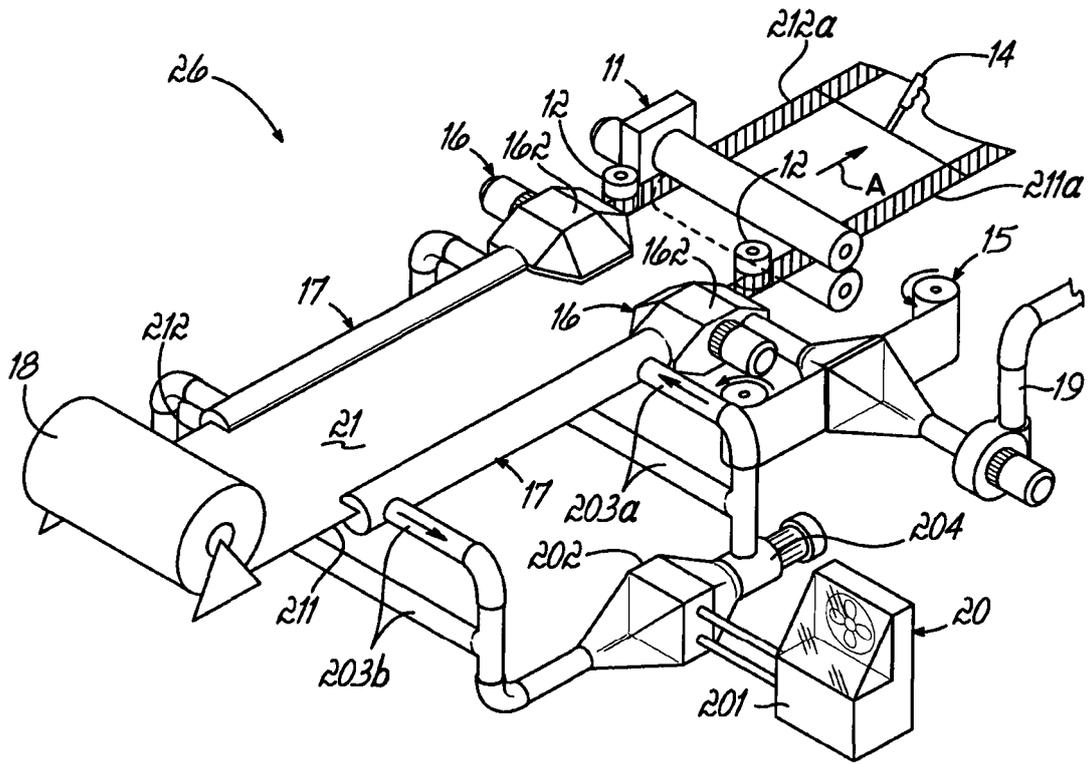


FIG. 2

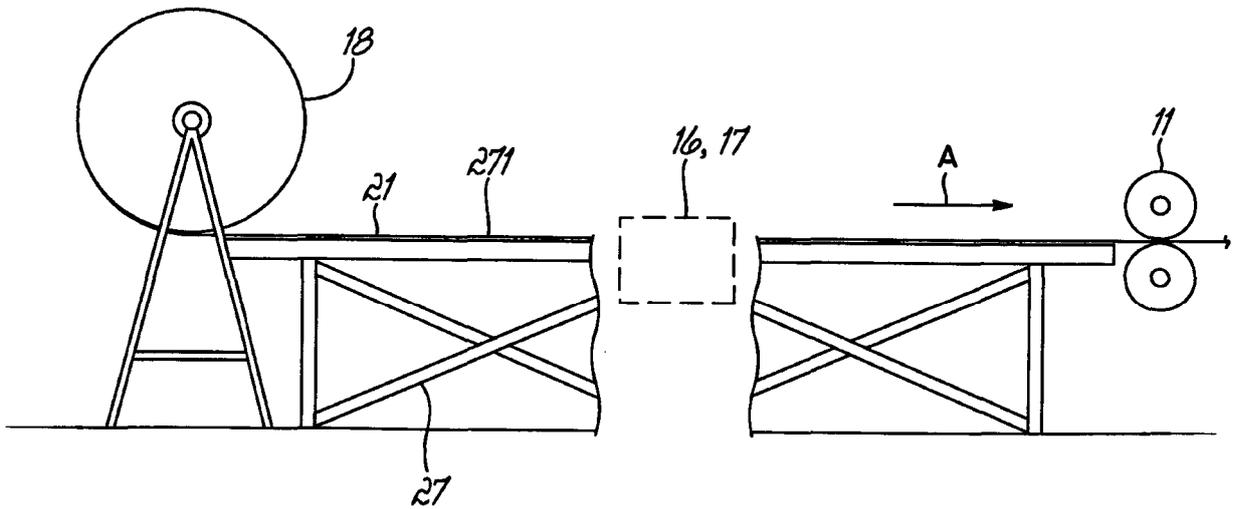


FIG. 2A

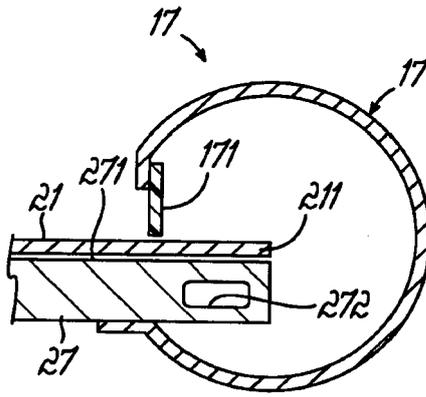


FIG. 2B

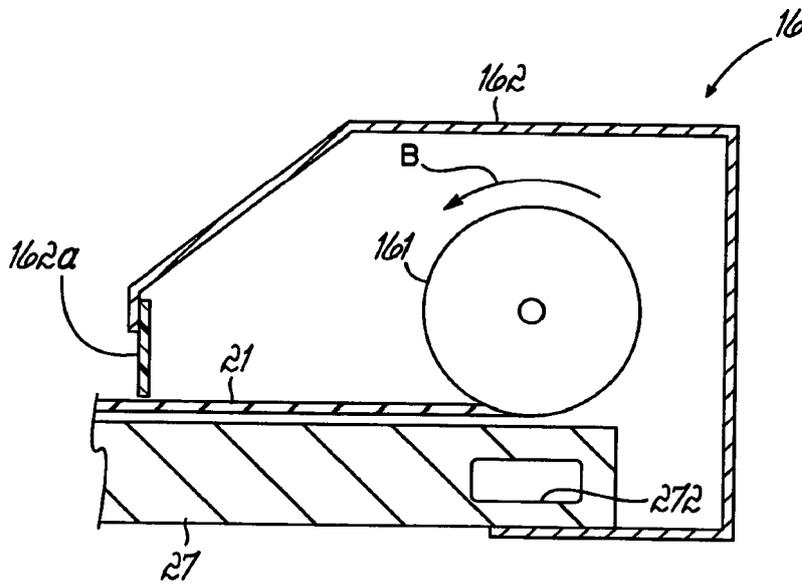


FIG. 2C

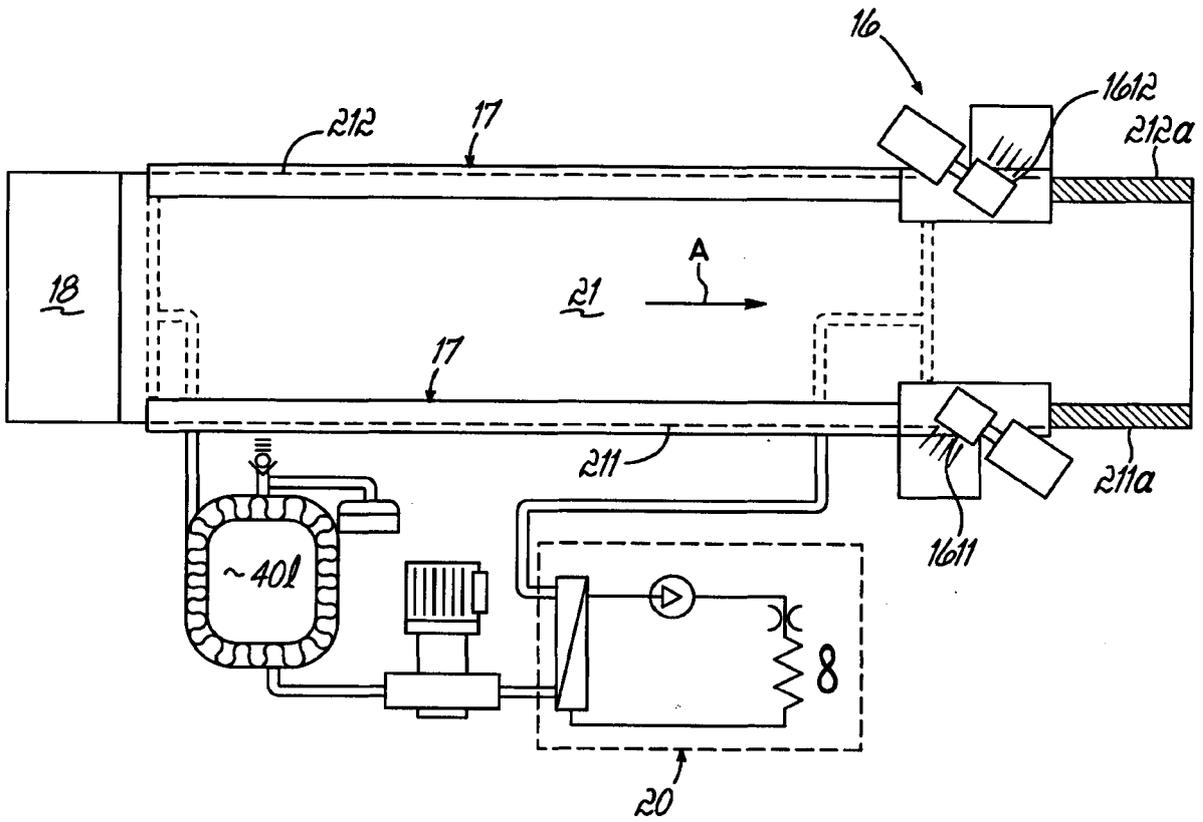


FIG. 3

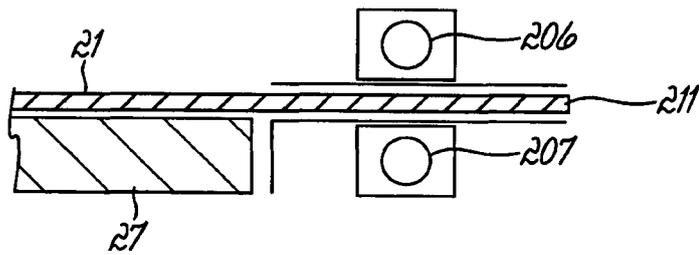
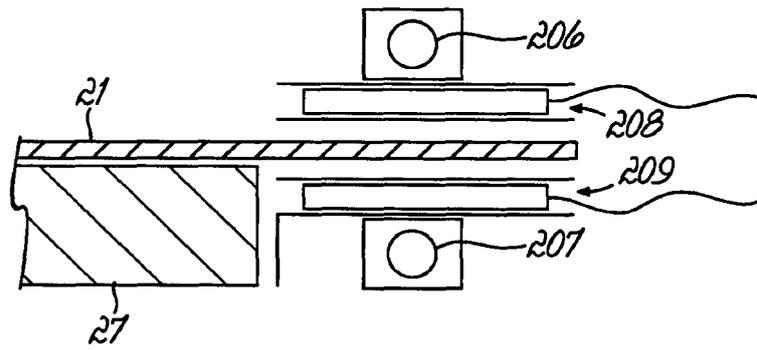
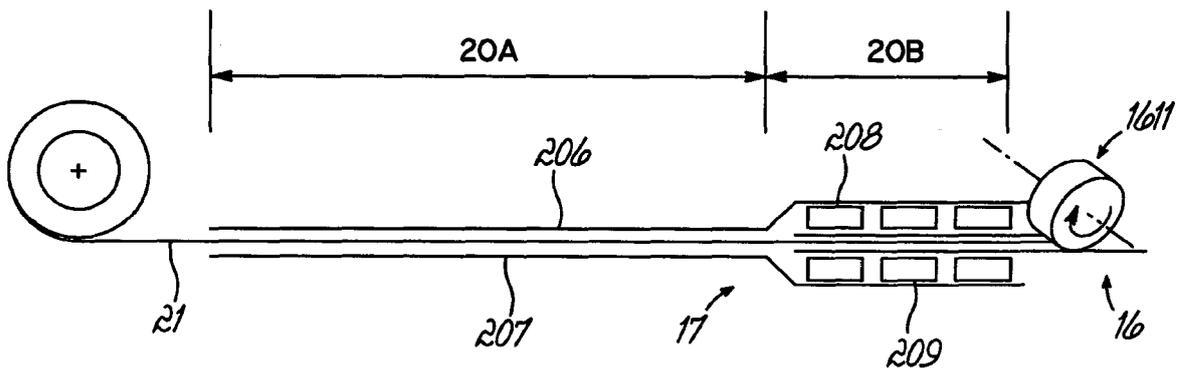


FIG. 3A



**FIG. 3B**



**FIG. 3C**

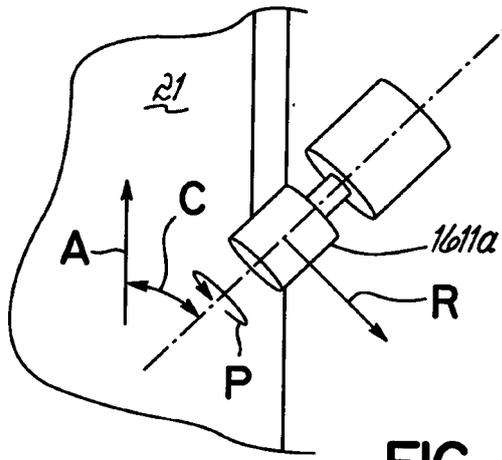


FIG. 4A

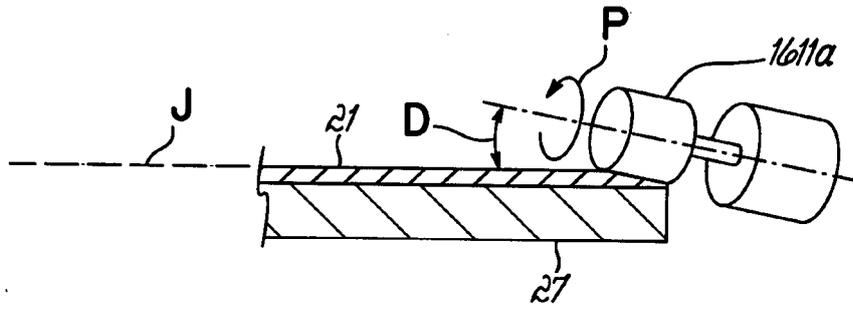


FIG. 4B

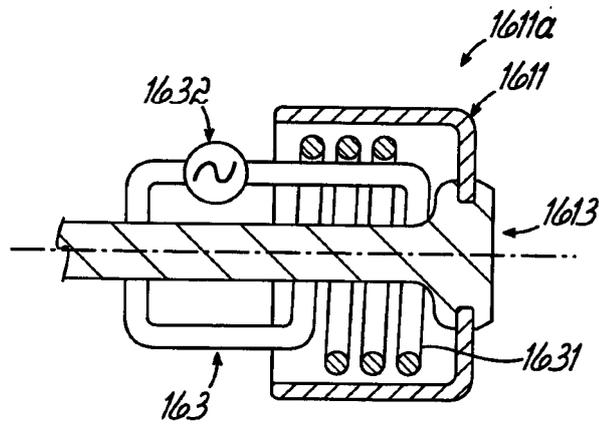


FIG. 5

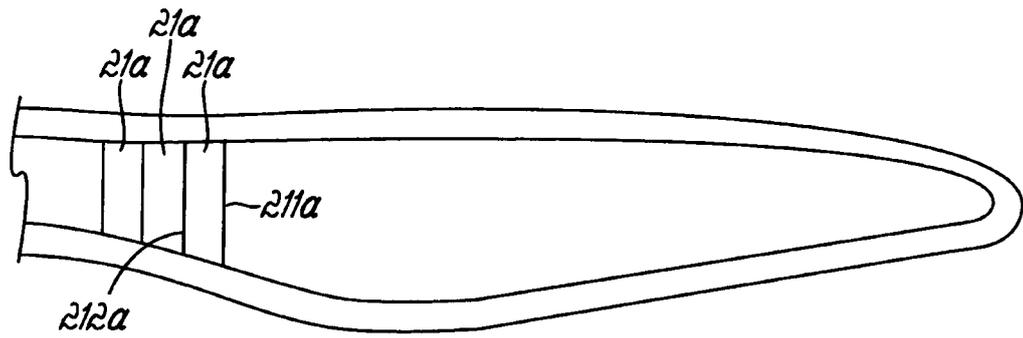


FIG. 6

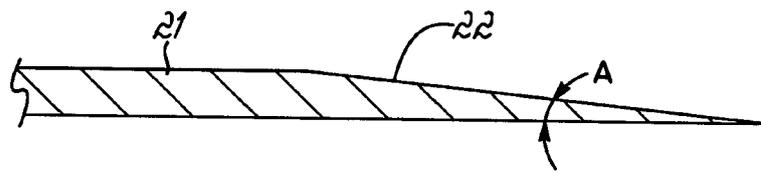


FIG. 6A

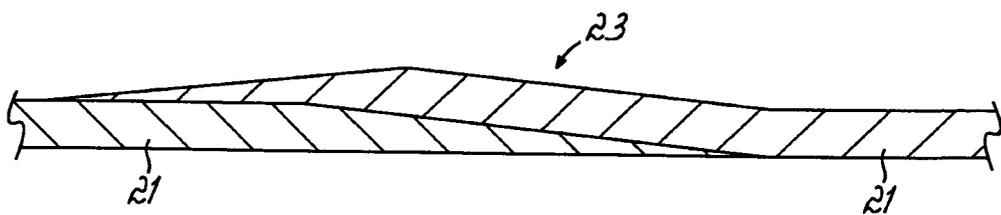


FIG. 6B

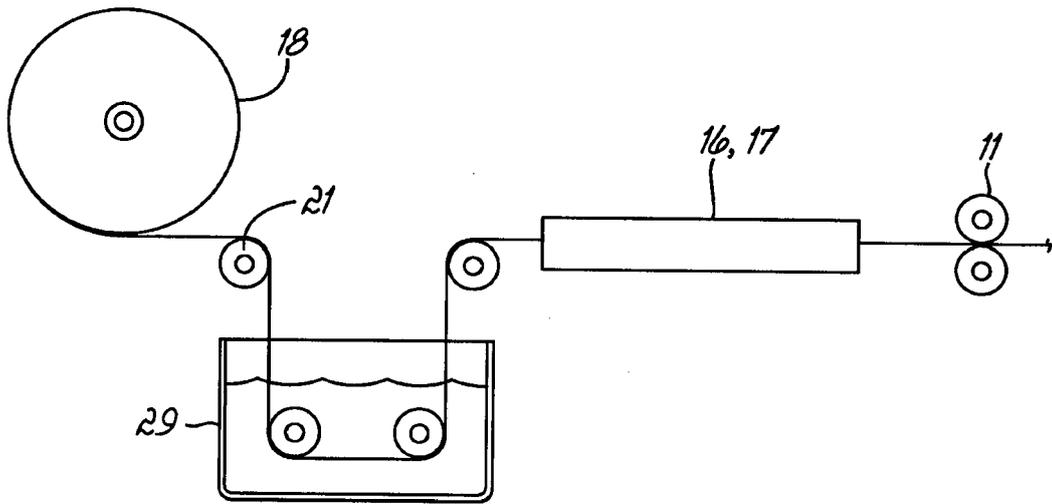


FIG. 7