

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 511**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2016 E 16155507 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018 EP 3205874**

54 Título: **Panel de borde de salida dentado para una pala de turbina eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**04.06.2019**

73 Titular/es:

**LM WP PATENT HOLDING A/S (100.0%)  
Jupitervej 6  
6000 Kolding, DK**

72 Inventor/es:

**HØEG, JESPER;  
ANSHOLM, RASMUSSEN, KIM;  
KILDEGAARD, CASPER y  
LEHMANN, MADSEN, KRISTIAN**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 715 511 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

Panel de borde de salida dentado para una pala de turbina eólica

### Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un panel de borde de salida dentado para una pala de turbina eólica, así como a una pala de turbina eólica provista de dicho panel de borde de salida dentado.

### Antecedentes de la invención

10 La energía eólica es cada vez más popular debido a su producción de energía limpia y respetuosa con el medio ambiente. Las palas del rotor de las turbinas eólicas modernas capturan la energía cinética del viento mediante el uso de un sofisticado diseño de pala creado para maximizar la eficiencia. Sin embargo, han surgido quejas sobre la creación de ruido asociado con la operación de los parques eólicos. Por lo tanto, cada vez se desean más los dispositivos reductores de ruido y los diseños de palas asociados.

15 Una de las consideraciones continuas para el diseño de las palas de las turbinas eólicas es el ruido operacional producido cuando dichas palas giran, en particular para las instalaciones de turbinas eólicas en tierra. Una porción de dicho ruido se genera a partir del flujo de aire que sale del perfil de una pala de turbina eólica en el borde de salida de la pala, y a menudo se denomina ruido del borde de salida.

Como las palas de turbinas eólicas modernas se fabrican a longitudes de palas cada vez más largas, el mayor alcance de las palas da lugar a velocidades de viento relativas más altas experimentadas por las palas. En consecuencia, esto puede llevar a niveles relativamente altos de ruido del borde de salida.

20 Para este fin, las palas de las turbinas eólicas modernas a veces están provistas de dientes a lo largo de los bordes de salida de las palas, en un esfuerzo por reducir el ruido del borde de salida y/o por mejorar la eficiencia de las palas de las turbinas eólicas, como puede verse en el documento EP1314885. Los dientes se proporcionan normalmente uniendo un panel dentado en el borde de salida de la pala de la turbina eólica. Aunque las propiedades de mitigación de ruido de tales dientes son ventajosas, quedan varios inconvenientes. A menudo, encontrar la geometría de dientes correcta es una solución intermedia entre el rendimiento de la mitigación del ruido y los requisitos estructurales. Esto puede llevar a la necesidad de regiones de borde de salida gruesas, especialmente cerca de la base de los dientes. Las presentes invenciones han descubierto que este aumento de espesor se convierte en una fuente potencial de ruido adicional.

30 Además, los paneles pueden ser bastante rígidos, lo que puede llevar a un aumento de las fuerzas de pelado y de las concentraciones de tensión que entran en la estructura laminada de la pala, en particular en los extremos longitudinales del panel.

35 Hay varias formas de unir un panel al borde de salida de la pala. La patente de Estados Unidos 2011/0142635 A1 describe un panel de extensión de la pala provisto de una porción de montaje recortada para montar el panel de extensión en la pala de manera que la extensión de la pala esté sustancialmente alineada con una superficie de la pala. La porción recortada define una muesca configurada para ubicar la extensión de la pala con respecto a la pala del rotor. Sin embargo, tal realización implica que la porción recortada debe diseñarse específicamente para una porción específica de una pala de turbina eólica.

Por consiguiente, todavía existe la necesidad de optimizar el diseño de tales dientes o paneles de dientes de borde de salida para maximizar la mitigación del ruido.

40 Por lo tanto, un objetivo de la invención es proporcionar una pala de turbina eólica que tenga una configuración de borde de salida mejorada, así como un panel de dientes de borde de salida para su disposición en el borde de salida de una pala de turbina eólica.

Otro objetivo de la invención es proporcionar un diseño de pala de turbina eólica con dientes, así como un panel de dientes de borde de salida, cuyo diseño proporcione una reducción de ruido mejorada durante la operación.

### Sumario de la invención

45 De acuerdo con la invención, se proporciona un panel dentado para una pala de turbina eólica, en el que el panel está configurado para unirse al borde de salida de una pala para formar una pluralidad de dientes en el borde de salida de la pala, en el que el panel dentado comprende:

- una parte de base para unir el panel al borde de salida de la pala, teniendo la parte de base
  - un primer extremo longitudinal para su disposición más cercana al extremo de punta de la pala de la turbina eólica,
  - un segundo extremo longitudinal para su disposición más cercana al extremo de raíz de la pala de la turbina eólica,
  - un primer lado para su disposición más cercana al borde de ataque de la pala,
  - un segundo lado para su disposición más alejada del borde de ataque de la pala,
  - una superficie de unión para unirse a una superficie exterior de la pala de turbina eólica, y
  - una superficie exterior orientada en dirección opuesta a la superficie exterior de la pala de turbina eólica, cuando el panel dentado se une a la pala de la turbina eólica, y
- una pluralidad de dientes que se extienden desde el segundo lado de la parte de base, en el que los dientes comprenden una base proximal al segundo lado de la parte de base, y un vértice distal al segundo lado de la parte de base con una línea teórica que se extiende desde un punto medio de la base al vértice.

5  
10  
15 De acuerdo con un primer aspecto, la superficie exterior de la parte de base comprende una superficie corrugada en la dirección entre el primer extremo longitudinal y el segundo extremo longitudinal de manera que la superficie exterior comprende crestas alineadas sustancialmente con los puntos medios de las bases de los dientes y los valles alineados sustancialmente entre dientes.

20 Este diseño hace posible disminuir el espesor del panel y reducir la rigidez longitudinal, lo que a su vez conduce a la disminución de las fuerzas de pelado y de las concentraciones de tensión que entran en el laminado de la pala, en particular en los extremos longitudinales de los paneles. Las partes delgadas, es decir, los valles, del panel, dan lugar a menos fuerza transferida al panel cuando se somete a una deformación de la pala, por ejemplo, por deflexiones de la pala. Las partes gruesas, es decir, las crestas, del panel proporcionan una mayor rigidez a los dientes para garantizar que resistan la carga aerodinámica y evitar el aleteo. Además, se ha descubierto sorprendentemente que el diseño corrugado proporciona una mitigación del ruido más eficaz que los paneles dentados que tienen un espesor uniforme en la dirección longitudinal.

25 De acuerdo con un segundo aspecto, los dientes comprenden una forma y están separados entre sí de manera que se forma una hendidura entre dientes adyacentes, en el que cada una de las hendiduras comprende una primera pared lateral en un primer diente adyacente y una segunda pared lateral en un segundo diente adyacente y una superficie de conexión que se extiende entre la primera pared lateral y la segunda pared lateral, en el que la superficie de conexión es sustancialmente plana o aplanada y comprende una primera superficie redondeada en la primera pared lateral y una segunda superficie redondeada en la segunda pared lateral.

30 En otras palabras, la hendidura no tiene una sección final totalmente redondeada o semicircular cerca de la parte de base del panel dentado, sino que comprende una superficie aplanada con porciones redondeadas en las paredes laterales. La parte aplanada puede tener un radio de curvatura (y, por lo tanto, formar parte de una trayectoria circular). Sin embargo, el radio de curvatura de la parte aplanada es mayor que el radio de curvatura de la primera superficie redondeada y de la segunda superficie redonda. Se ha descubierto sorprendentemente que un diseño de este tipo reduce aún más la tensión entre los dientes en comparación con los paneles dentados convencionales, y por lo tanto reduce el riesgo de daños en el panel dentado, cuando la pala de la turbina eólica se dobla debido a las fluctuaciones de la presión.

35 40 Está claro que la superficie de conexión está dispuesta próxima al segundo lado de la parte de base y que la primera pared lateral y la segunda pared lateral se extienden en una dirección alejada del segundo lado de la parte de base.

45 De acuerdo con un tercer aspecto, el panel dentado comprende dos salientes de alineación discretos que sobresalen de un lado de unión del panel dentado, las dos muescas de alineación discretas están configuradas para hacer tope en un borde de salida de la pala de la turbina eólica y alinear así el panel dentado con respecto al borde de salida de la pala. La mayor fiabilidad de posicionar el panel dentado correctamente garantiza menos defectos de ruido debidos a desalineaciones, lo que a su vez garantiza un mejor rendimiento general de la reducción de ruido.

50 De este modo, se proporciona un panel dentado que puede alinearse fácilmente con el borde de salida y facilitará un montaje más fácil y rápido de los paneles. El uso de exactamente dos salientes de alineación discretos garantiza que el panel se ajuste a todas las secciones del borde de salida independientemente de la forma y de la curva del borde de salida de la pala.

De acuerdo con un cuarto aspecto, la invención proporciona una pala de turbina eólica que tiene un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, y un borde de ataque y un borde de salida con una cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre ellos, la pala de turbina eólica que se extiende en una

dirección de la envergadura entre un extremo de raíz y un extremo de punta, la pala de turbina eólica comprende al menos un panel dentado de acuerdo con cualquiera de los aspectos anteriores y está provisto a lo largo de al menos una porción del borde de salida de la pala. El al menos un panel dentado puede ser cualquiera de los paneles de acuerdo con el primer, el segundo o el tercer aspecto o ser una combinación de los mismos.

- 5 A continuación se describirán varias realizaciones ventajosas. Las realizaciones pueden aplicarse a cualquiera de los aspectos primero, segundo, tercero y cuarto de la invención o a combinaciones de los mismos.

De acuerdo con una primera realización, la parte de base comprende una línea de espesor máximo que se extiende en una dirección entre el primer extremo longitudinal y el segundo extremo longitudinal, definiendo la línea de espesor máximo la posición, en la que el panel dentado en una vista en sección transversal tiene un espesor máximo. La línea de espesor máximo puede ubicarse con un espaciado desde el primer lado de la parte de base.

En una realización ventajosa, la parte de base se estrecha desde la línea de espesor máximo hacia el primer lado de la parte de base. Esto proporciona una transición suave a la superficie de la pala.

La parte de base puede, por ejemplo, comprender una superficie sustancialmente triangular que se extiende desde los valles en el primer lado de la parte de base y hasta una cresta en la línea de espesor máximo.

- 15 En otra realización ventajosa, los dientes y, opcionalmente, la parte de base, se estrechan desde la línea de espesor máximo hacia los vértices de los dientes. Esto proporciona una transición gradual hacia el vértice de los dientes, lo que tiene ventajas tanto en relación con la transición de la rigidez como en la mitigación del ruido.

Las crestas se extienden ventajosamente desde la parte de base de los dientes y a lo largo de la línea teórica de los dientes.

- 20 En una realización ventajosa, una relación entre el espesor de la cresta y el espesor del valle es de al menos 3:2 y preferentemente de al menos 2:1. En otra realización ventajosa, la relación entre el espesor de la cresta y el espesor del valle es a lo sumo 5:1.

En otra realización más, la primera pared lateral y la segunda pared lateral comprenden una sección, en la que la primera pared lateral y la segunda pared lateral son sustancialmente paralelas.

- 25 En una realización, la superficie de conexión tiene una curvatura de radio ( $R_b$ ), que es más grande que los ( $R_1$ ,  $R_2$ ) de la primera superficie redondeada y de la segunda superficie redondeada.  $R_b$  es ventajosamente al menos 5 veces, más ventajosamente al menos 7 veces, y aún más ventajosamente al menos 10 veces más grande que  $R_1$  y  $R_2$ . Si la superficie de conexión es recta,  $R_b$  se acerca a infinito.

- 30 En una realización, los dos salientes de alineación discretos están dispuestos en la superficie de unión de la parte de base. De este modo, los salientes de alineación pueden estar dispuestos para alinear con gran precisión la parte de unión del panel dentado con el borde de salida de la pala.

En otra realización, los dos salientes de alineación discretos están dispuestos cerca del segundo lado de la parte de base. De este modo, se garantiza que solo los propios dientes se extiendan desde el borde de salida de la pala.

- 35 En otra realización más, un primer saliente discreto está dispuesto cerca del primer extremo longitudinal de la parte de base y un segundo saliente discreto está dispuesto cerca del segundo extremo longitudinal de la parte de base. De este modo, se garantiza que el panel dentado pueda extenderse a lo largo y sustancialmente paralelo a una gran parte del borde de salida.

En principio, los salientes también pueden estar dispuestos en los dientes, preferentemente cerca de la base de los dientes.

- 40 Los paneles dentados pueden fabricarse en un material polimérico, como poliuretano o policarbonato, o en un material polimérico reforzado con fibra.

En una realización ventajosa, los paneles dentados comprenden al menos dos dientes que se extienden desde el segundo lado de la parte de base, más ventajosamente al menos tres, cuatro o cinco dientes.

- 45 En una realización ventajosa, los paneles dentados comprenden a lo sumo 20 dientes que se extienden desde el segundo lado de la parte de base, más ventajosamente a lo sumo 15, 12 o 10 dientes.

La invención también proporciona una pala de turbina eólica para un rotor de una turbina eólica que tiene un árbol

de rotor sustancialmente horizontal, comprendiendo el rotor un buje, desde el que la pala de turbina eólica se extiende sustancialmente en una dirección radial cuando está montada en el buje, extendiéndose la pala de turbina eólica en una dirección longitudinal paralela a un eje longitudinal y teniendo un extremo de punta y un extremo de raíz,

- 5 la pala de la turbina eólica comprende un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como un borde de ataque y un borde de salida con una cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre ellos, el contorno perfilado genera un empuje ascensional cuando un flujo de aire incidente impacta en él,  
 10 en el que la pala de turbina eólica comprende además al menos un panel dentado de acuerdo con cualquiera de las realizaciones mencionadas anteriormente provisto a lo largo de al menos una porción del borde de salida de la pala.

### Descripción detallada de la invención

Ahora se describirán realizaciones de la invención, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 15 la figura 1 muestra una turbina eólica;  
 la figura 2 muestra una vista esquemática de una pala de turbina eólica de acuerdo con la invención;  
 la figura 3 muestra una vista esquemática de un perfil aerodinámico de la pala de la figura 2;  
 la figura 4 muestra una vista esquemática de la pala de turbina eólica de la figura 2, vista desde arriba y desde el lado;  
 20 la figura 5 muestra varias vistas de un panel dentado de acuerdo con la invención.

Se entenderá que los elementos comunes a las diferentes realizaciones de la invención se han provisto con los mismos números de referencia en los dibujos.

- 25 La figura 1 ilustra una turbina eólica 2 a contraviento moderna y convencional de acuerdo con el llamado "concepto danés" con una torre 4, una góndola 6 y un rotor con un árbol de rotor sustancialmente horizontal. El rotor incluye un buje 8 y tres palas 10 que se extienden radialmente desde el buje 8, cada una con una raíz 16 de pala más cercana al buje y una punta 14 de pala más alejada del buje 8, extendiéndose la pala en una dirección de la envergadura entre la raíz 16 y la punta 14. El rotor tiene un radio denotado R.

- 30 La figura 2 muestra una vista esquemática de una pala 10 de turbina eólica. La pala 10 de turbina eólica tiene la forma de una pala de turbina eólica convencional y comprende una región de raíz 30 más cercana al buje, una región perfilada o aerodinámica 34 más alejada del buje y una región de transición 32 entre la región de raíz 30 y la región aerodinámica 34. La pala 10 comprende un borde de ataque 18 orientado hacia la dirección de rotación de la pala 10, cuando la pala está montada en el buje, y un borde de salida 20 orientado hacia la dirección opuesta del borde de ataque 18. Se proporciona una serie de dientes de borde de salida a lo largo de una porción del borde de salida 20 de la pala. En general, el flujo de aire sobre la pala 10 de la turbina eólica se extiende desde el borde de ataque 18 hasta el borde de salida 20 en una dirección generalmente transversal o en el sentido de la cuerda.  
 35 Mientras que los dientes de la figura 2 se representan dispuestos a lo largo de una porción exterior de la pala, se reconoce que los dientes pueden estar dispuestos, por ejemplo, más cerca de la raíz de la pala 10, o que pueden estar dispuestos a lo largo de, por ejemplo, toda región aerodinámica 34 de la pala 10.

- 40 De acuerdo con las invenciones, los dientes se proporcionan en forma de paneles dentados 70, 70' que se unen a una superficie de la pala 10 en el borde de salida 20 de la pala 10. Los paneles dentados 70, 70' pueden comprender dientes de diferentes tamaños. Los dientes cerca de la punta de la pala 10 pueden, por ejemplo, como se muestra en la figura 2, tener unas dimensiones más pequeñas que los dientes más cercanos a la raíz de la pala 10.

- 45 La región aerodinámica 34 (también llamada región perfilada) tiene una forma ideal o casi ideal de pala con respecto a la generación de fuerza ascensional, mientras que la región de raíz 30 debido a consideraciones estructurales tiene una sección transversal sustancialmente circular o elíptica, que, por ejemplo, hace más fácil y más seguro montar la pala 10 en el buje. El diámetro (o la cuerda) de la región de raíz 30 suele ser constante a lo largo de toda el área de raíz 30. La región de transición 32 tiene un perfil de transición 42 que cambia gradualmente de la forma circular o elíptica 40 de la región de raíz 30 al perfil aerodinámico 50 de la región aerodinámica 34. La longitud de la cuerda de la región de transición 32 normalmente aumenta sustancialmente de forma lineal a medida que aumenta la distancia r desde el buje.  
 50

La región aerodinámica 34 tiene un perfil aerodinámico 50 con una cuerda que se extiende entre el borde de ataque 18 y el borde de salida 20 de la pala 10. La anchura de la cuerda disminuye con el aumento de la distancia  $r$  desde el buje.

5 Debe observarse que las cuerdas de diferentes secciones de la pala normalmente no se encuentran en un plano común, ya que la pala puede estar retorcida y/o curvada (es decir, predoblada), lo que proporciona al plano de la cuerda un curso retorcido y/o curvado correspondiente, siendo este el caso más frecuente para compensar la velocidad local de la pala que depende del radio del buje.

10 La figura 3 muestra una vista esquemática de un perfil de perfil aerodinámico 50 de una pala típica de una turbina eólica representada con los diversos parámetros, que normalmente se usan para definir la forma geométrica de un perfil aerodinámico. El perfil aerodinámico 50 tiene un lado de presión 52 y un lado de succión 54, que durante el uso, es decir, durante la rotación del rotor, normalmente se orientan hacia el lado de barlovento (o a contraviento) y hacia el lado de sotavento (o a favor del viento), respectivamente. El perfil aerodinámico 50 tiene una cuerda 60 con una longitud de cuerda  $c$  que se extiende entre un borde de ataque 56 y un borde de salida 58 de la pala. El perfil aerodinámico 50 tiene un espesor  $t$ , que se define como la distancia entre el lado de presión 52 y el lado de succión 54. El espesor  $t$  del perfil aerodinámico varía a lo largo de la cuerda 60. La desviación de un perfil simétrico viene dada por una línea de combadura 62, que es una línea media a través del perfil aerodinámico 50. La línea media puede encontrarse dibujando círculos inscritos desde el borde de ataque 56 hasta el borde de salida 58. La línea media sigue los centros de estos círculos inscritos y la desviación o distancia desde la cuerda 60 se denomina combadura  $f$ . La asimetría también puede definirse mediante el uso de parámetros denominados combadura superior (o combadura del lado de succión) y combadura inferior (o combadura del lado de presión), que se definen como las distancias desde la cuerda 60 y el lado de succión 54 y el lado de presión 52 respectivamente.

25 Los perfiles aerodinámicos a menudo se caracterizan por los siguientes parámetros: la longitud de la cuerda  $c$ , la combadura máxima  $f$ , la posición  $d_f$  de la combadura máxima  $f$ , el espesor aerodinámico máximo  $t$  que es el mayor diámetro de los círculos inscritos a lo largo de la línea de combadura media 62, la posición  $d_t$  del espesor máximo  $t$  y un radio de nariz (no mostrado). Estos parámetros normalmente se definen como relaciones con la longitud de la cuerda  $c$ . Por lo tanto, un espesor de pala local relativo  $t/c$  se da como la relación entre el espesor local máximo  $t$  y la longitud local de la cuerda  $c$ . Además, la posición  $d_p$  del lado de presión máxima puede utilizarse como parámetro de diseño y, por supuesto, también la posición de la combadura del lado de succión máxima.

30 La figura 4 muestra algunos otros parámetros geométricos de la pala. La pala tiene una longitud total de pala  $L$ . Como se muestra en la figura 2, el extremo de raíz está situado en la posición  $r=0$ , y el extremo de punta situado en  $r=L$ . El hombro 40 de la pala está situado en una posición  $r=L_w$ , y tiene una anchura de hombro  $W$ , que es igual a la longitud de la cuerda en el hombro 40. El diámetro de la raíz se define como  $D$ . Además, la pala está provista de un predoblado, que se define como  $\Delta y$ , que corresponde a la desviación fuera del plano de un eje de paso 22 de la pala.

35 La pala 10 de turbina eólica generalmente comprende una cubierta hecha de polímero reforzado con fibra, y normalmente está hecha como un lado de presión o parte de cubierta a contraviento 24 y una parte de succión o parte de viento a favor del viento 26 que están pegadas entre sí a lo largo de las líneas de unión 28 que se extienden a lo largo del borde de salida 20 y del borde de ataque 18 de la pala 10. Las palas de la turbina eólica generalmente se forman de material plástico reforzado con fibra, por ejemplo fibras de vidrio y/o fibras de carbono que se disponen en un molde y se curan con una resina para formar una estructura sólida. Las palas de las turbinas eólicas modernas a menudo pueden tener una longitud superior a 30 o 40 metros, con diámetros de raíz de la pala de varios metros. Las palas de las turbinas eólicas están diseñadas generalmente para vidas útiles relativamente largas y para soportar cargas estructurales y dinámicas considerables.

45 La figura 5 muestra varias vistas de un panel dentado 70 de acuerdo con la invención, donde la figura 5A muestra una vista inferior, la figura 5B muestra una vista lateral, la figura 5C muestra una vista superior, la figura 5D muestra una vista frontal y la figura 5E muestra un detalle del panel dentado 70.

50 El panel dentado 70 (también denominado panel de borde de salida dentado) está configurado para unirse al borde de salida 20 de la pala 10 para formar una pluralidad de dientes 71 y para sobresalir desde el borde de salida de la pala. El panel dentado 70 comprende una parte de base para unir el panel al borde de salida de la pala. La parte de base 72 tiene un primer extremo longitudinal 73 para su disposición más cercana al extremo de punta de la pala de la turbina eólica, un segundo extremo longitudinal 74 para su disposición más cercana al extremo de raíz de la pala de la turbina eólica, un primer lado 75 para su disposición más cercana al borde de ataque de la pala, un segundo lado 76 para su disposición más alejada del borde de ataque de la pala, una superficie de unión 77 para unirse a una superficie exterior de la pala 10 de turbina eólica y una superficie exterior 78 orientada en dirección opuesta de la superficie exterior de la turbina eólica pala 10, cuando el panel dentado 70 está unido a la pala 10 de la turbina eólica.

El panel dentado 70 comprende además una pluralidad de dientes 71 que se extienden desde el segundo lado 76 de

la parte de base 72. Cada uno de los dientes 71 comprende una base 79 proximal al segundo lado 76 de la parte de base, y un vértice 80 distal al segundo lado 76 de la parte de base 72 con una línea teórica 81 que se extiende desde un punto medio de la base 79 hasta el vértice 80.

5 De acuerdo con un primer aspecto, la superficie exterior 78 de la parte de base puede comprender una superficie corrugada en la dirección entre el primer extremo longitudinal 73 y el segundo extremo longitudinal 74, de manera que la superficie exterior comprende crestas 82 alineadas sustancialmente con los puntos medios de las bases 80 de los dientes 71 y los valles 83 alineados sustancialmente entre los dientes 71.

10 Este diseño corrugado hace posible disminuir el espesor del panel 71 y reducir la rigidez longitudinal, lo que a su vez lleva a la disminución de las fuerzas de pelado y de las concentraciones de tensión que entran en el laminado de la pala, en particular en los extremos longitudinales 73, 74 de los paneles 70. Las partes delgadas, es decir, los valles 83, del panel 70, dan lugar a menos fuerza transferida al panel cuando se somete a una deformación de la pala, por ejemplo, por las deflexiones de la pala. Las partes gruesas, es decir, las crestas 82, del panel 70 proporcionan una mayor rigidez a los dientes 71 para garantizar que soporten la carga aerodinámica y eviten el aleteo. Además, se ha descubierto sorprendentemente que el diseño corrugado proporciona una mitigación del ruido más eficaz que los paneles dentados que tienen un espesor uniforme en la dirección longitudinal.

La superficie corrugada puede ser, por ejemplo, triangular o con forma de diente de sierra, por ejemplo, con valles y crestas redondeadas. La superficie corrugada también puede ser sustancialmente sinusoidal.

20 La parte de base 72 del panel dentado 70 puede comprender además una línea de espesor máximo 84 que se extiende entre el primer extremo longitudinal 75 y el segundo extremo longitudinal 76, en la que la línea de espesor máximo 84 define la posición, en la que el panel dentado en una vista en sección transversal tiene un espesor máximo. La línea de espesor máximo puede ubicarse con un espaciado desde el primer lado 75 de la parte de base 72, y la parte de base 72 puede estrecharse más desde la línea de espesor máximo 84 hacia el primer lado 75 de la parte de base 72, por ejemplo, como se muestra en la vista lateral en la figura 5D. De este modo, se puede lograr una transición suave a la superficie de la pala de la turbina eólica.

25 La parte de base 72 puede, como se indica en la figura 5C, comprender partes de superficie sustancialmente triangulares que se extienden desde los valles 82 en el primer lado 75 de la parte de base 72 y hasta una cresta 83 en la línea de espesor máximo 84.

Los dientes 71 (y opcionalmente la parte de base 72) pueden, como se indica en la vista lateral en la figura 5D, estrecharse desde la línea de espesor máximo 84 hacia los vértices 80 de los dientes 71.

30 Las crestas, como se muestra en la figura 5C, se extienden desde la parte de base 76 de los dientes 71 y a lo largo de la línea teórica 82 de los dientes 71.

Como se muestra en la figura 5B, el espesor de las crestas se define como  $t_c$  y el espesor de los valles se define como  $t_v$ . La relación entre  $t_c$  y  $t_v$  (por ejemplo, en la línea de espesor máximo 84) puede ser de al menos 3:2 y ventajosamente de al menos 2:1. Los dientes 71 pueden ventajosamente tener bordes redondeados 95.

35 De acuerdo con un segundo aspecto, los dientes 71 pueden comprender una forma y están mutuamente espaciados de manera que se forma una hendidura 85 entre los dientes adyacentes 71. La figura 5E muestra un detalle de tal hendidura 85. Cada una de las hendiduras 85 comprende una primera pared lateral 86 en un primer diente adyacente y una segunda pared lateral 87 en un segundo diente adyacente y además una superficie de conexión 88 que se extiende entre la primera pared lateral 86 y la segunda pared lateral 87. La superficie de conexión 88 es sustancialmente plana o aplanada y comprende una primera superficie redondeada 89 en la primera pared lateral 86 y una segunda superficie redondeada 90 en la segunda pared lateral 87. En otras palabras, la hendidura no tiene una sección final completamente redondeada o semicircular cerca de la parte de base del panel dentado, si no que comprende una superficie aplanada con porciones redondeadas en las paredes laterales. La parte aplanada puede tener un radio de curvatura ( $r$ , por lo tanto, formar parte de una trayectoria circular). Sin embargo, el radio de curvatura de la parte aplanada es mayor que el radio de curvatura de la primera superficie redondeada y de la segunda superficie redondeada. Se ha descubierto sorprendentemente que un diseño de este tipo reduce aún más la tensión entre los dientes en comparación con los paneles dentados convencionales, y por lo tanto reduce el riesgo de daños en el panel dentado, cuando la pala de la turbina eólica se dobla debido a las fluctuaciones de la presión.

50 En una realización, la superficie de conexión 88 tiene una curvatura de radio ( $R_b$ ), que es más grande que los  $R_1$ ,  $R_2$  de la primera superficie redondeada y de la segunda superficie redondeada.  $R_b$  es ventajosamente al menos 10 veces más grande que  $R_1$  y que  $R_2$ .

De acuerdo con un tercer aspecto, el panel dentado 70 puede estar provisto de dos salientes de alineación 91, 92 discretos que sobresalen de un lado de unión 72 del panel dentado 70. Las dos muescas de alineación discretas

5 pueden estar configuradas para hacer tope en el borde de salida 20 de la pala 10 de la turbina eólica y, alinear así el panel dentado 70 con respecto al borde de salida 20 de la pala 10. Los dos salientes de alineación 91, 92 discretos pueden estar dispuestos cerca del segundo lado 76 de la parte de base 72. Los salientes de alineación discretos se disponen ventajosamente cerca del primer extremo longitudinal 73 de la parte de base 72 y del segundo extremo longitudinal 74 de la parte de base 72, respectivamente.

Los dientes 71 del panel dentado 70 pueden estar inclinados con respecto a la parte de base 72 del panel dentado, de manera que la parte de base 72 y los dientes formen un ángulo  $\alpha$ . El ángulo  $\alpha$  puede ser de cero grados, en cuyo caso el panel dentado 70 está recto. Para paneles dentados en ángulo, el ángulo  $\alpha$  puede estar entre 2 y 15 grados, generalmente alrededor de 5 o 10 grados.

10 La invención no está limitada a las realizaciones descritas en el presente documento, y puede modificarse o adaptarse sin apartarse del alcance de la presente invención, que se define mediante las reivindicaciones adjuntas.



REIVINDICACIONES

1. Un panel dentado (70) para una pala de turbina eólica, en el que el panel (70) está configurado para unirse al borde de salida de una pala para formar una pluralidad de dientes (71) en el borde de salida de la pala, en el que el panel dentado comprende:

- 5 - una parte de base (72) para unir el panel (70) al borde de salida de la pala, teniendo la parte de base (72)
  - un primer extremo longitudinal (73) para su disposición más cercana al extremo de punta de la pala de turbina eólica,
  - un segundo extremo longitudinal (74) para su disposición más cercana al extremo de raíz de la pala de turbina eólica,
  - 10 - un primer lado (75) para su disposición más cercana al borde de ataque de la pala,
  - un segundo lado (76) para su disposición más alejada del borde de ataque de la pala,
  - una superficie de unión (77) para unirse a una superficie exterior de la pala de turbina eólica, y
  - una superficie exterior (78) orientada en dirección opuesta a la superficie exterior de la pala de turbina eólica, cuando el panel dentado (70) está unido a la pala de turbina eólica, y
  - 15 - una pluralidad de dientes (71) que se extienden desde el segundo lado (76) de la parte de base (72), en el que los dientes (71) comprenden una base (79) proximal al segundo lado (76) de la parte de base, y un vértice (80) distal al segundo lado (76) de la parte de base (72) con una línea teórica (81) que se extiende desde un punto medio de la base (79) hasta el vértice (80), **caracterizado por que**

la superficie exterior (78) de la parte de base comprende una superficie corrugada en la dirección entre el primer extremo longitudinal (73) y el segundo extremo longitudinal (74) de manera que la superficie exterior comprende crestas (82) alineadas sustancialmente con los puntos medios de las bases (80) de los dientes (71) y los valles (83) alineados sustancialmente entre los dientes (71).

2. Un panel dentado (70) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la parte de base (72) comprende una línea de espesor máximo (84) que se extiende en una dirección entre el primer extremo longitudinal (75) y el segundo extremo longitudinal (76), la línea de espesor máximo línea (84) que define la posición, en la que el panel dentado en una vista en sección transversal tiene un espesor máximo.

3. Un panel dentado (70) de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la línea de espesor máximo está ubicada con un espaciado desde el primer lado (75) de la parte de base (72).

4. Un panel dentado (70) de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la parte de base (72) se estrecha desde la línea de espesor máximo hacia el primer lado (75) de la parte de base (72).

5. Un panel dentado de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, en el que la parte de base comprende una superficie sustancialmente triangular que se extiende desde los valles en el primer lado (75) de la parte de base y hasta una cresta en la línea de espesor máximo.

6. Un panel dentado (70) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2-5, en el que los dientes y, opcionalmente, la parte de base (72) se estrechan desde la línea de espesor máximo hacia los vértices (80) de los dientes (71).

7. Un panel dentado (70) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que las crestas se extienden desde la parte de base (72) de los dientes (71) y a lo largo de la línea teórica (82) de los dientes.

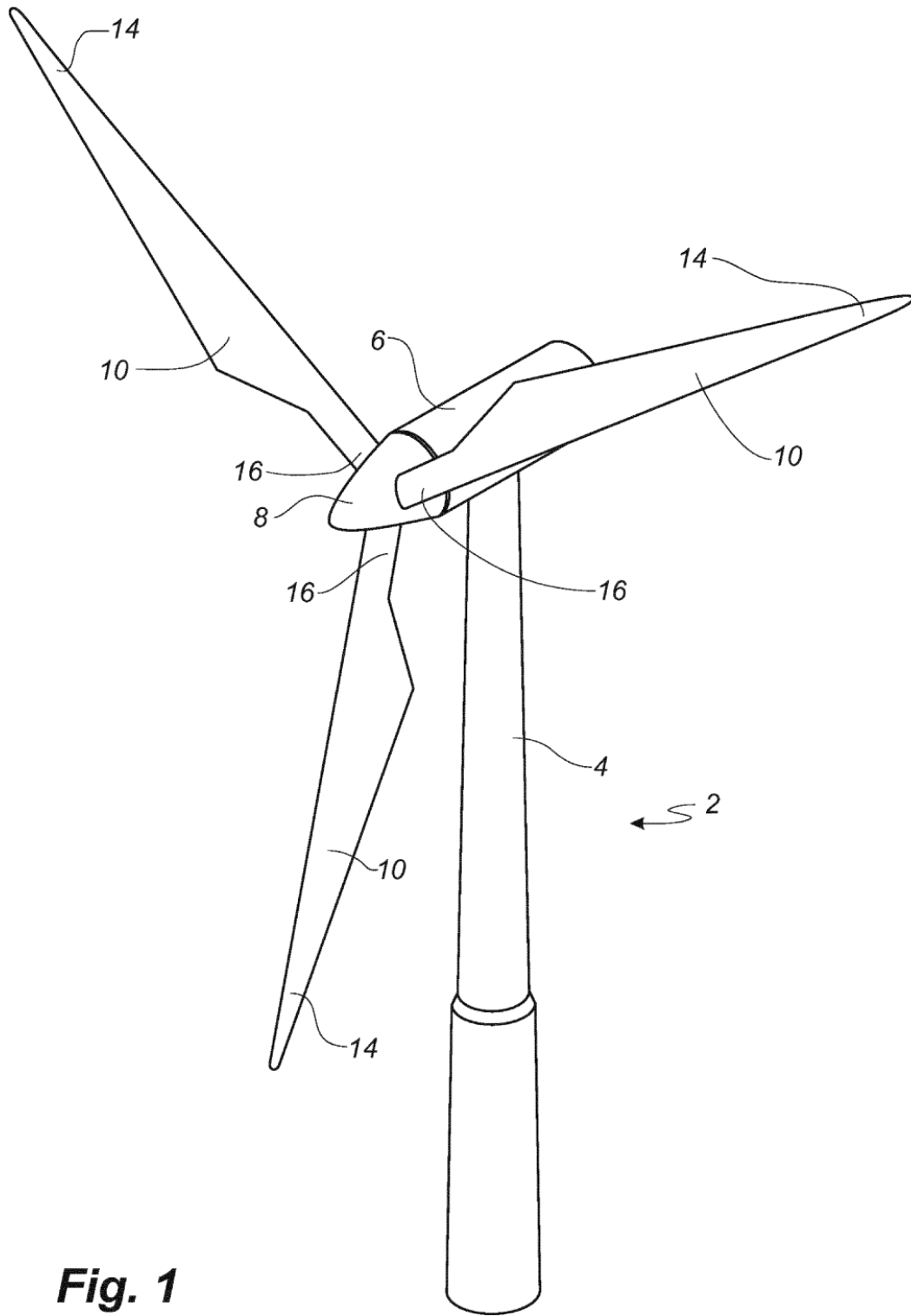
8. Un panel dentado (70) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que una relación entre un espesor de la cresta y un espesor del valle es de al menos 2:1.

9. Un panel dentado (70) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la relación entre un espesor de la cresta y un espesor del valle es a lo sumo 5:1.

10. Un panel dentado (70) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los dientes comprenden una forma y están separados entre sí de manera que se forma una hendidura entre dientes adyacentes, en el que cada una de las hendiduras (85) comprende una primera pared lateral (86) en un primer diente adyacente y una segunda pared lateral (87) en un segundo diente adyacente y una superficie de conexión (88) que se extiende entre la primera pared lateral (86) y la segunda pared lateral (87), en la que la superficie de conexión (88) es sustancialmente plana o aplanada y comprende una primera superficie redondeada (89) en la primera pared lateral (86) y una segunda superficie redondeada (90) en la segunda pared lateral (87).

11. Un panel dentado (70) de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la primera pared lateral y la segunda pared lateral comprenden una sección, en la que la primera pared lateral y la segunda pared lateral son sustancialmente paralelas.
- 5 12. Un panel dentado (70) de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, en el que la superficie de conexión tiene una curvatura de radio ( $R_b$ ), que es más grande que los ( $R_1$ ,  $R_2$ ) de la primera superficie redondeada y la segunda superficie redondeada.
- 10 13. Un panel dentado (70) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el panel dentado (70) comprende dos salientes de alineación (91, 92) discretos que sobresalen de un lado de unión del panel dentado (70), las dos muescas de alineación discretas está configurado para hacer tope en un borde de salida de la pala de turbina eólica y, alinear así el panel dentado (70) con respecto al borde de salida de la pala.
14. Un panel dentado (70) de acuerdo con la reivindicación 13, en el que un primer saliente discreto está dispuesto cerca del primer extremo longitudinal de la parte de base y un segundo saliente discreto está dispuesto cerca del segundo extremo longitudinal de la parte de base.
- 15 15. Una pala (10) de turbina eólica que tiene un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, y un borde de ataque (18) y un borde de salida (20) con una cuerda que tiene una longitud de cuerda que se extiende entre ellos, la pala (10) de turbina eólica que se extiende en una dirección de la envergadura entre un extremo de raíz y un extremo de punta, la pala de turbina eólica que comprende al menos un panel dentado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes y provista a lo largo de al menos una porción del borde de salida (20) de la pala (10).

20



**Fig. 1**

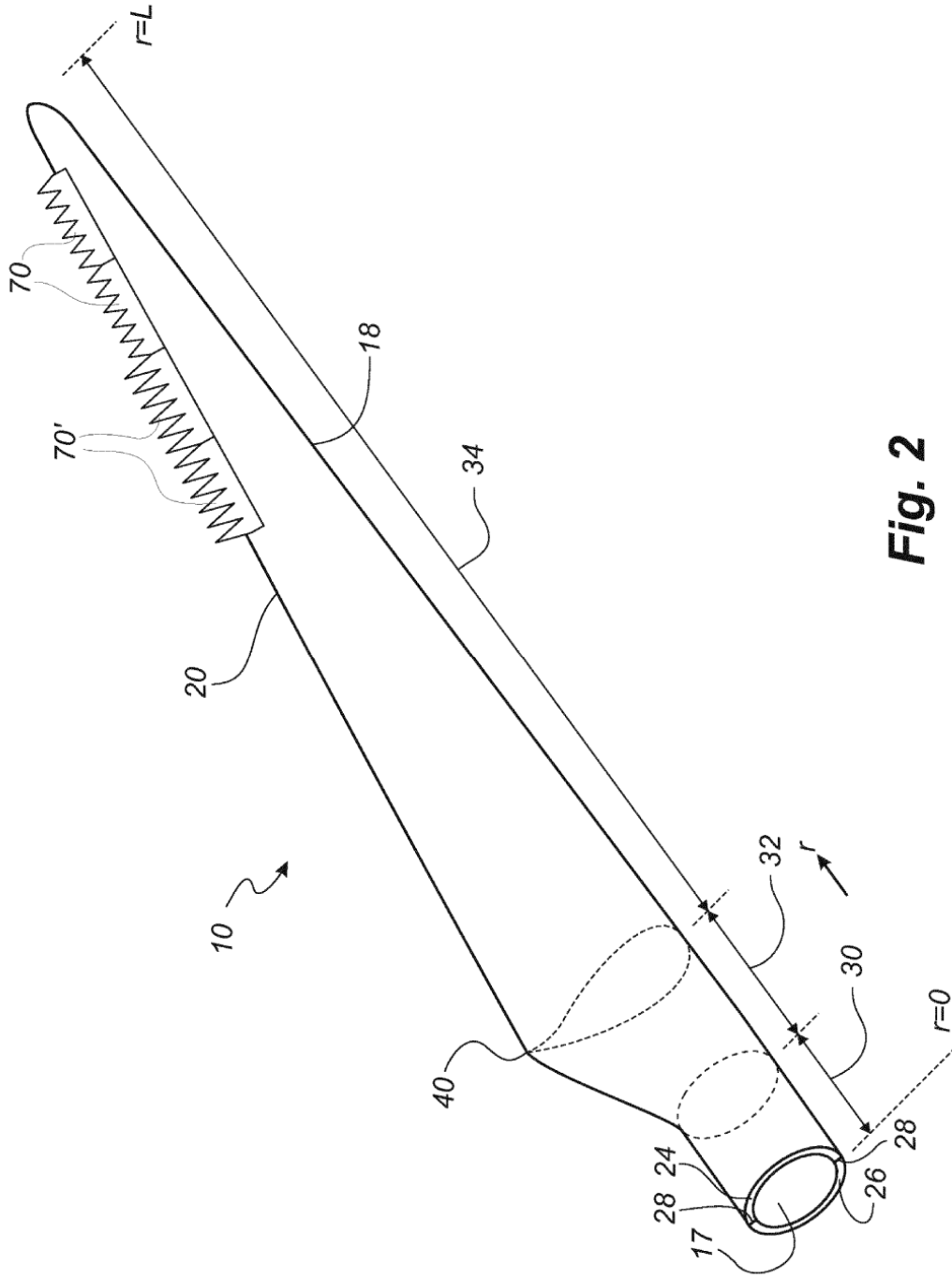
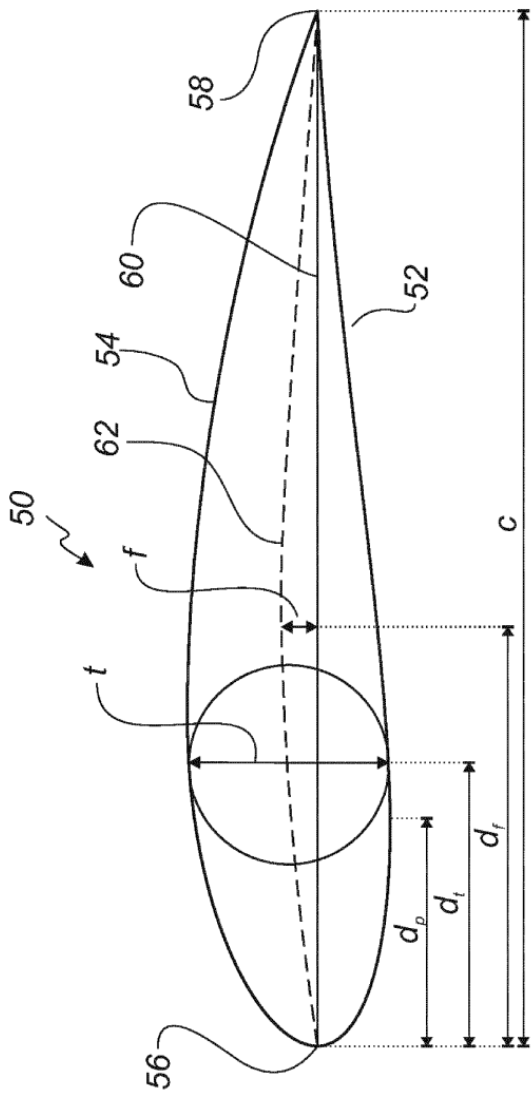
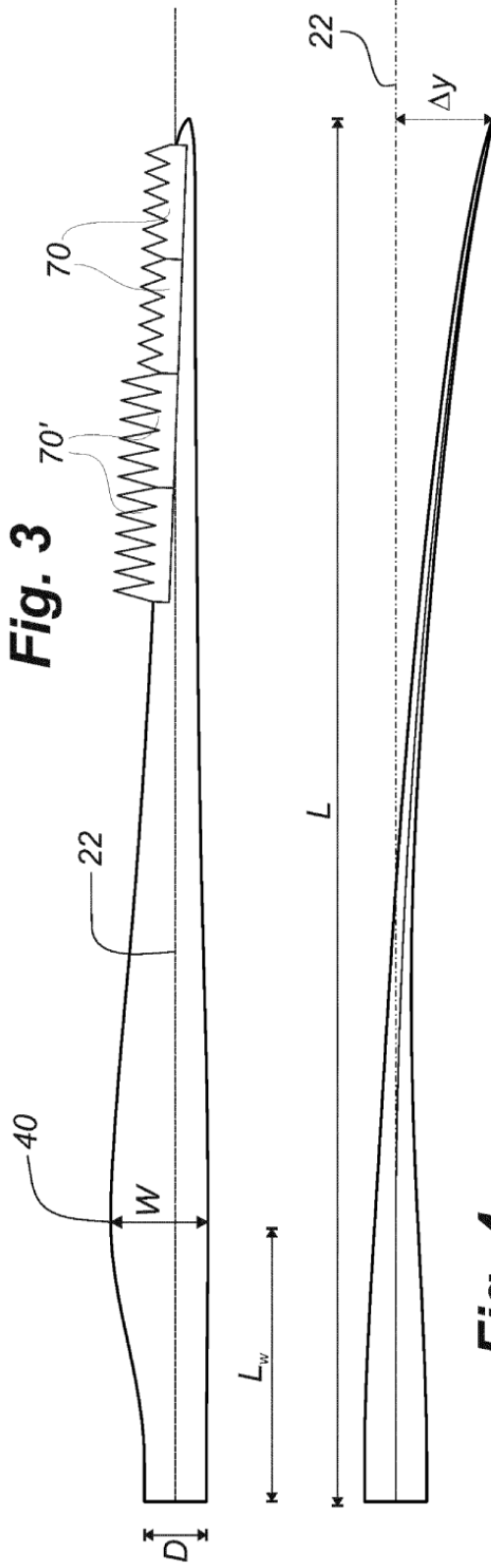


Fig. 2



**Fig. 3**



**Fig. 4**

