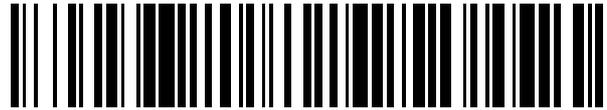


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 533 004**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.12.2006 E 06126116 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.02.2015 EP 1798412**

54 Título: **Conexión de una pala de turbina eólica a un buje del rotor**

30 Prioridad:

**15.12.2005 US 300852**

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

**06.04.2015**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)**

**1 River Road**

**Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**EYB, ENNO y**

**ARELT, RAINER**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 533 004 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**

Conexión de una pala de turbina eólica a un buje del rotor

La presente invención se refiere, en general, a una pala del rotor de una turbina eólica y, más en particular, a una brida para conectar la pala del rotor a un buje de la turbina eólica.

5 Además del diseño aerodinámico de una pala del rotor de turbina eólica, la calidad y el peso de las palas del rotor son determinadas esencialmente por el diseño de la conexión de la pala al buje del rotor, es decir, la sección de raíz de la pala. Lo que hace que el diseño de la conexión de la pala al buje del rotor sea una tarea difícil es la transferencia de carga de la estructura de material compuesto de fibra de la pala del rotor a la estructura metálica del buje del rotor. Una transferencia de carga de este tipo es difícil, en principio, debido a las propiedades sustancialmente diferentes de los materiales involucrados. Además, las cargas del rotor están concentradas en la porción de raíz de la pala y del buje del rotor y las cargas exhiben un espectro de carga altamente dinámico. En las turbinas eólicas convencionales, la sección de raíz de las palas del rotor está hecha de plástico reforzado con fibra de vidrio.

Una pala del rotor de tipo monocasco convencional para una turbina eólica se describe, por ejemplo, en el documento US 4.412.784. Esta pala muestra las características del preámbulo de la reivindicación 1.

15 Diversos aspectos y realizaciones de la presente invención se definen en las reivindicaciones adjuntas.

En los dibujos:

la figura 1 es una vista esquemática de una turbina eólica.

la figura 2 es una vista frontal de una pala del rotor de una turbina eólica.

la figura 3 es una vista de una sección de brida de una pala del rotor de una turbina eólica.

20 la figura 4 es una vista en sección transversal de una conexión de perno en T en una sección de brida de acuerdo con una realización de la presente invención.

la figura 5 es una vista en sección transversal de una conexión de perno en T entre la raíz de la pala y una porción de brida de un buje del rotor de acuerdo con una realización de la presente invención.

25 la figura 6 es una vista en sección transversal de una pared de la pala del rotor de acuerdo con una realización de la presente invención.

la figura 7 es una vista en sección transversal de una matriz híbrida de fibra vidrio / fibra de carbono como se emplea en una realización de acuerdo con la presente invención.

30 Se hará referencia a continuación en detalle a varias realizaciones de la invención, uno o más ejemplos de las cuales se ilustran en las figuras. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, y no pretende ser una limitación de la invención. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de una realización se pueden utilizar en, o junto con, otras realizaciones para producir otra realización adicional. Se pretende que la presente invención incluya tales modificaciones y variaciones.

35 La figura 1 es una vista esquemática de una turbina eólica convencional 100. La turbina eólica 100 incluye una torre 110 en la que está montada una góndola de máquina 120 en su extremo superior. Un buje 130 que tiene tres palas 140 del rotor montadas en el mismo está montado en un extremo lateral de góndola de máquina 120.

La configuración básica de una pala 140 del rotor se muestra en la figura 2. En ella, la pala 140 del rotor incluye una sección de raíz 141 usada para montar la pala 140 del rotor al buje 130. En posición opuesta a la sección de raíz 141, se encuentra dispuesto un extremo de punta 142 de la pala 140 del rotor. Una sección de cuerpo 143 de la pala 140 del rotor se extiende entre la sección de raíz 141 y el extremo de punta 142.

40 La figura 3 ilustra una sección de brida de una pala del rotor cuando se ve desde abajo, es decir, desde la raíz 141 a la punta 142 de la pala 140 del rotor. La sección de brida tiene una sección transversal esencialmente circular, una pared lateral exterior 1411 separada de un eje longitudinal de la pala 140 del rotor por un radio R1 y una pared lateral interior 1412 separada del eje longitudinal de la pala 140 del rotor por un radio R2. En consecuencia, el grosor de pared de la sección de brida está dada por R1 - R2. La sección de brida incluye, además, una serie de orificios longitudinales 1415. Los orificios longitudinales 1415 tienen una anchura WH y están espaciados uniformemente en un distancia DH a lo largo de una dirección circunferencial de la sección de brida. Cuando la pala 140 del rotor está montada en el buje 130 del rotor, los pernos se insertan en orificios longitudinales 1415 para formar una conexión de perno en T.

La figura 4 es una vista en sección transversal longitudinal de una sección de brida 1420 de la raíz 141 de la pala. Los orificios longitudinales 1415 se encuentran esencialmente en el medio entre la superficie de pared lateral exterior 1411 y la superficie de pared lateral interior 1412 de la pala 140 del rotor. Además, se proporciona un orificio radial 1418 en la pared lateral. Cuando la pala 140 del rotor está montada en el buje 130 del rotor, unos pernos transversales se insertan en orificios radiales 1418 para formar una conexión de perno en T con los pernos insertados dentro de los orificios longitudinales 1415.

La figura 5 es una vista en sección transversal de una conexión de perno transversal formada entre la sección de brida 1420 de la sección de raíz y una brida 1310 del buje 130 del rotor. En la misma, se inserta un perno transversal 1419 en el orificio radial 1418. El perno transversal 1419 comprende una rosca hembra que está alineada con el orificio longitudinal 1415. Además, una brida 1310 del buje 130 del rotor se apoya contra el borde inferior de la sección de brida 1420. La brida 1310 tiene un orificio pasante que se ajusta en el orificio longitudinal 1415 de la sección de brida 1420. El orificio pasante y el orificio longitudinal 1415 están alineados uno con el otro de manera que un perno 1416 se pueda insertar en el orificio pasante y en el orificio longitudinal 1415. El perno 1416 incluye una rosca macho 1417 que se ajusta en la rosca hembra del perno transversal 1419. El perno 1416 se fija al perno transversal 1419 por medio de una fijación roscada de manera que se establece una conexión de perno transversal. La pala 140 del rotor está fijada, por lo tanto, al buje 130 del rotor.

En la disposición de conexión por perno que se ha descrito más arriba, la brida 1310 del buje 130 del rotor, el perno transversal 1419 y el perno longitudinal 1416 están fabricados de acero. Sin embargo, la sección de brida 1420 está fabricada de una matriz de fibra reforzada 1410. De acuerdo con una realización de la presente invención, la matriz de fibra reforzada 1410 es un material híbrido que incluye fibras de vidrio y fibras de carbono embebidas en un material de matriz. De acuerdo con la realización ejemplar, el material de la matriz es al menos uno de entre una resina epoxi y una novolaca epoxi. De acuerdo con otra realización de la presente invención, el material de la matriz es una resina termoestable. Por ejemplo, las resinas termoestables tales como las resinas epoxídicas, las novolacas epoxídicas, los poliésteres, vinilésteres, poliimidas (tanto de tipo de condensación como de adición), resinas fenólicas, y bismaleimidas son utilizables como materiales de matriz. En uso, una resina particular se selecciona de acuerdo con el propósito técnico específico de la matriz híbrida a la que se aplica. Por ejemplo, el sistema de resina se selecciona con respecto a un refuerzo de fibra en particular para producir una parte reforzada con fibra híbrida terminada con las propiedades mecánicas y ambientales deseadas. La resina normalmente se desgasifica bajo vacío después de la mezcla de un endurecedor / catalizador en la resina, para eliminar o eliminar todo el aire atrapado en la resina líquida. Las resinas ejemplares son capaces de proceder a través de un entorno de ciclo con presión de vacío de calor y tiempo sin formación de burbujas de gas o espacios vacíos. En un material de matriz de este tipo, las fibras de carbono y de vidrio son embebidas, en el que al menos las fibras de carbono están orientadas sustancialmente paralelas a un eje longitudinal de la pala del rotor. En otras palabras, las fibras de carbono están alineadas típicamente con la dirección longitudinal de la pala del rotor y la extensión longitudinal de las fibras de carbono es esencialmente paralela al eje central de la pala del rotor. En este contexto, se debe entender que el término "esencialmente paralelo" no significa que todas las fibras de carbono están completamente alineadas con el eje longitudinal de la pala del rotor, sino que la mayoría de las fibras de carbono tendrán su extensión longitudinal más o menos en la dirección del eje longitudinal de la pala del rotor. Típicamente, las fibras de carbono se proporcionan en forma de esteras de fibra. Sin embargo, las fibras de carbono también se pueden proporcionar en forma de una tela no tejida o de fibra cortada. En una realización alternativa, las fibras de vidrio están orientadas sustancialmente paralelas al eje longitudinal de la pala del rotor, es decir, las fibras de vidrio están alineadas típicamente con la dirección longitudinal de la pala del rotor. En consecuencia, la extensión longitudinal de las fibras de vidrio es esencialmente paralela al eje central de la pala del rotor. Aunque las fibras de vidrio se proporcionan típicamente en forma de esteras de fibras, las fibras de vidrio también se pueden proporcionar en forma de una tela no tejida o de fibra cortada.

La formación de la sección de brida de la raíz de la pala de una matriz híbrida reforzada con fibra de carbono / fibra de vidrio de este tipo aumenta la rigidez de la sección de brida, especialmente de la porción sujeta entre el perno transversal 1419 y la brida de acero 1310 del buje 130 del rotor. Como resultado, la rigidez de la articulación de la conexión de perno en T a través de la brida se mejora de manera que las cargas dinámicas sobre el perno en T se reducen. Por lo tanto, se mejora la resistencia a la fatiga crítica de la conexión.

Además, las fibras de carbono aumentan la resistencia a la rotura del material de la brida de la sección de raíz de manera que los orificios se pueden espaciar más apretadamente. En otras palabras, el espaciado DH entre los orificios longitudinales adyacentes 1415 se reduce en comparación con las estructuras conocidas de manera que el número de conexiones de pernos en T a lo largo de la circunferencia de la porción de brida es incrementado en comparación con las estructuras conocidas. Por lo tanto, se mejora la resistencia estática y la fatiga de la conexión entre la pala y el buje.

Además, las fibras de carbono desplazadas del eje colocadas en la brida mejoran la resistencia de soporte del material de la brida. Por lo tanto, el tamaño de las tuercas cilíndricas utilizadas en la conexión de perno en T se reduce y la anchura WH de los orificios longitudinales 1415 también se reduce. Como resultado, más conexiones de pernos en T están dispuestas a lo largo de la dirección circunferencial de la sección de brida. Esto mejora la resistencia estática y la fatiga de la conexión entre las palas del rotor 140 y el buje 130 del rotor todavía más.

Además, la capacidad de soporte de carga mejorada de la conexión de raíz - buje utilizando la sección de brida de fibra que contiene carbono permite la reducción del diámetro de raíz R1, R2. Por lo tanto, la brida 200 y la sección de raíz 141 de la pala 140 del rotor se fabrican con menos material lo que permite que las palas del rotor sean más ligeras y más baratas. Esto, a su vez, permite también un buje del rotor más ligero y más barato y rodamientos de paso más ligeros y más baratos.

De acuerdo con otra realización de la presente invención, la longitud en el sentido longitudinal de las fibras de carbono es esencialmente igual a la longitud en el sentido longitudinal de la sección de brida. En particular, cuando la sección de brida comprende una conexión de perno transversal la longitud en el sentido longitudinal de las fibras de carbono es igual o mayor que la longitud en el sentido longitudinal de la conexión de perno transversal. Típicamente, la longitud de las fibras de carbono será considerablemente más larga que la longitud de la conexión de perno transversal, por ejemplo, la longitud de las fibras de carbono será de aproximadamente 300 mm a aproximadamente 2500 mm.

De acuerdo con una realización adicional, la longitud en el sentido longitudinal de las fibras de carbono aumenta en la dirección radial hacia el exterior. En otras palabras, la longitud de las fibras aumenta con la distancia desde el eje longitudinal de la pala del rotor. Por consiguiente, las fibras de carbono más interiores aproximadamente en el radio R2 son más cortas que las fibras de carbono más exteriores aproximadamente en el radio R1. Una situación típica de una disposición de este tipo se ilustra en la figura 6 que muestra una vista en sección transversal longitudinal de la pared lateral de la sección de brida. El extremo del lado de la raíz de la pala del rotor incluye el orificio longitudinal 1415 y el orificio radial 1418. De acuerdo con la realización que se muestra en la figura 6, la superficie de pared lateral interior tiene tres secciones, una sección extrema de la raíz 1412, una sección estrechada progresivamente 1413, y una sección del lado de la pala 1414. El radio interior R2 es menor en la sección extrema de la raíz 1412 en comparación con la sección del lado de la pala 1414. La sección estrechada progresivamente 1413 conecta la sección extrema de la raíz 1412 y la sección del lado de la pala 1414. Dentro de la sección estrechada progresivamente 1413, el radio interior R2 aumenta desde la sección extrema de la raíz 1412 a la sección del lado de la pala 1414 para formar una transición suave entre ambas secciones. Típicamente, el radio interior R2 aumenta linealmente a lo largo de la longitud en el sentido longitudinal de la sección estrechada progresivamente 1413. El radio exterior R1 de la pared lateral exterior 1411 se mantiene constante en toda la longitud en el sentido longitudinal de la sección de brida 1420. Por lo tanto, el grosor de pared de la sección de brida 1420 varía dentro de la sección estrechada progresivamente 1413 entre un grosor mayor en la sección extrema de la raíz 1412 y un grosor más pequeño en la sección del lado de la pala 1414.

La figura 6 también muestra las capas de fibra de carbono 40 que en una realización están formadas típicamente de esteras de fibra de carbono. En realizaciones alternativas, las capas de fibra de carbono 40 se forman de telas no tejidas o de fibra cortada. Típicamente, las capas de fibra de carbono 40 se extienden desde el extremo de raíz de la porción de brida a la superficie interior de la sección estrechada progresivamente 1413. Por lo tanto, la longitud de las fibras de carbono contenidas en estas capas 40 es esencialmente igual a la longitud en el sentido longitudinal de la sección estrechada progresivamente 1413. Por consiguiente, la longitud de las fibras de carbono aumenta a medida que el grosor de la pared lateral disminuye. En otras palabras, la longitud de las fibras de carbono que se extienden longitudinalmente depende de su distancia desde el eje longitudinal de la pala del rotor, en el que la longitud aumenta proporcionalmente con la distancia. Sin embargo, hay que hacer notar que existe una longitud máxima para las fibras de carbono que se logra para las capas de fibra de carbono exteriores 42 ubicadas en una porción de la pared exterior fuera de la sección estrechada progresivamente 1413. Típicamente, para las capas exteriores de fibra de carbono, la longitud de las fibras de carbono no aumenta más hacia la pared lateral exterior 1411 sino que es esencialmente constante. En la presente realización de la invención, también las fibras de vidrio se proporcionan como esteras de fibra que tiene una extensión esencialmente longitudinal. Por lo tanto, también las fibras de vidrio se extienden esencialmente paralelas al eje longitudinal de la pala del rotor.

De acuerdo con otra realización de la presente invención, la sección estrechada progresivamente 1413 no se encuentra situada dentro de la pala del rotor, sino más bien en el exterior de la pala del rotor. Esto puede ser fácilmente ejemplificado mediante el intercambio de los números de referencia 1411 y 1412 en la figura 6. Entonces, el radio interior R2 es constante, mientras que el radio exterior R1 varía dentro de la sección estrechada progresivamente. De acuerdo con todavía otra realización de la presente invención, las secciones estrechadas progresivamente se proporcionan en el interior y en el exterior de la pala 140 del rotor. En esta realización, tanto el radio exterior como el interior R1, R2 varían dentro de la sección estrechada progresivamente. Además, la longitud en el sentido longitudinal de las fibras de carbono varía de acuerdo con la longitud en el sentido longitudinal de las secciones estrechadas progresivamente como se ha descrito más arriba.

La figura 7 es una vista en sección transversal de una matriz híbrida de fibra de vidrio / fibra de carbono 1410 tal como se emplea en una realización de acuerdo con la presente invención. En esta misma, la matriz híbrida 1410 incluye fibras de vidrio 10 y fibras de carbono 15 embebidas en un material de matriz 20. Las fibras de vidrio 10 así como las fibras de carbono 15 se proporcionan en forma de esteras de fibra. Las esteras de fibra de vidrio y las esteras de fibra de carbono se apilan alternativamente y son embebidas en el material de matriz. De este modo, se consigue un patrón alternante de capas de fibra de vidrio 30 y de capas de fibra de carbono 40. En la realización que

se ilustra en la figura 7, cada segunda capa es una capa de fibra de carbono 40. Sin embargo, la relación entre fibras de vidrio y fibras de carbono es ajustable para la aplicación específica. Típicamente, cada enésima estera de fibra será una estera de fibra de carbono, en el que n está comprendido típicamente en el intervalo de 2 a 10. Por lo tanto, se logra una relación constante entre las fibras de vidrio y las fibras de carbono en la sección de brida.

- 5 Como se ha descrito más arriba, la realización ejemplar de la invención incluye una pala del rotor de turbina eólica que tiene una sección de raíz configurada para conectarse a un buje del rotor de la turbina eólica. Una porción de la junta de brida está provista en la sección de raíz de la pala del rotor. La porción de junta se fabrica de un material híbrido que incluye fibras de vidrio y fibras de carbono embebidas en un material de matriz. Las fibras de carbono están orientadas sustancialmente paralelas al eje longitudinal de la pala del rotor.
- 10 Mediante la formación de la porción de junta en forma de brida de la raíz de la pala a partir de una matriz híbrida de fibra de vidrio / fibra de carbono, se aumenta la rigidez de la porción de junta. Como resultado, la rigidez de las articulaciones de una conexión de perno en T a través de la porción de junta se mejora de manera que las cargas dinámicas sobre el perno en T se reducen. En particular, la relación de rigidez entre la matriz reforzada con fibra y el perno en T se incrementa debido a la mayor rigidez de las fibras de carbono. Por lo tanto, se mejora la resistencia a la fatiga crítica de la conexión.
- 15

- Además, las fibras de carbono aumentan la resistencia a la rotura del material laminado de la sección de raíz para permitir que los orificios para los pernos en T se encuentren espaciados más estrechamente. Por lo tanto, se mejora la resistencia estática y la fatiga de las conexiones de perno en T. Además, las fibras de carbono mejoran la resistencia de soporte del material de la sección de raíz. Por lo tanto, el tamaño de las tuercas cilíndricas utilizadas en la conexión de perno en T se reducen en comparación con las tuercas cilíndricas conocidas de manera que más pernos en T están dispuestos en la porción de junta. Esto mejora todavía más la resistencia estática y la fatiga de la conexión entre la pala y el buje. Además, la capacidad de soporte de carga mejorada de la conexión de raíz - buje utilizando la brida que contiene fibra de carbono permite la reducción del diámetro de la raíz de la pala del rotor. Por lo tanto, en una realización, la brida se fabrica con menos material, lo cual permite que las palas del rotor sean más ligeras y más baratas.
- 20
- 25

Aunque la invención ha sido descrita en términos de varias realizaciones específicas, los expertos en la técnica reconocerán que la invención puede practicarse con modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Una pala (140) del rotor para una turbina eólica (100) que comprende:
 

5 una sección de brida (1420) configurada para conectar la citada pala del rotor a un buje del rotor (130), teniendo la citada sección de brida (1420) una pared lateral exterior (1411) que tiene un radio exterior (R1) que permanece constante a lo largo de una longitud completa en el sentido longitudinal de la citada sección de brida (1420), la citada sección de brida está formada de un material híbrido que comprende fibras de vidrio (10) y fibras de carbono (15) embebidas en un material de matriz (20), en el que la citadas fibras de carbono están orientadas sustancialmente paralelas a un eje longitudinal de la citada pala del rotor y en el que la citada sección de brida (1420) comprende una conexión de perno transversal que comprende pernos transversales (1419) insertados en orificios radiales (1418) para formar una conexión de perno en T con los pernos (1419) insertados en orificios longitudinales (1415), **que se caracteriza porque** la longitud en el sentido longitudinal de las citadas fibras de carbono (15) es igual o mayor que una longitud en el sentido longitudinal de la citada conexión de perno transversal.
- 15 2. Una pala (140) del rotor de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la longitud en el sentido longitudinal de las citadas fibras de carbono (15) es esencialmente igual a la longitud en el sentido longitudinal de la citada sección de brida (1420).
3. Una pala (140) del rotor de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en la que la longitud en el sentido longitudinal de las citadas fibras de carbono (15) aumenta con la distancia desde el eje longitudinal de la citada pala del rotor.
- 20 4. Una pala (140) del rotor de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en la que un grosor de pared de la citada sección de brida (1420) varía dentro de una sección estrechada progresivamente, la longitud en el sentido longitudinal de las citadas fibras de carbono (15) es esencialmente igual a la longitud en el sentido longitudinal de la sección estrechada progresivamente.
- 25 5. Una pala (140) del rotor de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en la que las citadas fibras de vidrio (10) están orientadas sustancialmente paralelas al eje longitudinal de la citada pala del rotor.
6. Una pala (140) del rotor de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en la que una relación entre las citadas fibras de vidrio (10) y las citadas fibras de carbono (15) es esencialmente constante.
- 30 7. Una pala (140) del rotor de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en la que las citadas fibras de vidrio (10) y las citadas fibras de carbono (15) se proporcionan en forma de esteras de fibra apiladas alternativamente.
8. Una pala (140) del rotor de acuerdo con la reivindicación 7, en la que cada estera de fibra enésima es una estera de fibra de carbono, en la que n es un número entero de 2 a 10.

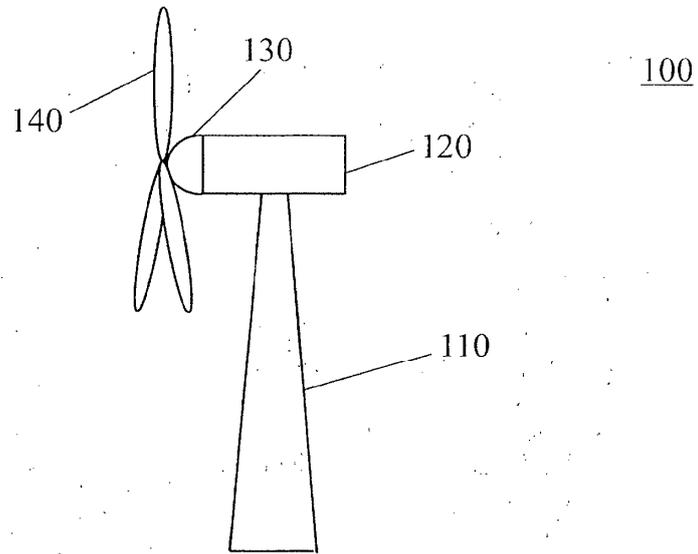


Fig. 1

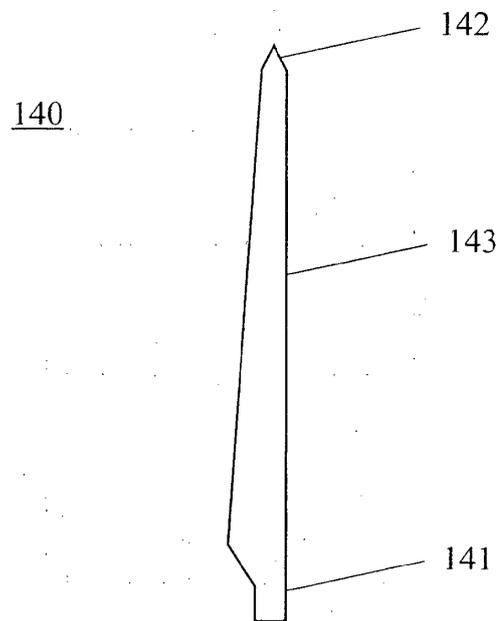


Fig. 2

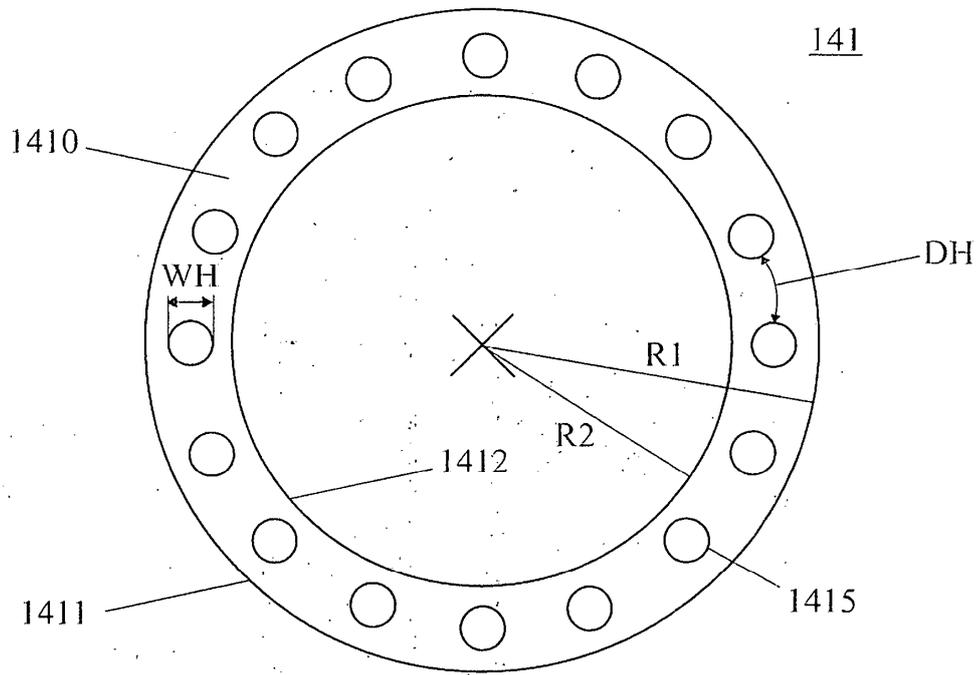


Fig. 3

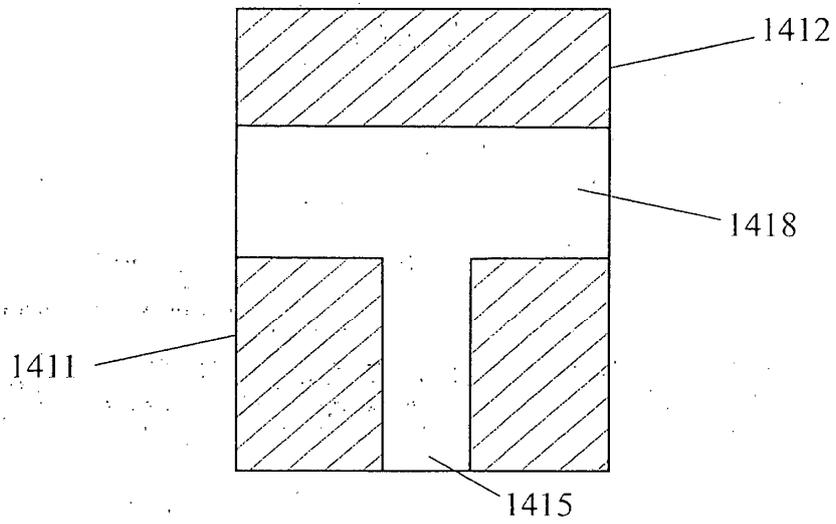


Fig. 4

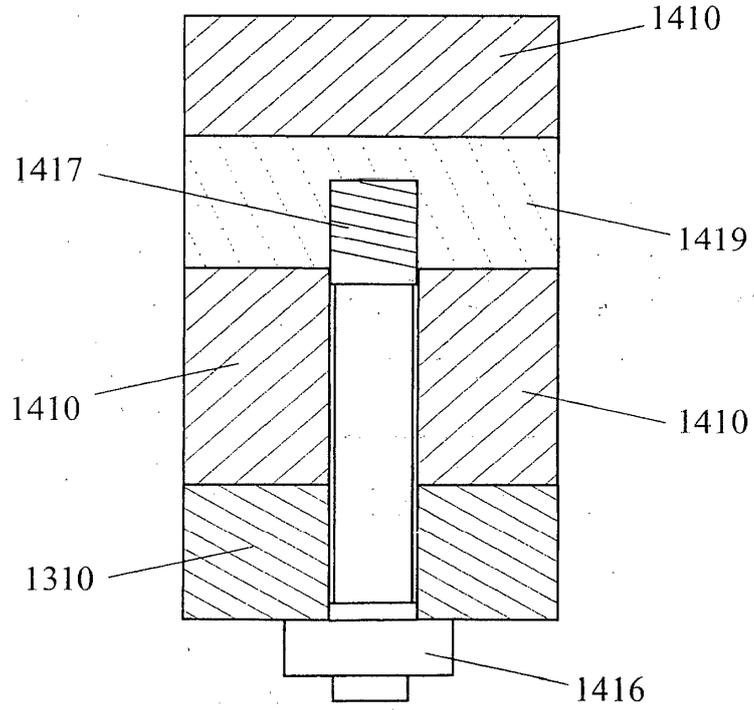


Fig. 5

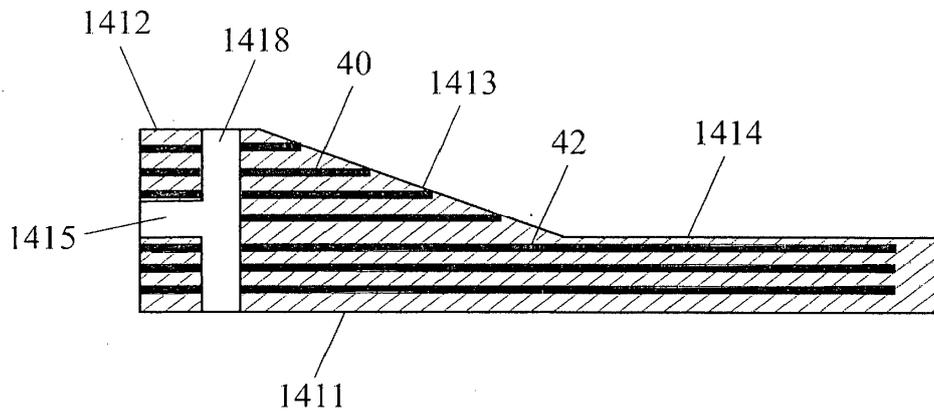


Fig. 6

1410

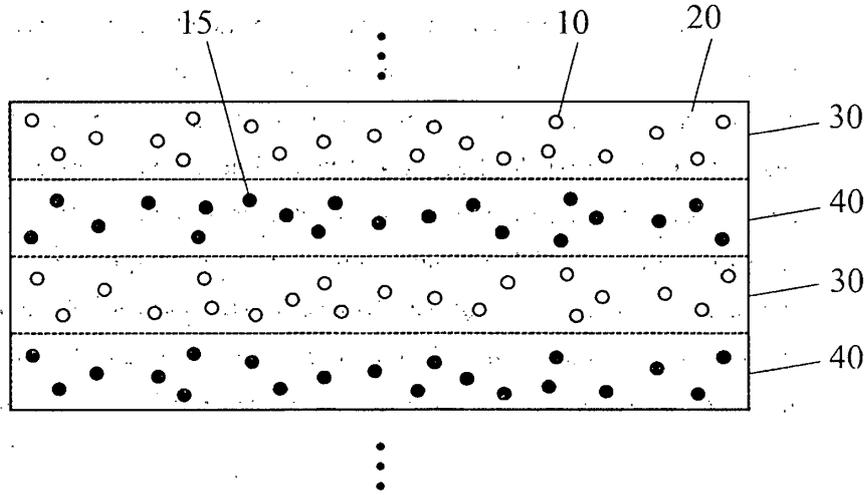


Fig. 7