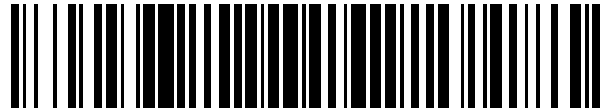


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 399 158**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.01.2008 E 08700903 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.11.2012 EP 2108083**

54 Título: **Pala reforzada para aerogenerador**

30 Prioridad:

25.01.2007 DK 200700118

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

26.03.2013

73 Titular/es:

**BLADENA APS (100.0%)
Sct. Hansgade 9, 2. sal
4100 Ringsted, DK**

72 Inventor/es:

JENSEN, FIND, MØLHOLT

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 399 158 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

Pala reforzada para aerogenerador

5 La presente invención se refiere a una pala reforzada para un aerogenerador de eje horizontal, de forma particular a una pala que tiene miembros de refuerzo para reforzar uno o más miembros estructurales en la pala, con el fin de evitar una distorsión cortante transversal de la pala cuando está cargada en funcionamiento.

10 Normalmente, una pala de aerogenerador tiene una concha aerodinámica y una viga maestra, tal como una viga o un larguero. La viga maestra puede ser una sola viga, pero a menudo se utilizan dos vigas maestras. Las dos vigas maestras junto con las partes de la concha se extienden entre las dos vigas maestras formando un perfil denominado cajeadado. La parte superior y la parte inferior del perfil cajeadado, a menudo se refieren como tapas. Algunos tipos de palas están diseñados con un larguero en forma de perfil cajeadado, el cual se fabrica de forma separada y se adhiere entre la superficie de las conchas prefabricadas. La concha aerodinámica está fabricada, normalmente, de plástico reforzado con fibra, fibra de vidrio y/u otros materiales. Normalmente, la concha aerodinámica está hecha de dos partes de concha que son ensambladas para formar la concha.

15 Bajo condiciones de funcionamiento normales, la pala del aerogenerador está sometida a cargas en un ángulo en una dirección frontal. Es normal descomponer esta carga en sus componentes en la dirección frontal y de canto. La dirección frontal es una dirección sustancialmente perpendicular a un eje transversal a través de una sección transversal de la pala. La dirección frontal puede, por lo tanto, estar constituida como la dirección, o la dirección opuesta / inversa, en la cual la elevación aerodinámica actúa sobre la pala. Las cargas de canto se producen en una dirección perpendicular a la dirección frontal. La pala está además sometida a cargas de torsión que son principalmente cargas aerodinámicas y cargas de inercia. Estas cargas pueden someter a la pala a movimientos armónicos u oscilaciones a la frecuencia natural de torsión de las palas; véase la figura 1 para una indicación de las cargas y las direcciones.

20 Durante el funcionamiento de la pala, las fuerzas cortantes transversales son generadas en la pala por las cargas frontales y de canto. Las fuerzas cortantes transversales están indicadas en una sección transversal típica de la pala mostrada en la figura 2a. Las fuerzas cortantes transversales son provocadas por las cargas frontal y de canto a causa de la geometría asimétrica típica y la distribución de material de la pala. Además, el hecho de que las cargas frontal y de canto no actúen a través del centro cortante de la pala contribuye a la generación de fuerzas cortantes transversales.

25 En un perfil cajeadado, las fuerzas cortantes transversales provocan momentos de flexión en plano altos en las esquinas del perfil cajeadado. Los momentos de flexión pueden ser contrarrestados incrementando el espesor del material del perfil cajeadado en las esquinas, pero el aumento del espesor afecta de forma negativa al peso de la pala sin una contribución justificada a la resistencia.

30 En las palas de aerogenerador en las que las vigas maestras son fabricadas de forma separada y se unen a las partes de la concha, se producen limitaciones en el proceso de fabricación para espesores de material pequeños, en la sección de la viga maestra que está conectada a la parte de la concha y por lo tanto esta parte de la pala tiene una rigidez de flexión baja.

35 La rigidez de flexión baja de las esquinas del perfil cajeadado combinada con los elevados momentos de flexión en la misma zona, significan que el perfil cajeadado se distorsiona fácilmente por las fuerzas cortantes transversales, a pesar del hecho de que el lateral, la parte superior y la parte inferior del perfil cajeadado pueden ser relativamente gruesos.

40 Un ejemplo del resultado de la distorsión cortante transversal causada por las fuerzas cortantes transversales se muestra la figura 2b. La distorsión, por lo tanto cambia la forma de la pala y esto tiene un efecto negativo en la resistencia final de la pala. Si la distorsión cortante transversal excede un cierto límite, el cual depende de la geometría y de la distribución de material de la pala, se reduce la resistencia a la presión por aplastamiento de la pala y puede suceder un colapso repentino de la pala. La presión por aplastamiento es provocada por las cargas frontales y sucede en el perfil cajeadado de la pala debido a su curvatura longitudinal. Este efecto es referido a menudo como ovalización, véase la figura 3. Para una explicación adicional de los efectos de la presión por aplastamiento, se hace referencia el artículo "Ensayo estructural y simulación numérica de una pala de aerogenerador de material compuesto de 34 m" por F. M. Jensen y otros, publicado por Elsevier en Estructuras de Materiales Compuestos 76 (2006) 52-61.

45 Además, una deformación de la viga maestra en la conexión entre la viga maestra y la concha puede llevar a un fallo por fatiga de la viga maestra o un fallo por fatiga en la conexión entre la viga maestra y la concha, o ambos.

5 US 4,976,587 describe una pala de aerogenerador que comprende una concha, una primera viga maestra y una segunda viga maestra, y dos miembros de refuerzo que aumentan la longitud de la pala para inhibir la distorsión cortante transversal de la pala, en donde cada uno de los miembros de refuerzo está conectado a respectivas primera y segunda vigas maestras en una conexión entre la respectiva viga maestra y la concha tanto a la parte superior como a la parte inferior de la concha y en donde cada uno de los miembros de refuerzo determina una barra angular en forma de "C" que sobresale de la respectiva viga maestra y con patas que sobresalen de la parte superior y de la parte inferior, respectivamente, de la concha.

Otra pala de turbina de eje horizontal se describe en US 4,339,230.

10 Por tanto, hay una necesidad de una pala de aerogenerador en la cual la configuración estructural del perfil de la pala esté diseñada contra la distorsión cortante transversal y en donde la estructura de la pala esté generalmente reforzada sin incrementar el peso total. Es además deseable proporcionar una pala de aerogenerador con una rigidez a torsión elevada.

15 Es por lo tanto un objeto de la invención proporcionar una pala de aerogenerador que esté diseñada contra la distorsión cortante transversal por fuerzas cortantes transversales provocadas por cargas frontales y de canto sobre la pala.

Es también un objeto de la presente invención proporcionar un perfil de pala reforzado para una pala de aerogenerador.

20 Es un objeto adicional proporcionar una pala de aerogenerador con una rigidez a torsión elevada, la cual reducirá las cargas de inercia dinámicas de la pala en las otras partes estructurales del aerogenerador, tales como la caja de cambios y la torre.

Es por lo tanto un objeto de la presente invención proporcionar una pala de aerogenerador con una resistencia mejorada contra las deformaciones del perfil de la pala.

Es otro objeto más de la presente invención proporcionar una pala de aerogenerador con una resistencia y una rigidez total elevada.

25 Es otro objeto más de la presente invención proporcionar una pala de aerogenerador con una resistencia al fallo por fatiga elevada.

Es otro objeto más de la presente invención proporcionar una pala de aerogenerador, la cual pueda fabricarse a un coste de fabricación reducido en comparación con las soluciones existentes.

30 Es aún otro objeto más de la invención proporcionar una pala de aerogenerador capaz de trabajar bajo cargas aerodinámicas severas y de optimizar la estabilidad aerodinámica, por ejemplo, la estabilidad aeroelástica de la pala.

Es además un objeto de la presente invención proporcionar alternativas al estado de la técnica.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, los objetos mencionados anteriormente y otros objetos son cumplidos por una pala de aerogenerador de eje horizontal de acuerdo con la reivindicación 1.

35 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, los objetos mencionados anteriormente y otros objetos son cumplidos por un método de acuerdo con la reivindicación 12.

40 Una pala de aerogenerador de eje horizontal que tiene un miembro de refuerzo de acuerdo con la presente invención reduce la distorsión cortante transversal del perfil y por lo tanto aumenta la resistencia de la pala a la presión por aplastamiento y por consiguiente aumenta la resistencia final de la pala de aerogenerador. Además, la eficiencia aerodinámica de la pala también se mejora dado que la forma elegida del perfil de la pala se mantiene a un nivel más alto que para una pala convencional.

Un miembro de refuerzo recto mantiene sus conexiones extremas en posiciones sustancialmente fijadas mutuamente y por tanto evita que aumente la distancia entre las conexiones, evitando por consiguiente la distorsión cortante transversal y por tanto, haciendo más resistente la concha contra fuerzas cortantes transversales.

45 Cada uno de los uno o más miembros de refuerzo aumenta la rigidez a torsión de la pala. Un incremento de la rigidez a torsión de la pala también incrementará la frecuencia natural a torsión de la pala y como consecuencia disminuyen las cargas de inercia dinámica de la pala y de otras partes del aerogenerador. Además, el incremento en la rigidez a torsión mejora la estabilidad aeroelástica de la pala de forma significativa.

5 La concha de la pala puede, de forma preferente, pero no exclusivamente, comprender un material compuesto o un material laminado. El material puede comprender, sólo o en combinación, fibra de vidrio, fibras de carbono, u otros materiales flexibles resistentes típicos con una alta proporción resistencia / peso, como otros materiales plásticos reforzados con fibra los cuales pueden además comprender, al menos en parte, metales de bajo peso o aleaciones. La concha puede ser, normalmente, un laminado o una construcción tipo sandwich. El espesor de la concha puede variar a lo largo de su longitud y de su anchura.

10 La parte superior de la concha tiene una superficie plana y durante el funcionamiento normal de la pala, la parte superior de la concha es el lado de succión de la pala. La parte inferior de la pala tiene una superficie más curvada y durante el funcionamiento normal de la pala, la parte inferior de la concha es el lado de presión de la pala. Por tanto, la parte superior de la concha es también denominada como el lado de succión de la concha, y la parte inferior de la concha es también denominada como el lado de presión de la concha.

15 Se dispone al menos una viga de refuerzo para reforzar principalmente a la pala lo largo de la extensión longitudinal de la pala. Una viga maestra puede referirse también como una red. A lo largo de la presente descripción, la viga maestra o la red debería de estar constituida como cualquier tipo de miembro constructivo alargado capaz de soportar cargas, como una viga o un larguero, por ejemplo, conformados como un perfil en "I", de forma preferente fabricados en materiales plásticos reforzados con fibra u otro material adecuado. La viga maestra se puede extender a lo largo de, sustancialmente, toda la longitud de la pala.

20 La pala puede tener dos o más vigas maestras separadas, situadas extremo con extremo, a lo largo de la extensión longitudinal de la pala, especialmente para facilitar el manejo o el transporte. En principio, se puede emplear cualquier número de vigas maestras sin embargo, por razones de sencillez y para mantener bajo el peso total de la pala tanto como sea posible, se prefieren una o dos vigas maestras.

25 El miembro de refuerzo puede estar sometido a fuerzas de tracción y compresión cuando la pala está cargada. Para evitar que el miembro de refuerzo pandee cuando está sometido a fuerzas de compresión, el miembro puede estar rigidizado con rebordes en la parte superior del miembro o travesaños en el lateral. Además, el miembro puede constituirse con una construcción tipo sandwich con un material espumado con laminados en cada cara.

30 En una pala de aerogenerador con uno o más miembros de refuerzo rectos de acuerdo con la invención, un primer extremo del miembro de refuerzo está conectado con la viga maestra en una posición idéntica con, o cerca o adyacente a donde la propia viga maestra está conectada a una de las dos partes de la concha. Por tanto, el miembro de refuerzo está conectado a la primera viga maestra en una conexión entre la primera viga maestra y la concha en una de las partes superior o inferior de la concha. Además un segundo extremo opuesto a cada uno de los miembros de refuerzo rectos puede estar conectado a una superficie interior de la otra parte de la concha. La conexión en la superficie interior de la concha puede, en principio, situarse en cualquier sitio, dado que el miembro de refuerzo ejerce un efecto de refuerzo razonable y útil en la pala en la posición seleccionada.

35 De forma preferente, pero no exclusivamente, el miembro de refuerzo recto puede estar conectado a un ángulo de 15° - 75° en relación con la viga maestra.

40 En una pala de aerogenerador con uno o más vigas maestras, cada uno de los uno o más miembros de refuerzo rectos puede estar situado de tal manera que conecta no sólo una superficie a una de las partes superior e inferior de la concha con una viga maestra, sino que también interconecta a dos vigas maestras. De forma preferente, cada uno de los uno o más miembros de refuerzo está situado de manera que interconecta a dos vigas maestras y las respectivas superficies internas de ambas partes de la concha.

45 Cuando se disponen dos o más vigas maestras, cada uno de los uno o más miembros de refuerzo puede conectar a dos vigas maestras, pero no podrá estar conectado a las respectivas superficies internas de las partes superior e inferior de la concha. De ese modo, el montaje de la pala de aerogenerador reforzada se puede hacer particularmente simple o puede comprender etapas de fabricación o montaje separadas.

Las conexiones entre los miembros de refuerzo y las respectivas vigas maestras pueden comprender cualquier tipo de unión adecuado, tales como soldado, pegado, fundido, adherido, fusionado o simples conexiones mecánicas.

Cuando el uno o más miembros de refuerzo están conectados a una superficie interna de las parte de la concha, dichas conexiones son de forma preferente conexiones adheridas.

50 Los miembros de refuerzo rectos tienen una forma sustancialmente recta, tal como la forma de una varilla o un alambre trenzado o miembro plano. Si la forma del miembro de refuerzo no es recta, la forma del miembro de refuerzo podría enderezarse cuando está sometida a la tensión que lleva al movimiento de sus conexiones extremas y obviamente, esto no es deseable.

Las conexiones en la superficie interna del perfil pueden, en principio, estar situadas en cualquier sitio sobre la superficie interna, pero debería apreciarse que la posición elegida provoca que el miembro de refuerzo sea capaz de proporcionar un efecto de refuerzo razonable y útil en el perfil. La conexión de los miembros de refuerzo a los puntos de conexión sobre la superficie interna del perfil evitan los efectos negativos de pandeo y ovalización descritos anteriormente. Las conexiones pueden comprender cualquier tipo de unión adecuada, tales como soldada, pegada, fundida, fusionado a u otras simples conexiones mecánicas. El propio miembro de refuerzo puede comprender las conexiones o puede comprender conexiones adicionales o partes de conexión adaptadas para conectar o cooperar con las conexiones en la superficie interna del perfil. Las conexiones adicionales o partes de conexión deben ser suficientemente rígidas para mantener su forma cuando están sometidas a tensión, con el fin de cooperar adecuadamente con los miembros de refuerzo para prevenir que las conexiones de las conchas se desplacen lejos unas de otras. El miembro de refuerzo puede estar conectado a la superficie interna de la concha del perfil. De forma preferente, la superficie interna de la concha está conformada de una manera correspondiente a la superficie externa de la misma, es decir, teniendo una curvatura sustancialmente transversal. El miembro de refuerzo puede por tanto de forma preferente estar situado sobre la superficie interna de la concha, de forma que habrá un cierto espacio (o distancia) entre el miembro de refuerzo y la superficie interna del perfil.

El miembro de refuerzo asegura y mantiene la curvatura transversal del perfil, sustancialmente invariable, cuando el perfil aerodinámico esta cargado con fuerzas en la dirección frontal. Con el miembro de refuerzo de acuerdo con la presente invención, las dimensiones de la concha pueden reducirse en comparación con el estado de la técnica llevando a reducir las cargas en otras partes del aerogenerador, mejorando las características de manejo y transporte de la pala y reduciendo el coste.

En un modo de realización de la invención con un perfil cajado, cada uno de los uno o más miembros de refuerzo rectos conecta dos esquinas diagonalmente opuestas o regiones de esquina del perfil cajado. Una región de esquina es una región aproximada e incluye la conexión de la respectiva viga maestra a la respectiva superficie de la concha. En otras palabras, la distorsión no deseada de la pala provocada por las fuerzas cortantes transversales puede reducirse o evitarse, manteniendo esquinas, o regiones cerca de las esquinas, del perfil cajado en posiciones fijas unas con respecto a otras. Esto mejora la resistencia total de la pala y también puede facilitar el diseño de la pala con un peso total inferior.

Dos o más miembros de refuerzo rectos pueden situarse extremo con extremo o separados a lo largo del eje longitudinal de la pala, de tal manera que los miembros de refuerzo contiguos se alternan entre esquinas diagonalmente opuestas, o regiones de esquina, en el perfil cajado a lo largo de, al menos, una parte de la extensión longitudinal de la pala. Por tanto, un primer miembro de refuerzo se extiende entre dos esquinas diagonalmente opuestas del perfil cajado y un segundo miembro de refuerzo contiguo se extiende entre las dos esquinas opuestas a las esquinas diagonalmente opuestas del perfil cajado. Un tercer miembro de refuerzo adyacente al segundo miembro de refuerzo se extiende entre dos esquinas opuestas a lo largo, sustancialmente, de la misma dirección que la extensión del primer miembro de refuerzo.

A lo largo de la presente descripción, las dos esquinas diagonalmente opuestas conectadas mediante un miembro de refuerzo se van a referir como un conjunto de esquinas.

Un miembro de refuerzo puede comprender uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en varillas, placas, cables, cuerdas, tubos, textiles y tejidos. Los miembros de refuerzo pueden estar hechos de cualquier material adecuado. El material plástico reforzado con fibras es por el momento preferido para varillas, placas y tubos. Si se dispone un elemento del tipo varilla, placa o tubo, dicho elemento puede estar subdividido en dos o más segmentos de refuerzo más pequeños en el tramo existente entre el conjunto de esquinas. Dichos elementos más pequeños pueden estar conectados entre sí o pueden estar conectados a uno o más de los otros miembros de refuerzo que abarcan las otras dos esquinas opuestas del perfil cajado. Los miembros de refuerzo pueden estar conectados a las vigas maestras, a las superficies internas de las partes de concha y entre sí por medios de adhesión o medios mecánicos.

Los miembros de refuerzo pueden comprender una placa, posiblemente con uno o más cortés, por ejemplo una placa laminada, como una construcción tipo sandwich, de forma preferente, pero no exclusivamente, que comprende una capa de un material espumado ligero provisto entre dos capas de material plástico reforzado con fibra.

En un modo de realización de la invención, se disponen y configuran dos o más miembros de refuerzo rectos a una distancia de las extremidades externas de cada uno no excediendo $2 \times D$, donde D es la distancia abarcada de uno de los miembros de refuerzo, es decir la distancia entre dos conexiones opuestas del miembro de refuerzo recto, por ejemplo, entre un conjunto de esquinas en el perfil cajado. El valor del parámetro D puede ser idéntico para dos o más miembros de refuerzo rectos contiguos. Sin embargo, dado que la anchura de la sección transversal de la pala del aerogenerador, normalmente, disminuya hacia la punta de la pala, la distancia D_2 de un miembro de refuerzo situado cerca de la punta será menor que la distancia D_1 de un miembro de refuerzo situado cerca del buje del aerogenerador. La distancia resultante máxima entre dos miembros de refuerzo contiguos se puede calcular, de forma preferente, basándose en la mínima de las distancias, es decir, la distancia D_2 , o basándose en el valor

5 medido de D1 y D2. Se ha comprobado que los valores de la distancia resultante D cumplen esta relación, hay un buen equilibrio entre la habilidad de los miembros de refuerzo de absorber las fuerzas cortantes, el peso total de la pala del aerogenerador y la rigidez de las palas. Sin embargo, la distancia máxima entre el dos miembros de refuerzo puede, en su lugar, estar basada en otros requisitos, tales como, pero no limitado a, una necesidad para un diseño de una pala de aerogenerador particularmente fuerte, por ejemplo, cuando el aerogenerador está destinado a estar sometido a condiciones de tiempo severas de forma repetida, como cuando se levanta el mar abierto.

Dos o más miembros de refuerzo se pueden situar en ciertas secciones de la pala sólo, posiblemente, sin ninguna distancia máxima calculada o predeterminada.

10 En una pala con dos o más miembros de refuerzo, los miembros pueden ser del mismo tipo o pueden tener diferentes geometrías, y posiblemente pueden estar fabricados de diferentes materiales. Los miembros pueden estar situados de manera que abarcan las mismas dos esquinas opuestas, por ejemplo, a lo largo de la extensión longitudinal de la pala, o se pueden alternar entre los conjuntos de esquinas opuestas.

Los miembros de refuerzo pueden estar situados en posiciones en las que se espera los establece una distorsión transversal sustancial de las palas.

15 En un modo de realización de la invención, dos miembros de refuerzo pueden constituir las patas de un miembro de refuerzo con forma de "X", por ejemplo, producido como un miembro integral, e interconectando la parte superior de la concha con la parte inferior de la concha en puntos de conexión respectivos de las vigas maestras a las partes superior e inferior de la concha.

20 Los miembros de refuerzo con forma de "X" pueden estar hechos a partir de dos miembros de refuerzo rectos que son unidos para formar un miembro de refuerzo con forma de "X". El miembro de refuerzo con forma de "X" puede, de forma preferente, estar montado a partir de placas de material plástico reforzado con fibra, laminadas entre sí. Se pueden proporcionar peanas en los extremos de los miembros de refuerzo individuales que forman las patas del miembro con forma de "X", las peanas facilitan la conexión, de forma particular por medios de adhesión, a las respectivas superficies de la concha o de la viga maestra o de ambos, de la pala. Sin embargo, las conexiones se pueden obtener de otras maneras, como mediante laminación secundaria, medios de conexión mecánica, etc., o cualquier combinación de dichas medidas de conexión.

30 Además, el miembro con forma de "X" puede estar fabricado en una pieza. Los extremos de las patas del único miembro con forma de "X" pueden, de forma preferente, estar conectados con las vigas maestras mediante adhesión. La adhesión puede realizarse antes de la conexión de las vigas maestras a las superficies internas de la concha de la pala. Sin embargo, el miembro de refuerzo y las vigas maestras también pueden proporcionarse como un único miembro integrado, de forma preferente, de un material plástico reforzado con fibra, el cual está conectado a las partes de la concha.

35 Cuando se disponen dos o más miembros de refuerzo con forma de "X", los miembros pueden estar situados sólo en ciertas secciones de la pala y no a cualquier distancia predeterminada o calculada. De forma concreta, pero no exclusivamente, los miembros con forma de "X" pueden estar situados en posiciones en las que se espera o se establece una distorsión transversal sustancial de la pala.

40 Durante el funcionamiento de la pala, sólo una de las patas del miembro con forma de "X" puede estar sometida a una carga, esta pata estará sometida a tensión sólo por donde el material del miembro de refuerzo sea utilizado en un alto grado, por tanto, reduciendo el espesor de material requerido del miembro y por consiguiente manteniendo el peso total de la pala mínimo.

El montaje de una pala aerogenerador con miembros con forma de "X" se puede facilitar montando los miembros con forma de "X" y las vigas maestras antes del ensamblado con las partes de la concha, o fabricando los miembros con forma de "X" y las vigas maestras en una pieza, por tanto facilitando al menos un control de calidad mejor de las partes durante el montaje.

45 En una pala de aerogenerador con miembros con forma de "X", se puede disponer una cavidad entre un miembro y una respectiva viga maestra o la superficie interna de una parte de la concha. Con el fin de facilitar el montaje del miembro de refuerzo con las vigas maestras o con las partes de la concha o con ambas, la cavidad puede estar rellena con un material espumado ligero para facilitar el posicionamiento del miembro con forma de "X".

50 La pala de aerogenerador puede estar diseñada de forma que se produzca una distorsión cortante en una sola dirección, de forma que un miembro de refuerzo recto pueda estar situado de manera que estará sometido a una sola tensión.

- 5 La dirección de la distorsión cortante puede controlarse mediante una orientación adecuada de las capas de material plástico reforzado con fibra de la concha, sustancialmente, en una única dirección específica, o por un posicionamiento adecuado de la una o más vigas maestras en la pala, o mediante un posicionamiento de una o más vigas maestras a un ángulo específico con respecto a la dirección frontal, o cualquier combinación de dichas medidas.
- 10 Un miembro de refuerzo recto que esté situado de tal manera que estará sometido a una sola tensión mantiene sus conexiones extremas en posiciones fijadas mutuamente, de manera sustancial, y por tanto evita que la distancia entre las conexiones aumente, por consiguiente reforzando la concha contra las fuerzas en la dirección frontal. Dado el miembro de refuerzo tiene que tener una sola resistencia tensional, es decir, el miembro de refuerzo no necesita soportar otras caras; el miembro de refuerzo es, de forma preferente, delegado, de manera que su peso y costes se mantengan al mínimo.
- Aun cuando un miembro de refuerzo recto puede estar sometido a una única tensión, el miembro puede también ser capaz de soportar fuerzas de compresión, por ejemplo, el miembro puede comprender un tubo o una placa de un laminado o una construcción tipo sandwich que sea capaz de soportar las fuerzas de compresión.
- 15 El uno o más miembros de refuerzo se pueden diseñar de forma individual de manera que la flexión y la torsión de la pala se combinan para soportar las altas cargas de fuertes rachas de viento. Esto conlleva cargas de fatiga menores en la pala y también facilita un rendimiento energético mayor del aerogenerador. El diseño individual puede incluir el pre-tensado de algunos de los miembros de refuerzo.
- 20 Cada uno de los miembros de refuerzo podrá comprender uno o más transductores electromecánicos, tales como transductores piezoeléctricos, que pueden cambiar la extensión de los medios de refuerzo correspondientes en ciertas direcciones, como respuesta a una señal de control individual, tal como un voltaje, una corriente, un campo eléctrico, un campo magnético, por ejemplo, para imponer esfuerzos en los miembros que combinan la flexión y la torsión de la pala.
- 25 Más abajo se describirá la invención con mayor detalle con referencia a los modos de realización a modo de ejemplo ilustrados en los dibujos, en donde.
- La figura 1 muestra de forma esquemática en perspectiva una pala de aerogenerador y flechas que indican las direcciones frontal y de canto y las cargas torsionales, respectivamente,
- La figura 2a es una sección transversal esquemática de una pala de aerogenerador con flechas que indican direcciones de fuerzas cortantes transversales en la pala,
- 30 La figura 2b muestra de forma esquemática la deformación de una sección transversal de una pala de aerogenerador provocada por las fuerzas cortantes transversales,
- La figura 3 es una sección transversal esquemática de una pala de aerogenerador con flechas que indican la presión por aplastamiento en la pala,
- 35 La figura 4 es una sección transversal esquemática de una pala de aerogenerador con un miembro de refuerzo con forma de "X" que interconecta a dos vigas maestras y la parte superior e inferior de la concha,
- La figura 5 es una sección transversal esquemática de una pala de aerogenerador con otro miembro de refuerzo con forma de "X" que interconecta a dos vigas maestras,
- La figura 6 es una sección transversal esquemática de una pala de aerogenerador con otro miembro de refuerzo más con forma de "X" que interconecta a dos vigas maestras y la parte superior e inferior de la concha,
- 40 La figura 7 es una sección transversal esquemática de una pala de aerogenerador con aún otro miembro de refuerzo con forma de "X" más que interconecta a dos vigas maestras y la parte superior e inferior de la concha,
- La figura 8 es una sección transversal esquemática de una pala de aerogenerador con un miembro de refuerzo recto,
- 45 La figura 9 muestra de forma esquemática en perspectiva una pala de aerogenerador con parte de la superficie de la concha eliminada para hacer visible una pluralidad de miembros de refuerzo rectos situados internamente, los cuales se extienden a lo largo de direcciones cruzadas,

La figura 10 muestra de forma esquemática en perspectiva una pala de aerogenerador con parte de la superficie de la concha eliminada para hacer visible dos vigas maestras situadas internamente, conectadas mediante un miembro de refuerzo con forma de "X" que se extiende a lo largo de la extensión longitudinal de la pala,

5 La figura 11 muestra la deformación de una pala de aerogenerador convencional en un sector cercano a la raíz de la pala, y

La figura 12 muestra la deformación de una pala de aerogenerador de acuerdo con la invención en un sector cercano a la raíz de la pala.

10 Las figuras son esquemáticas y simplificadas por claridad, y simplemente muestran detalles que son esenciales para la comprensión de la invención, mientras que otros detalles han sido omitidos. En adelante, se emplean las mismas referencias numéricas para partes idénticas o correspondientes.

La presente invención se describirá a continuación de forma más completa con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales se muestran modos de realización a modo de ejemplo de la invención.

15 La figura 1 muestra de forma esquemática en perspectiva una pala 1 de aerogenerador y flechas que indican las direcciones frontal F, de canto E y cargas torsionales T, respectivamente. La sección transversal S1 se muestra en las figuras 2a y 2b.

La figura 2a es una sección transversal esquemática S1 de una pala de aerogenerador y las flechas indican direcciones C de fuerzas cortantes transversales en la pala.

20 La figura 2b muestra de forma esquemática la deformación de una sección transversal S1 de una pala 1 de aerogenerador provocada por las fuerzas cortantes transversales. La pala 1 ilustrada está retorcida en la dirección de las agujas del reloj por las fuerzas cortantes transversales.

25 La figura 3 es una sección transversal esquemática de una pala 1 de aerogenerador que tiene una concha 2 con un borde anterior 3 y un borde posterior 4. La pala 1 de aerogenerador tiene un perfil cajeadado con dos vigas maestras 5 y tapas 10 y 11 de la concha 2 situadas entre las vigas maestras. Las fuerzas aerodinámicas y de inercia que trabajan sobre la pala en funcionamiento provocan un momento de flexión en la pala y crean una presión por aplastamiento indicada por las flechas B. La presión por aplastamiento también se refiere como el efecto Brazier (se hace referencia en el artículo "Ensayo estructural y simulación numérica de una pala de aerogenerador de material compuesto de 34 m" por F. M. Jensen y otros publicado por Elsevier en Estructuras de Materiales Compuestos 76 (2006) 52-61).

30 La figura 4 es una sección transversal esquemática de una pala 20 de aerogenerador con un miembro de refuerzo 24 con forma de "X" que interconecta a dos vigas maestras 21 y la parte superior 22 de tapa engrosada y la parte inferior 23 de tapa engrosada de la concha. Las dos vigas maestras 21 y las partes de tapa engrosadas 22 y 23 de la pala constituyen un perfil cajeadado. El perfil cajeadado está reforzado con dos miembros de refuerzo 24 con forma de "X". En el modo de realización ilustrado, el miembro de refuerzo 24 esta conectado a ambas vigas maestras 21 y las superficies internas de tanto la parte superior 25 como la parte inferior 26 de la concha de la pala. En el modo de realización ilustrado, las partes 21, 24, 25 y 26 están conectadas entre sí con conexiones por adhesión 27 - 30, respectivamente. El miembro de refuerzo 24 con forma de "X" comprende peanas, cada una de las cuales proporciona una amplia superficie para la adhesión con las respectivas vigas maestras 21 y las partes 25, 26 de la concha. En el modo de realización ilustrado, el miembro de refuerzo 24 con forma de "X" está fabricado en una pieza. Cada pata del miembro de refuerzo con forma de "X" constituye un miembro de refuerzo recto. Se sitúa material espumado 40 en la cavidad entre el miembro 24 y la superficie interna de la tapa 23. En el modo de realización ilustrado, la forma del material espumado 40 coincide con la forma de la cavidad, en la cual el material 40 puede guiar el posicionamiento del miembro 24 durante el montaje de la pala.

45 La figura 5 es una vista frontal del perfil cajeadado de una pala 20 de aerogenerador de acuerdo con un modo de realización de la invención. El perfil cajeadado comprende dos vigas maestras 21 y tapas engrosadas 22 y 23 de la pala. En el modo de realización ilustrado, la pala tiene un perfil cajeadado el cual está reforzado con dos miembros de refuerzo rectos con forma de varillas 24a y 24b. En la figura 5, la varilla 24a esta situada enfrente de la varilla 24b. En el modo de realización ilustrado, la posición de los miembros de refuerzo rectos individuales 24a, 24b pueden alternarse a lo largo de la extensión longitudinal de la pala. En la figura 5, la varilla 24a conecta la esquina izquierda superior 32 del perfil cajeadado con la esquina derecha inferior 33 del perfil cajeadado. La varilla 24b conecta la esquina derecha superior 35 con la esquina izquierda inferior 34 del perfil cajeadado. Cabe señalar que las varillas 24a y 24b no están conectadas directamente en las esquinas 32 - 35. En su lugar, las varillas 24a, 24b están conectadas a las respectivas vigas maestras 21 próximas a las superficies internas de la respectivas partes 25 y 26 de la concha. En la figura, los miembros de refuerzo 24a y 24b conectan a ambas vigas maestras 21. En el modo de realización ilustrado, los miembros de refuerzo 24 están conectados mecánicamente a las vigas maestras 21, llevando las

varillas 24a y 24b a través de aberturas adecuadas en las vigas maestras 21 y sujetándolas por medio de una conexión mecánica 36, tal como una tuerca que engancha con una sección roscada de la parte extrema de las varillas 24a y 24b. Las vigas maestras 21, además, tienen miembros de retención 37 para guiar y sujetar la conexión 36.

5 La figura 6 es una sección transversal esquemática de una pala 20 de aerogenerador con otro miembro de refuerzo 24 que interconecta a la dos vigas maestras 21 y a las tapas superior e inferior 22, 23 de la concha. Las dos vigas maestras 21 y las partes de tapa engrosada 22 y 23 de la pala forman un perfil cajeadado. En el modo de realización ilustrado, el perfil cajeadado está reforzado con un miembro de refuerzo 24 con forma de "X" que comprende dos miembros de refuerzo rectos que constituyen las patas del miembro con forma de "X". La placa 24a constituye uno de los miembro de refuerzo rectos, y las placas 24b, 24c constituyen el otro miembro de refuerzo recto. La placa 24a conecta la esquina izquierda superior 32 con la esquina derecha inferior 33 del perfil cajeadado. La placa 24b conecta la esquina derecha superior 35 con una primera superficie de la placa 24a y está conectada a la superficie de la placa 24a en la conexión 38. La placa 24c conecta la esquina izquierda inferior 34 del perfil cajeadado con un segundo lado de la placa 24a y está conectada a la otra superficie de la placa 24a en la conexión 39. Las placas 24b y 24c están sustancialmente alineadas y cooperan para conectar el conjunto de esquinas 34, 35 opuesto del perfil cajeadado. El miembro de refuerzo con forma de "X" además comprende anclajes 41 para la conexión con las respectivas esquinas 32 - 35. En el modo de realización ilustrado, los anclajes 41 están adheridos a la superficie interna del perfil cajeadado. Las placas 24a - c están dispuestas entre dos superficies de recepción 42 de los anclajes y las placas 24a - c están unidas o adheridas a los anclajes 41. Se disponen anclajes similares en las conexiones 38 y 39.

20 La figura 7 es una sección transversal esquemática de una pala 20 de aerogenerador con otro miembro más de refuerzo 24 con forma de "X" que interconecta a dos vigas maestras 21 y a la parte superior 25 y a la parte inferior 26 de la concha. Las dos vigas maestras 21 y las tapas engrosadas 22 y 23 de la pala constituyen un perfil cajeadado. En el modo de realización ilustrado, el miembro de refuerzo 24 con forma de "X" está hecho con dos placas en ángulo 43a, 43b. Las placas en ángulo 43a y 43b tienen en una forma generalmente triangular. Cada una de las placas en ángulo 43a y 43b tienen una peana 44 y un saliente 45 que facilita la conexión de las placas en ángulo 43a y 43b. En el modo de realización ilustrado, la peana 44 de las placas en ángulo 43a y 43b está adherida a pestañas de las vigas maestras 21 y a las superficies internas de las partes de la concha 25 y 26 de la pala en las esquinas 32 - 35 del perfil cajeadado. Los salientes 45 de las placas en ángulo están adheridos entre sí en la conexión 46. Además, se dispone un material espumado 40, por ejemplo, en una cavidad definida entre la placa en ángulo 43a y la viga maestra 21. El material espumado 40 tiene una forma que coincide con la forma de la cavidad y es utilizado para guiar el posicionado del miembro de placa 43a durante el montaje.

La figura 8 es una sección transversal esquemática de una pala 20 de aerogenerador con un miembro de refuerzo recto 47. Las dos vigas maestras 21 y las partes 22 y 23 de tapa engrosadas de la pala constituyen un perfil cajeadado. El perfil cajeadado está reforzado con un único miembro de refuerzo recto 47 en forma de placa 47. La placa 47 es una construcción tipo sandwich con capas externas 48 de plástico reforzado con fibra en ambos lados de un material espumado 49. El miembro de refuerzo recto 47 tiene una peana 50 que proporciona superficies de conexión para adherir el miembro 47 a la respectiva viga maestra 21 y a las partes 25, 26 de la concha. La peana 50 está adherida a respectivas pestañas de las vigas maestras 21 así como a las superficies internas de la respectivas partes de la concha 25 y 26, de manera que el miembro de refuerzo recto 47 conecta las esquinas 34 y 35 del perfil cajeadado. La placa 47 puede proporcionar refuerzo contra las fuerzas de tracción y las fuerzas de compresión.

La figura 9 muestra esquemáticamente en perspectiva una pala 20 de aerogenerador con parte de la superficie de la concha eliminada para hacer visibles una pluralidad de miembros de refuerzo rectos 51, 52, situados internamente, los cuales se extienden transversalmente a lo largo de direcciones cruzadas. La pala 20 esta reforzada cuando el miembro del refuerzo rectos 51, 52, similares a los miembros de refuerzo rectos 47 mostrados en la figura 8, es decir, cada uno de los miembros de refuerzo 51, 52 es una placa, por ejemplo, de una construcción tipo sandwich. En el modo de realización ilustrado, los miembros de refuerzo rectos 51, 52 están situados a una distancia mutua D (no indicada) a lo largo de la extensión longitudinal de la pala 20. Se aprecia que el primer miembro de refuerzo 51 se extiende entre dos esquinas diagonalmente opuestas del perfil cajeadado y el segundo miembro de refuerzo 52 contiguo se extiende entre las otras dos esquinas diagonalmente opuestas del perfil cajeadado.

La figura 10 muestra esquemáticamente en perspectiva una pala 20 de aerogenerador con parte de la superficie de la concha eliminada para hacer visibles dos vigas maestras 21 situadas internamente, conectadas mediante un miembro de refuerzo con forma de "X" 53 que se extiende a lo largo de la extensión longitudinal de la pala 20. La pala 20 esta reforzada con un miembro de refuerzo con forma de "X" 53 que conecta a las esquinas del perfil cajeadado. El miembro de refuerzo recto 53 está fabricado en una pieza y tiene una peana 54 conectada a las pestañas de las vigas maestras 21. El miembro de refuerzo recto 53 y las vigas maestras 21 están ensamblados antes de la conexión con las partes 25 y 26 de la concha.

Un modo de realización de la invención fue analizado con respecto a la resistencia aumentada y comparado con una pala de aerogenerador convencional empleando modelización numérica de una pala de aerogenerador de 34 m diseñada para una utilización en un aerogenerador de 1.5 MW.

El análisis numérico incluía análisis por Elementos Finitos de un modelo que contiene más de 150000 concha y elementos 3D. En el análisis fueron utilizados software y algoritmos avanzados para tener en cuenta el efecto de deformaciones geométricas no lineales.

5 El modelo de la pala ha sido verificado con un ensayo a escala directa de la pala ("Ensayo estructural y simulación numérica de una pala de aerogenerador de material compuesto de 34 m" por F. M. Jensen y otros publicado por Elsevier en Estructuras de Materiales Compuestos 76 (2006) 52-61). La pala fue cargada con una combinación de cargas tanto en la dirección frontal como en la de canto, las cuales deberían simular las cargas de funcionamiento de la pala.

10 El análisis mostró una reducción significativa de la distorsión cortante transversal cuando la pala estaba equipada con la invención. Las figuras 11 y 12 muestran el resultado del análisis de un sector cercano a la raíz de la pala.

El análisis muestra una reducción de la distorsión cortante transversal del perfil y esto aumenta la resistencia de la pala a la presión por aplastamiento y por lo tanto aumenta la resistencia final de la pala de aerogenerador.

Además, la eficiencia aerodinámica de la pala también se mejora dado que la forma diseñada de perfil de la pala se mantiene a un grado mayor que para una pala convencional.

15

REIVINDICACIONES

1. Una pala (20) de aerogenerador de eje horizontal que comprende una concha,
 5 una primera viga maestra (21) conectada a una parte superior (25) y una parte inferior (26) de la concha, y caracterizada porque se sitúa un miembro de refuerzo recto (24) para inhibir la distorsión cortante transversal de la pala (20) en una sección transversal de la pala y está conectado a
 la primera viga maestra (21) en una conexión entre la primera viga (21) y la concha en una de las partes superior (25) e inferior (26) de la concha, y conectada a
 10 la otra de las partes superior (25) e inferior (26) de la concha a una distancia de la viga maestra (21).
2. Una pala (20) de aerogenerador de eje horizontal según la reivindicación 1, que además comprende una segunda viga maestra (21) y en donde el miembro de refuerzo (24) es un primer miembro de refuerzo recto (24) que interconecta la primera y segunda viga maestras (21) entre una conexión entre la primera viga maestra (21) y la concha en una de las partes superior (25) e inferior (26) de la concha y una conexión entre la segunda viga maestra (21) y la concha en la otra de las partes superior (25) e inferior (26) de la concha.
 15
3. Una pala (20) de aerogenerador de eje horizontal según la reivindicación 2, que además comprende un segundo miembro de refuerzo recto (24) que interconecta la primera y la segunda vigas maestras (21) entre una conexión entre la primera viga maestra (21) y la concha en una de las partes superior (25) e inferior (26) de la concha que es opuesta a la conexión del primer miembro de refuerzo recto (24) con la primera viga maestra (21) y una conexión entre la segunda viga maestra (21) y la concha en otra de las partes superior (25) e inferior (26) de la concha, en donde el primer y segundo miembros de refuerzo rectos (24) forman una cruz en una sección transversal de la pala.
 20
4. Una pala (20) de aerogenerador de eje horizontal según la reivindicación 3, en donde el primer y segundo miembros de refuerzo rectos conforman un miembro de refuerzo (24) con forma de "X" que interconecta la parte superior (25) de la concha con la parte inferior (26) de la concha, en los respectivos puntos de conexión de las vigas maestras (21) a las partes superior e inferior (25, 26) de la concha.
 25
5. Una pala (20) de aerogenerador de eje horizontal según la reivindicación 4, en donde el miembro de refuerzo (24) con forma de "X" está fabricado en una pieza.
6. Una pala (20) de aerogenerador de eje horizontal según la reivindicación 5, en donde el miembro de refuerzo (24) con forma de "X" (24) y las vigas maestras (21) están dispuestos como un único miembro integrado.
- 30 7. Una pala (20) de aerogenerador de eje horizontal según las reivindicaciones 3-6, en donde las vigas maestras (21) forman un perfil cajeado y el miembro de refuerzo recto (24) conecta dos regiones de esquina diagonalmente opuestas (32, 33; 34, 35) del perfil cajeado.
8. Una pala (20) de aerogenerador de eje horizontal según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el miembro de refuerzo recto (24) comprende al menos un elemento seleccionado entre el grupo que consiste en una placa, una varilla (24a, 24b), un cable, una cuerda, un tubo, un textil o un tejido.
 35
9. Una pala (20) de aerogenerador de eje horizontal según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una pluralidad de miembros de refuerzo rectos (24) situados distanciados a lo largo de la extensión longitudinal de la pala (20) con una distancia mutua que es menos que $2xD$, en donde D es la distancia de las conexiones opuestas de uno de la pluralidad de miembros de refuerzo (24) a la parte superior (25) y a la parte inferior (26) de la concha, respectivamente.
 40
10. Una pala (20) de aerogenerador de eje horizontal según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde al menos un miembro de refuerzo comprende una placa laminada (47).
11. Una pala (20) de aerogenerador de eje horizontal según la reivindicación 10, en donde la placa laminada (47) es una construcción tipo sándwich.
- 45 12. Un método para inhibir la distorsión cortante transversal en una pala (20) de aerogenerador según la reivindicación 1, que comprende una concha, una primera viga maestra (21), en donde la primera viga maestra (21) está conectada a una parte superior (25) de la concha y a una parte inferior (26) de la concha, caracterizado porque el método comprende las etapas de
 proporcionar un miembro de refuerzo recto (24) con un primer extremo y un segundo extremo opuesto, y
 50 conectar, en una sección transversal de la pala, el primer extremo a la primera viga maestra (21) en la conexión entre la primera viga maestra (21) y la concha, en la parte superior (25) o en la parte inferior (26) de la concha, y conectar el segundo extremo de la parte opuesta de la concha a una distancia de la viga maestra (21).

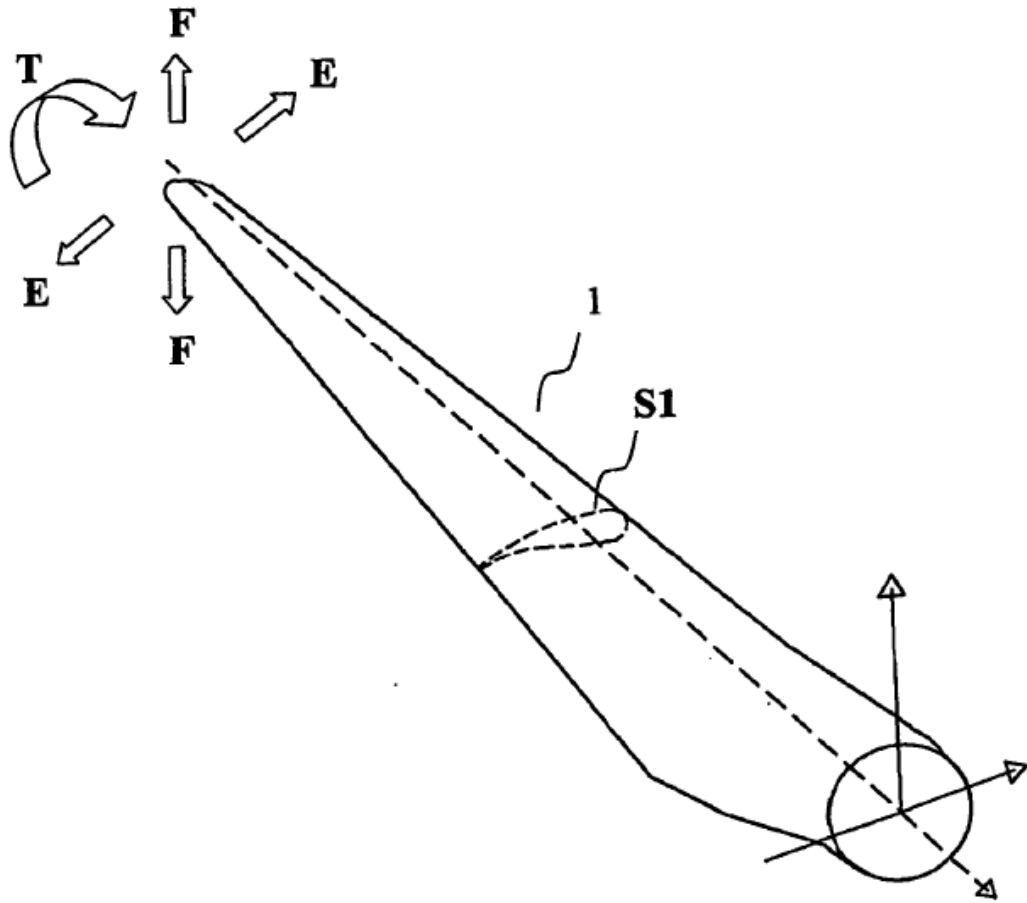


Fig. 1

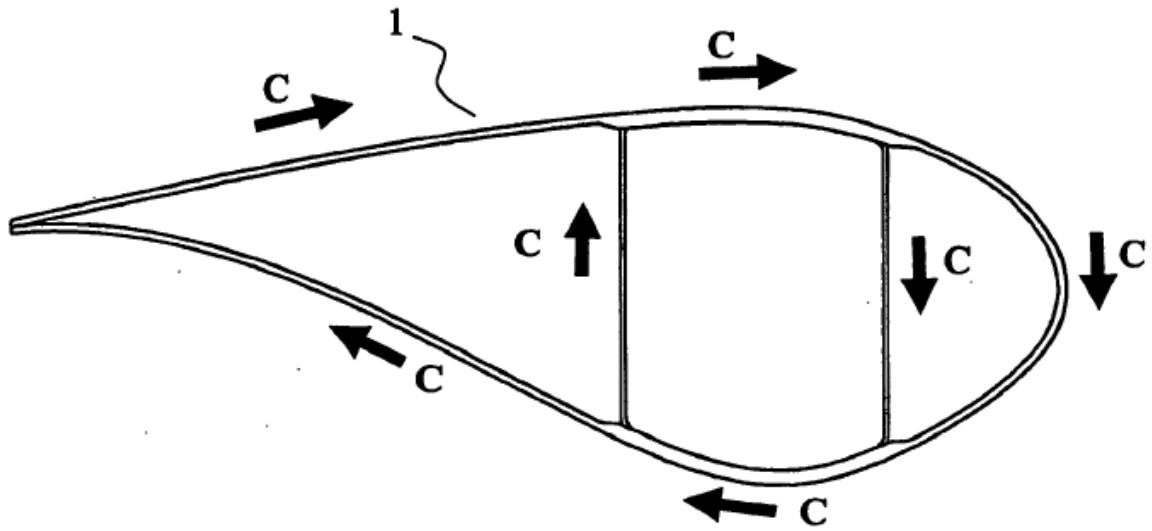


Fig. 2a

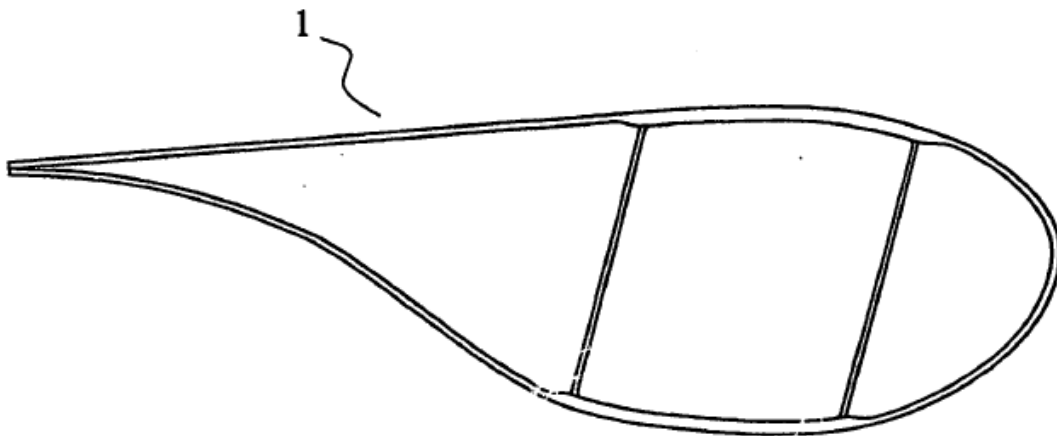


Fig. 2b

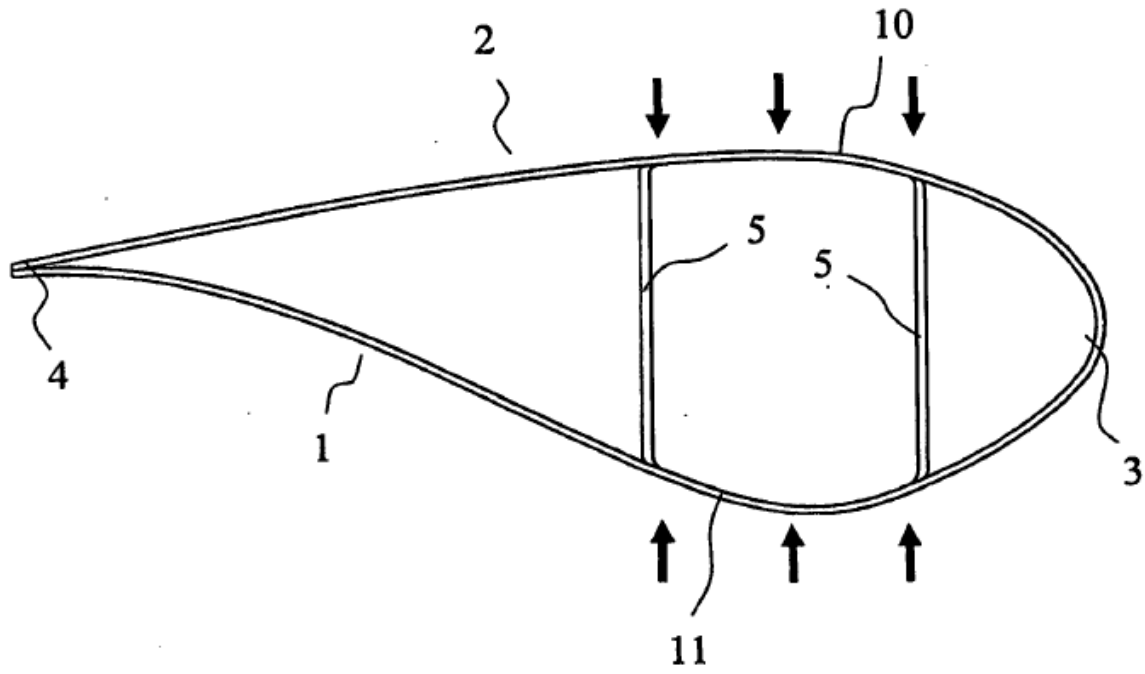


Fig. 3

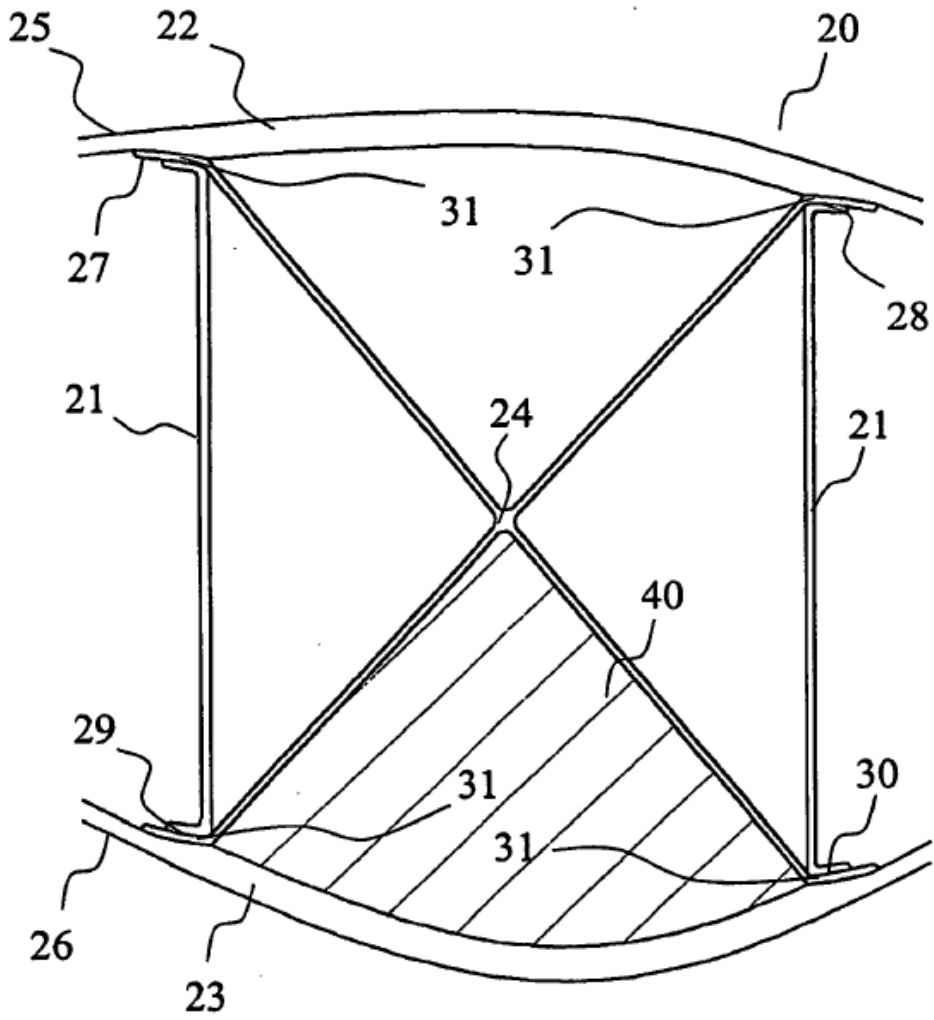


Fig. 4

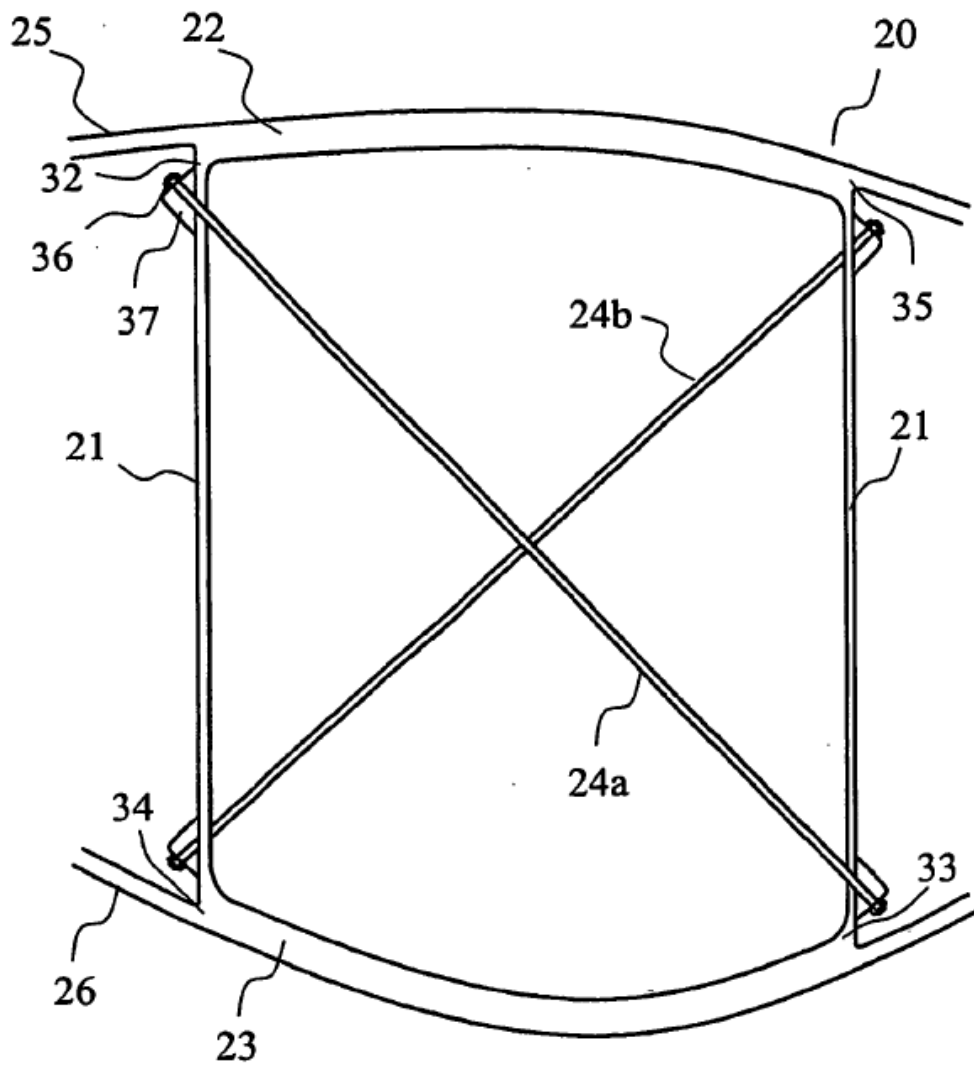


Fig. 5

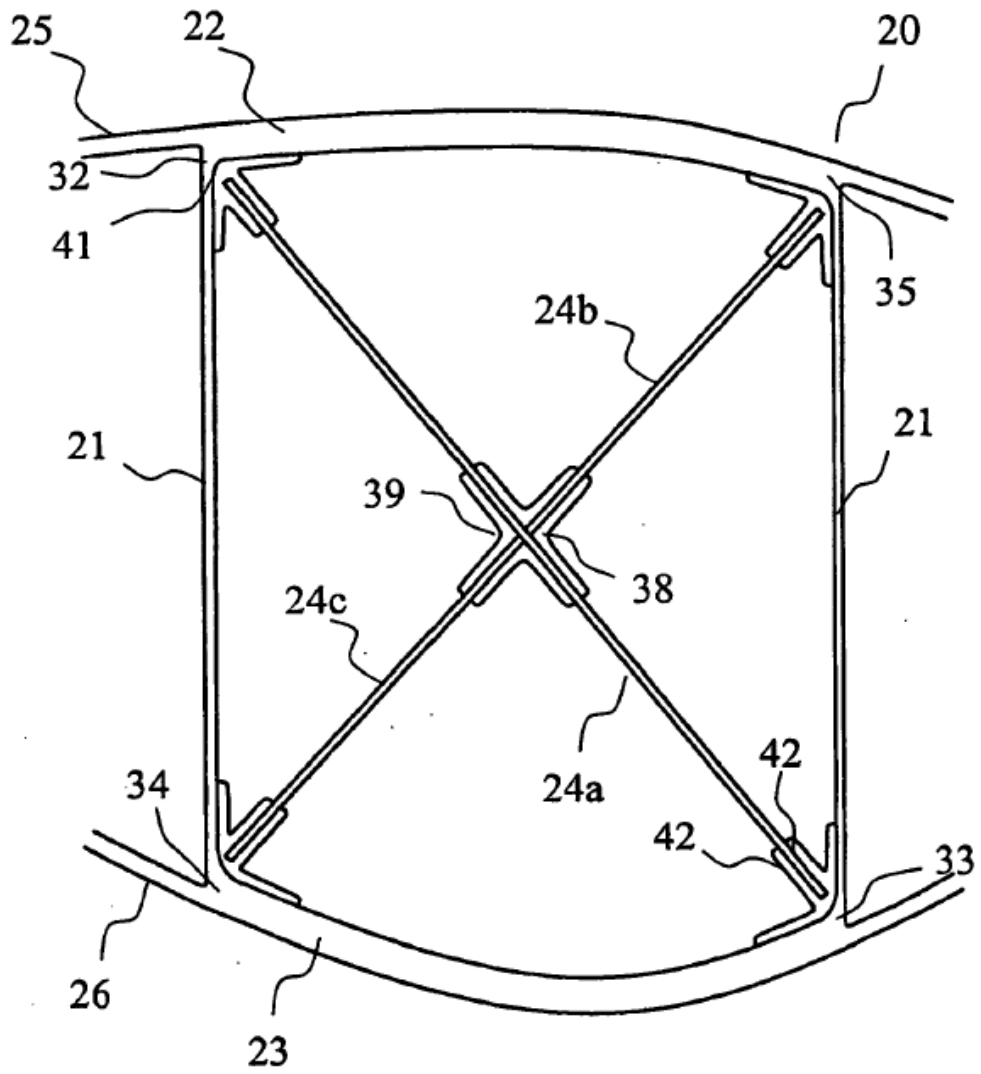


Fig. 6

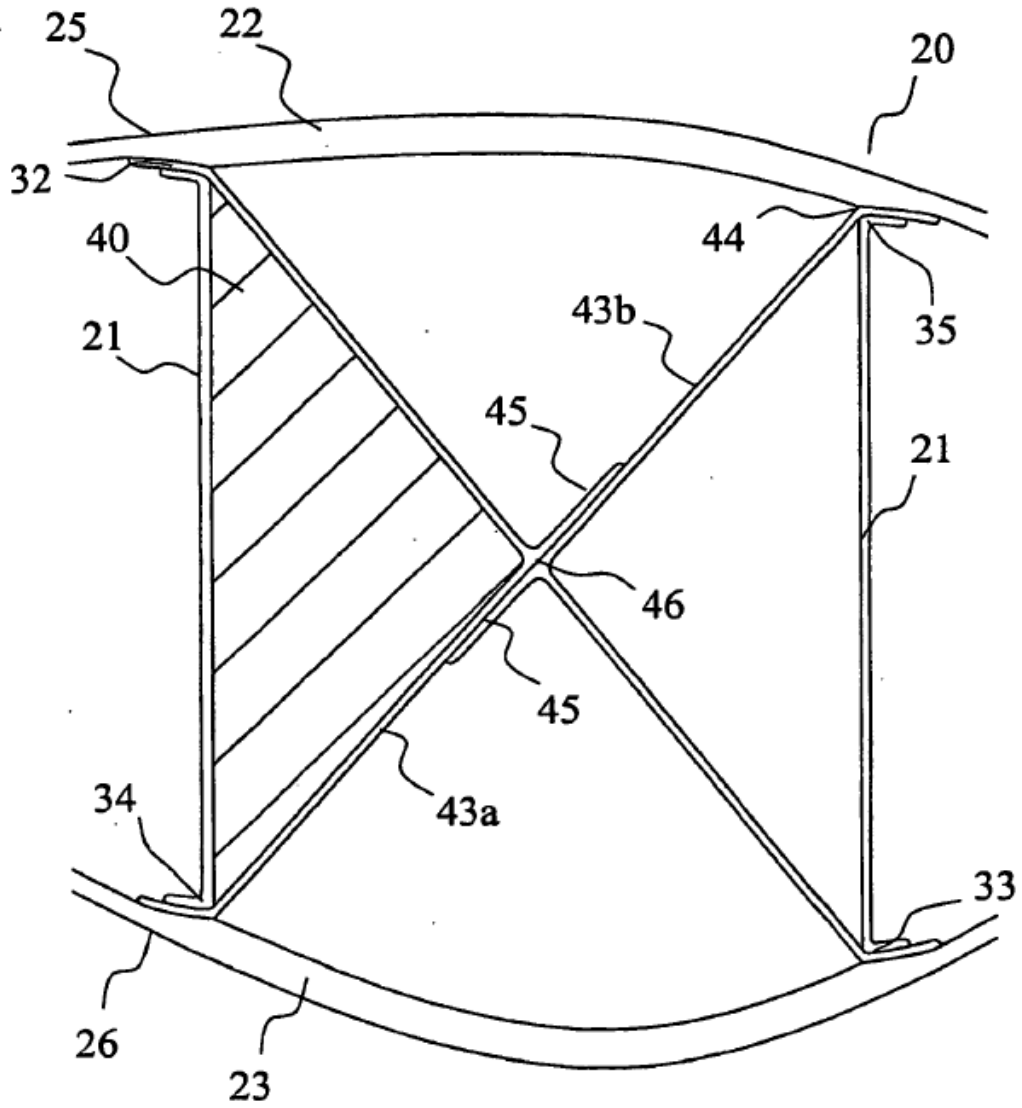


Fig. 7

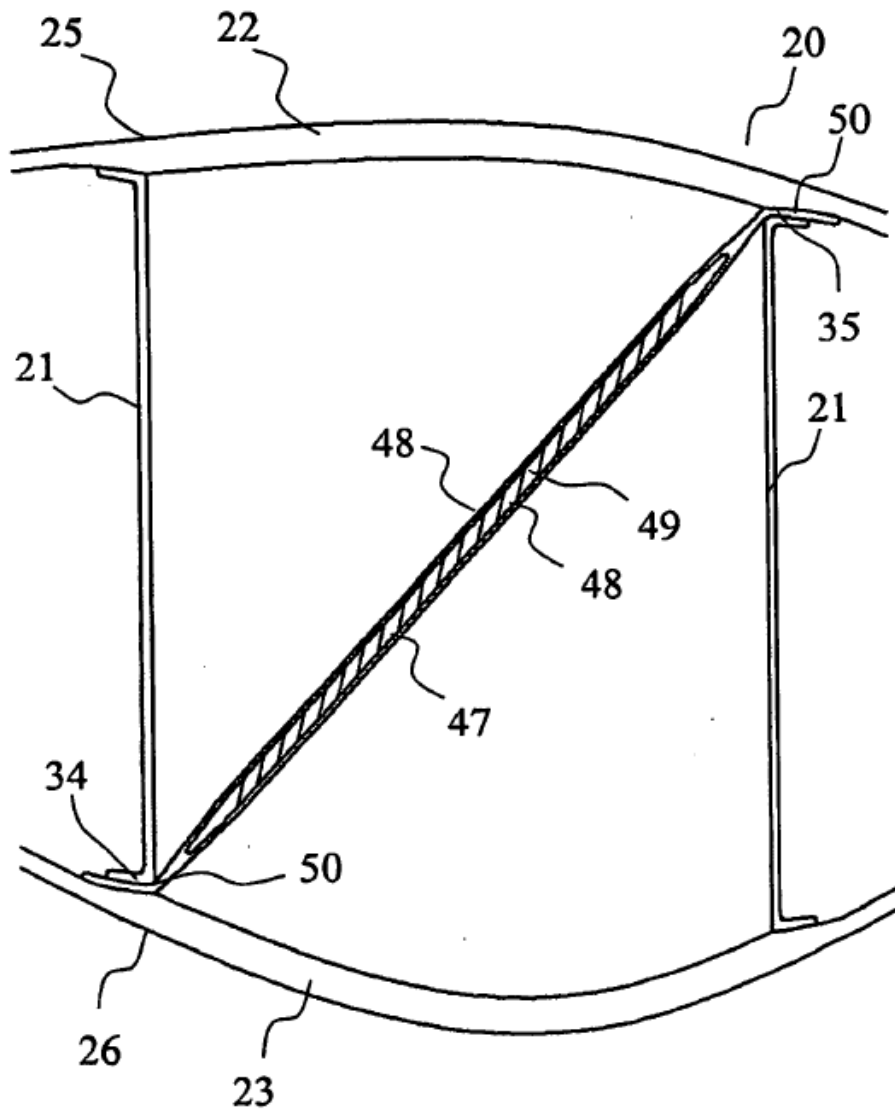


Fig. 8

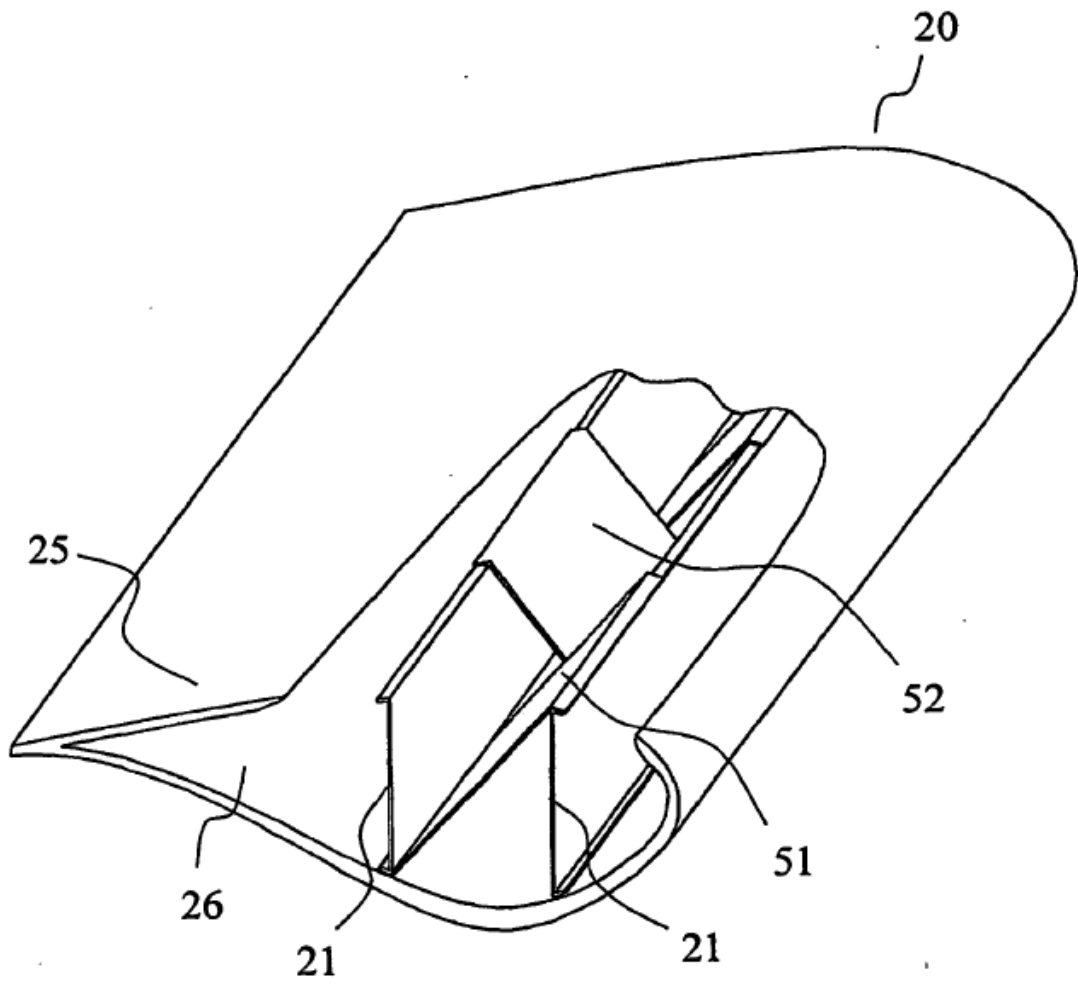


Fig. 9

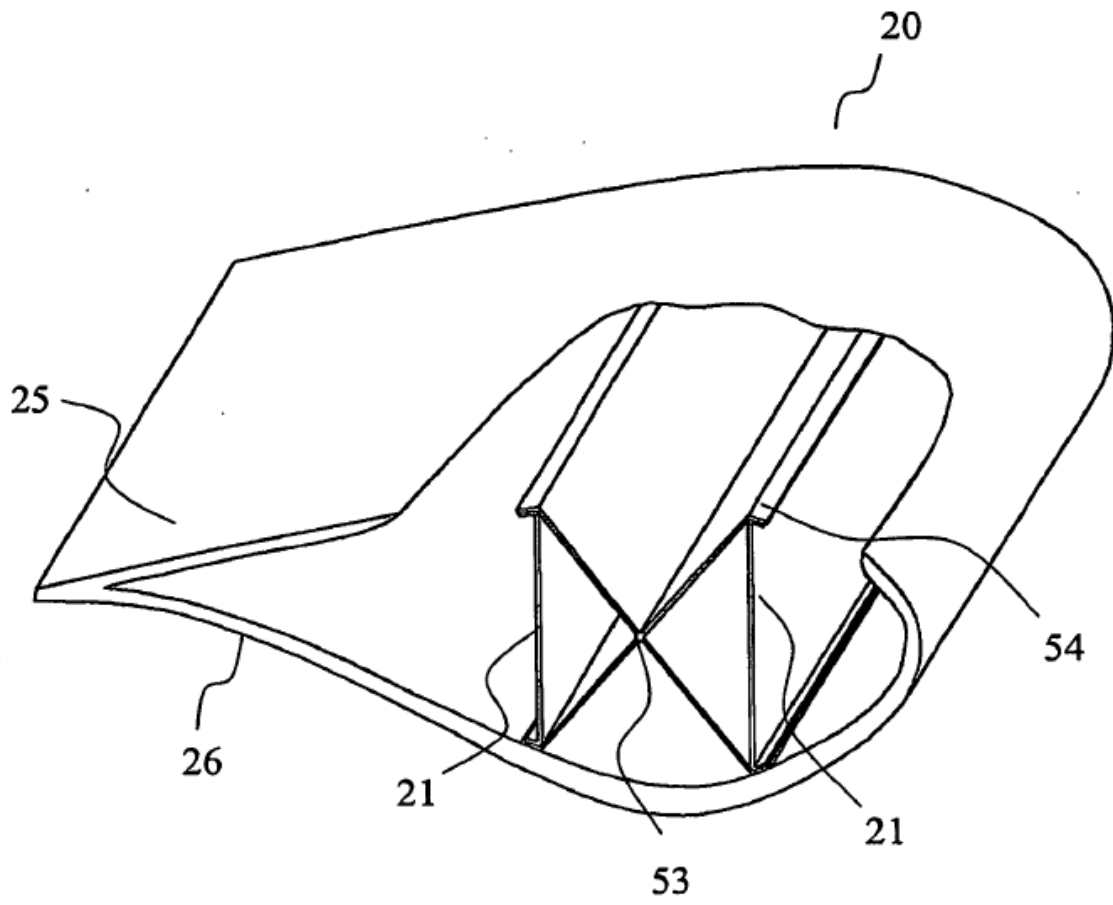


Fig. 10

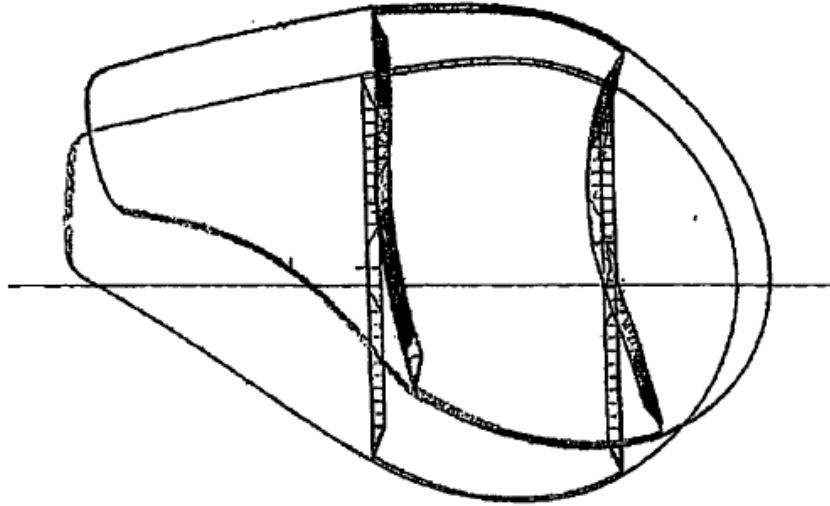


Fig. 11

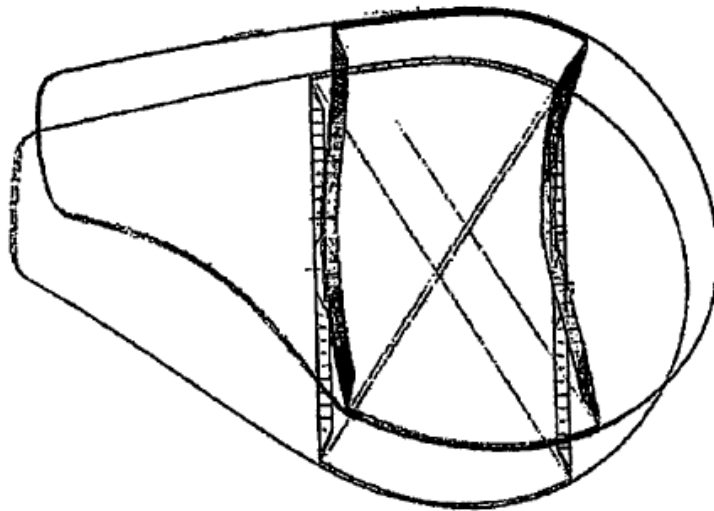


Fig. 12