

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 663 672**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.09.2013 E 13184966 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.02.2018 EP 2851553**

54 Título: **Disposición para reducir el ruido de una pala de rotor de turbina eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**16.04.2018**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Wittelsbacherplatz 2  
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**OERLEMANS, STEFAN**

74 Agente/Representante:

**LOZANO GANDIA, José**

**ES 2 663 672 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).

**DISPOSICIÓN PARA REDUCIR EL RUIDO DE UNA PALA DE ROTOR DE TURBINA EÓLICA****DESCRIPCIÓN**

5 La presente invención se refiere a una disposición para reducir el ruido de una pala de rotor de turbina eólica. En particular, la disposición comprende medios de reducción de ruido que se fijan a una sección de borde de salida de la pala de rotor de turbina eólica y que reducen el ruido generado por la pala de rotor de turbina eólica de manera ventajosa. Además, la invención se refiere a un método para reducir el ruido de la pala de rotor de turbina eólica.

**10 Antecedentes de la invención**

El nivel de emisión de ruido es un parámetro de diseño crítico e importante de una turbina eólica. En particular, si la turbina eólica está ubicada en tierra y próxima a zonas residenciales, el ruido emitido por la turbina eólica puede ser una incomodidad y una molestia para los residentes locales. Por tanto, se han dedicado considerables esfuerzos en la investigación y el desarrollo para reducir el nivel de emisión de ruido de turbinas eólicas.

Una parte significativa del ruido que se origina a partir de una turbina eólica la genera el viento que fluye a través de una pala de rotor de turbina eólica. Más específicamente, una parte significativa del ruido que se origina a partir de la pala de rotor de turbina eólica se genera en la sección de borde de salida de la pala de rotor de turbina eólica.

Una manera de reducir el ruido generado en la sección de borde de salida de la pala de rotor de turbina eólica es el uso de paneles serrados que también se denominan DinoTails. Paneles serrados para palas de rotor de turbina eólica se dan a conocer, por ejemplo, en la solicitud de patente europea EP 2 309 119 A1. Un panel serrado normalmente presenta la forma de un panel o plancha y comprende elementos de sierra, también denominados dientes, en al menos un lado del panel. Tal panel serrado se fija por ejemplo a la sección de borde de salida mediante un adhesivo. Los dientes de un panel serrado normalmente están optimizados en cuanto a su forma y disposición de manera que se minimiza un nivel de emisión de ruido global de la pala de rotor de turbina eólica.

La composición del ruido generado y emitido por una pala de rotor de turbina eólica normalmente es compleja. Por un lado, el ruido se genera o crea en diferentes secciones o posiciones de la pala de rotor de turbina eólica. Puesto que normalmente pueden asignarse un lado de presión y un lado de succión a una pala de rotor de turbina eólica, el ruido global puede dividirse por tanto en ruido que se origina a partir del lado de presión y ruido que se origina a partir del lado de succión. Además, el espectro de frecuencia del ruido generado y emitido puede ser amplio. Más específicamente, el ruido generado por una pala de rotor de turbina eólica puede comprender frecuencias de desde varios hercios hasta varios kilohercios.

El documento WO 2012/156359 A1 se refiere a una pala de rotor de una turbina eólica en la que la pala de rotor comprende un borde de salida serrado. El borde de salida serrado comprende una primera pluralidad de dientes ("primera pluralidad de elementos sobresalientes") y una segunda pluralidad de dientes ("segunda pluralidad de elementos sobresalientes"). La primera pluralidad de dientes presenta una forma o tamaño diferente respecto en la pala de rotor respecto a la segunda pluralidad de dientes.

El documento US 2012/0141277 A1 se refiere a la conexión de elementos de sierra de borde de salida eléctricamente conductores y el sistema de protección contra rayos interno de la pala de rotor.

El documento US 2012/0027590 A1 se refiere a una pala de rotor de una turbina eólica, en la que la pala de rotor comprende un borde de salida serrado. En algunas realizaciones, el borde de salida serrado comprende una primera pluralidad de dientes ("primera superficie") y una segunda pluralidad de dientes ("segunda superficie") que pueden variar con respecto a sus dimensiones.

El documento US 2009/0074585 A1 también se refiere a una pala de rotor de una turbina eólica, en la que la pala comprende un borde de salida serrado. La forma de los elementos de sierra, en particular sus dimensiones, cambia en la dirección del sentido de la envergadura de la pala de rotor.

El documento US 2011/0142666 A1 también se refiere a una pala de rotor de una turbina eólica, en la que la pala de rotor comprende un borde de salida serrado.

Sólo es posible reducir hasta cierto punto el ruido de una pala de rotor de turbina eólica en el intervalo de frecuencia completo por medio de paneles serrados convencionales. Por tanto, existe la necesidad y el deseo de proporcionar medios de reducción de ruido para lograr una reducción del ruido de banda ancha de la pala de rotor de turbina eólica. En particular, se desea reducir tanto el ruido que se origina a partir del lado de presión como el ruido que se origina a partir del lado de succión de la pala de rotor de turbina eólica.

**65 Sumario de la invención**

Este objetivo se alcanza mediante las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes describen

desarrollos y modificaciones ventajosos de la invención.

Según la invención se proporciona una disposición para reducir el ruido de una pala de rotor de turbina eólica según la reivindicación 1.

5 Un aspecto importante de la presente invención se basa por tanto en el concepto o la idea de dividir los dientes de la extensión serrada en un primer grupo de primeros dientes y en al menos un segundo grupo de segundos dientes, en la que los primeros dientes abordan específicamente un primer aspecto o primer componente del ruido global generado por la pala de rotor de turbina eólica, y los segundos dientes abordan específicamente un segundo aspecto o segundo componente del ruido. Una ventaja de tener los dos grupos de dientes es que ambos grupos pueden optimizarse en cuanto a su diseño de manera separada e independiente entre sí. Por ejemplo, los primeros dientes pueden diseñarse específicamente para reducir el ruido generado por el lado de presión de la pala de rotor de turbina eólica mientras que los segundos dientes pueden diseñarse específicamente para reducir el ruido generado por el lado de succión de la pala de rotor de turbina eólica. Alternativamente, diferentes grupos de dientes pueden abordar diferentes intervalos de frecuencias del ruido global. Una consecuencia de los grupos especializados de dientes que abordan diferentes aspectos del ruido global es que puede reducirse el nivel de emisión de ruido global.

20 Debe observarse que el diseño de los dientes incluye varios aspectos. En primer lugar, el diseño comprende la forma de los dientes. La forma incluye todos los aspectos en cuanto a la forma geométrica relativa de los dientes. Por tanto, los dientes pueden presentar una forma de un triángulo o la forma de un rectángulo; pueden presentar bordes y rebordes y/o pueden ser redondos y curvos; además, los dientes puede ser alargados, remachados, etc. El diseño también incluye las dimensiones de los dientes. En particular, esto se refiere a una extensión longitudinal, una extensión transversal y un grosor de los dientes. Finalmente, es importante observar que el diseño de los dientes también comprende cómo están dispuestos los dientes con respecto a la sección de borde de salida de la pala de rotor de turbina eólica. Por ejemplo, los dientes pueden alinearse con una cuerda de la pala de rotor de turbina eólica. Alternativamente, los dientes pueden estar inclinados con respecto a la cuerda.

30 La extensión serrada puede conformarse como un panel serrado convencional. Dicho de otro modo, la extensión serrada puede comprender una plancha en la que al menos un lado de la plancha comprende elementos de sierra. Este panel serrado puede fijarse a la sección de borde de salida de la pala de rotor de turbina eólica. Esta fijación puede realizarse durante la fabricación de la pala de rotor de turbina eólica o, alternativamente, como una readaptación. Una fijación de readaptación de la extensión serrada a una pala de rotor de turbina eólica se refiere a la opción de que la extensión serrada se fije a la pala de rotor de turbina eólica que está ya montada a un buje de la turbina eólica. En particular, la readaptación puede realizarse después de que la turbina eólica haya estado ya en funcionamiento durante algún tiempo.

40 Alternativamente, la extensión serrada puede fabricarse también de manera integrada cuando se fabrica la pala de rotor de turbina eólica. Una ventaja de integrar la fabricación de la extensión serrada en la fabricación de la pala de rotor de turbina eólica es que no es necesario fabricar un panel serrado independiente que después debe fijarse a la pala de rotor de turbina eólica, dado que la extensión serrada ya forma parte de la pala de rotor de turbina eólica fabricada.

45 Aunque en muchos medios de reducción de ruido convencionales, en particular en paneles serrados con dientes, una reducción de ruido a bajas y medias frecuencias va acompañada por un incremento de ruido a altas frecuencias, la extensión serrada presentada en esta invención reduce el ruido tanto a partir del lado de succión como a partir del lado de presión, reduciendo así el ruido en un amplio intervalo de frecuencias.

50 Las dimensiones de los primeros dientes y los segundos dientes dependen de diversos parámetros tales como el tamaño de la pala de rotor de turbina eólica, la velocidad de flujo del viento en la cual se espera que se haga funcionar la pala de rotor de turbina eólica, etc. Sin embargo, en una realización ventajosa, la extensión en el sentido de la envergadura y la extensión en el sentido de la cuerda de un diente se encuentra en un intervalo de entre 1 cm (centímetro) y 20 cm. De manera adicional, ventajosamente, el grosor del diente no supera los 2 cm, en particular no supera 1 cm.

55 En una realización ventajosa, la sección de borde de salida comprende un borde de salida, y los primeros dientes y los segundos dientes están dispuestos en fila sustancialmente a lo largo del borde de salida.

60 El borde de salida puede concebirse también como un reborde o una línea que es la más distal desde la sección de borde de ataque en una dirección del sentido de la cuerda. En condiciones de funcionamiento típicas de una turbina eólica, el viento fluye desde la sección de borde de ataque a lo largo del lado de presión y el lado de succión hasta la sección de borde de salida. Dicho de otro modo, el flujo de viento típico es sustancialmente perpendicular al borde de salida. Por tanto, es ventajoso colocar o disponer los primeros dientes y los segundos dientes a lo largo del borde de salida con el fin de reducir el ruido generado por el viento que fluye por encima de la pala de rotor de turbina eólica en una gran región espacial.

65

Es posible colocar los primeros dientes y los segundos dientes con separaciones entre sí. Sin embargo, ventajosamente, los primeros dientes y los segundos dientes se disponen en fila y directamente adyacentes entre sí a lo largo del borde de salida.

5 En una primera alternativa, la extensión serrada se extiende a lo largo de todo el borde de salida. Esto quiere decir que la extensión serrada se extiende desde el extremo de raíz hasta el extremo de punta de la pala de rotor de turbina eólica.

10 En una segunda alternativa, sin embargo, se colocan extensiones serradas solamente en una parte exterior de la sección de borde de salida. Es ventajoso colocar la extensión serrada solamente en la parte exterior dado que una parte significativa y considerable del ruido generado por la pala de rotor de turbina eólica se genera en la parte exterior de la pala de rotor de turbina eólica.

15 En otra realización ventajosa, los primeros dientes y los segundos dientes se disponen en un patrón periódico alterno.

20 En determinadas condiciones y circunstancias, puede ser ventajoso disponer los primeros dientes y los segundos dientes de manera aleatoria y/o irregular. Sin embargo, con el fin de minimizar el ruido global generado por la pala de rotor de turbina eólica de manera eficaz y fiable, es ventajoso un patrón alterno. Por ejemplo, cada segundo diente es un diente del primer grupo de primeros dientes y, asimismo, cada diente segundo alterno es un diente del segundo grupo de segundos dientes. Dicho de otro modo, cada primer diente presenta dos segundos dientes vecinos y cada segundo diente presenta dos primeros dientes vecinos. Sin embargo, también puede ser ventajoso que sólo cada tercer o cuarto diente sea un diente del segundo grupo de segundos dientes. En general, puede decirse que la extensión serrada comprende ventajosamente primeros dientes, salvo cada diente de orden  $n$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) que es un diente del segundo grupo de segundos dientes.

25 En una realización ventajosa, varios primeros dientes difieren en menos de dos con respecto a varios segundos dientes.

30 Dicho de otro modo, el número de primeros dientes es básicamente igual al número de segundos dientes. Como ejemplo, la extensión serrada puede comprender 51 dientes de los cuales 25 son primeros dientes y 26 son segundos dientes. Estos 51 dientes se disponen ventajosamente de manera que cada primer diente es adyacente a dos segundos dientes y el diente en el primer extremo de la fila es un segundo diente y el diente en el segundo extremo de la fila es también un segundo diente.

35 En otra realización ventajosa, los primeros dientes presentan una forma sustancialmente triangular.

40 Aunque los dientes pueden presentar en principio cualquier forma, es ventajoso conformar los primeros dientes como triángulos con respecto a la reducción del ruido y con respecto a la manera eficaz de influir en el flujo de viento que pasa a lo largo de la pala de rotor de turbina eólica.

45 Además, es ventajoso que cada uno de los primeros dientes comprenda una base que está conectada con la sección de borde de salida, un primer flanco y un segundo flanco. La base y los dos flancos forman los tres lados del primer diente de forma triangular.

50 Dicho de otro modo, es ventajoso que la base de los dientes se oriente hacia la pala de rotor de turbina eólica y que la punta o vértice del diente de forma triangular se oriente hacia el sentido opuesto. Puede ser ventajoso conectar los primeros dientes directamente al borde de salida.

50 En otra realización ventajosa los primeros dientes presentan una forma de sustancialmente triángulos isósceles.

55 Esto significa que ambos flancos son iguales con respecto a su longitud. A modo de ejemplo, los primeros dientes presentan una forma de sustancialmente triángulos equiláteros, es decir triángulos en los que los tres lados son iguales en cuanto a su longitud. Por tanto, la razón entre la longitud de la base y la altura del diente es aproximadamente de 0,9.

60 Sin embargo, también puede ser ventajoso escoger unos primeros dientes donde la razón entre la longitud de la base y la altura del diente sea menor de 0,9. Puede ser particularmente beneficioso para la reducción de ruido una razón entre la longitud de la base y la altura del diente en un intervalo de entre 0,4 y 0,6.

60 En otra realización ventajosa, el primer flanco y/o el segundo flanco son serrados y/o son curvos, en particular curvos de manera convexa.

65 Una ventaja de un flanco serrado de un diente es que la dispersión acústica de la turbulencia que pasa por los bordes de los dientes es menos eficaz, reduciendo así el ruido. Un diente comprende ventajosamente entre uno y diez elementos de sierra en su flanco.

5 Un diente con un flanco curvo de manera convexa también se denomina descriptivamente diente con forma de pluma. Un flanco curvo de manera convexa es apropiado para reducir la eficacia de la dispersión acústica de la turbulencia que pasa por los bordes de los dientes. Esto, de nuevo, puede reducir el ruido. También pueden combinarse el curvado del flanco y la adición de elementos de sierra al flanco.

10 En otra realización ventajosa, los medios de reducción de ruido comprenden protuberancias que se ubican en el lado de presión y/o el lado de succión. Las protuberancias se ubican aguas arriba con respecto a un flujo de viento que está fluyendo desde la sección de borde de ataque hasta la sección de borde de salida. Además, las protuberancias están dispuestas y preparadas de manera que el flujo de viento se guía selectivamente hacia los primeros dientes o hacia los segundos dientes mediante las protuberancias.

15 Las protuberancias también pueden denominarse lomos o crestas. Ventajosamente, las protuberancias se ubican en la sección de borde de salida. Es ventajoso colocar protuberancias aguas arriba de cada primer diente de manera que, por ejemplo, el flujo de viento se guía de manera expresa hacia cada segundo diente. Pueden añadirse protuberancias tanto al lado de presión como al lado de succión de la pala de rotor de turbina eólica. Sin embargo, también puede ser ventajoso colocar protuberancias solamente en uno de los dos lados.

20 Según la invención, cada uno de los primeros dientes está inclinado con respecto a una línea de corriente del borde de salida formando un primer ángulo de inclinación. Cada uno de los segundos dientes está inclinado con respecto a una línea de corriente del borde de salida formando un segundo ángulo de inclinación. El primer ángulo de inclinación y el segundo ángulo de inclinación difieren entre sí en más de un grado, en particular en más de tres grados.

25 Una manera relativamente sencilla de reducir tanto el ruido del lado de succión como el ruido del lado de presión es escoger el diseño de los primeros dientes y de los segundos dientes de manera que ambos grupos de dientes presenten la misma forma pero difieran en su ángulo de inclinación con respecto a la línea de corriente del borde de salida. En este contexto, la línea de corriente del borde de salida se refiere a la dirección del flujo de viento cuando pasa a lo largo del borde de salida. Dicho de otro modo, la línea de corriente del borde de salida se refiere a la dirección del flujo de viento en el punto donde la primera fracción, que está fluyendo a lo largo del lado de presión, y la segunda fracción, que está fluyendo a lo largo del lado de succión, se encuentran de nuevo en el borde de salida.

35 Mediante la curvatura o inclinación de los dientes con diferentes ángulos de inclinación con respecto a la línea de corriente del borde de salida, puede ajustarse e influirse eficazmente en el impacto en la reducción de ruido. Ventajosamente, los ángulos de inclinación se escogen de manera que el coeficiente de sustentación de la pala de rotor de turbina eólica no se ve influido de manera adversa, al menos no en un grado significativo.

40 Debe observarse que la idea inventiva también puede transferirse y aplicarse a otras aplicaciones donde exista ruido de borde de salida, por ejemplo alas de aeronaves o ventiladores.

45 La invención también se refiere a un método para reducir el ruido de una pala de rotor de turbina eólica según la reivindicación 11.

50 Por tanto, el ruido que se genera a partir de la pala de rotor de turbina eólica se reduce por medio del diseño beneficioso de los primeros dientes y de los segundos dientes beneficiosos, en los que el diseño de los primeros dientes y el diseño de los segundos dientes difieren entre sí de manera que se abordan eficazmente diferentes aspectos del ruido. Debe observarse que también pueden usarse ventajosamente para el método descrito realizaciones ventajosas de la disposición para reducir el ruido de una pala de rotor de turbina eólica, que se han descrito anteriormente.

55 Ventajosamente, el método se caracteriza porque la extensión serrada se fija a la pala de rotor de turbina eólica como una readaptación o como una parte integrada durante el procedimiento de fabricación de la pala de rotor de turbina eólica.

**Breve descripción de los dibujos**

Se describen ahora realizaciones de la invención, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, de los cuales:

60 la figura 1 muestra una pala de rotor de turbina eólica según el estado de la técnica en una vista en planta;

la figura 2 muestra una pala de rotor de turbina eólica según el estado de la técnica en una vista en perspectiva;

65 la figura 3 muestra una disposición que comprende una pala de rotor de turbina eólica y una extensión serrada en una vista en planta;

la figura 4 muestra una disposición que comprende una pala de rotor de turbina eólica y una extensión serrada con dientes alternos en una vista en perspectiva;

la figura 5 muestra una sección transversal de una pala de rotor de turbina eólica con un primer diente;

la figura 6 muestra una extensión serrada fijada a un borde de salida en una vista en planta;

la figura 7 muestra un primer diente con flancos serrados en una vista en planta;

la figura 8 muestra un primer diente con flancos curvos de manera convexa en una vista en planta; y

la figura 9 muestra una extensión serrada fijada a una sección de borde de salida sobre la cual se fijan protuberancias/crestas en una vista en planta.

La ilustración de los dibujos es esquemática. Los elementos que se refieren a la misma función se denominan mediante los mismos números de referencia en los dibujos, a menos que se indique otra cosa.

### Descripción de los dibujos

La figura 1 muestra una pala 20 de rotor de turbina eólica en una vista en planta, es decir, una vista desde arriba. La pala 20 de rotor de turbina eólica comprende un extremo 21 de punta y un extremo 23 de raíz. El extremo 21 de punta se refiere a la parte de la pala 20 de rotor de turbina eólica que está alrededor de una punta 22 de la pala 20 de rotor de turbina eólica. En particular, el volumen del extremo 21 de punta comprende como máximo una parte de un 10 por ciento del volumen de la pala 20 de rotor de turbina eólica completa. Asimismo, el extremo 23 de raíz se refiere a la parte de la pala 20 de rotor de turbina eólica que está alrededor de una raíz 24 de la pala 20 de rotor de turbina eólica. En particular, el volumen del extremo 23 de raíz comprende como máximo un 10 por ciento del volumen de la pala 20 de rotor de turbina eólica completa.

Además, la pala 20 de rotor de turbina eólica comprende una sección 25 de borde de ataque con un borde 26 de ataque, así como una sección 27 de borde de salida con un borde 28 de salida. De nuevo, la sección 25 de borde de ataque se refiere a la parte de la pala 20 de rotor de turbina eólica que rodea al borde 26 de ataque. Asimismo, la sección 27 de borde de salida se refiere a la parte de la pala 20 de rotor de turbina eólica que rodea al borde 28 de salida.

Una cuerda 36 de la pala 20 de rotor de turbina eólica es una línea imaginaria entre el borde 26 de ataque y el borde 28 de salida. El punto del borde 28 de salida donde la cuerda 36 respectiva es máxima se indica como el hombro 29 de la pala 20 de rotor de turbina eólica.

Una envergadura 35, que se indica también como un eje longitudinal de la pala 20 de rotor de turbina eólica, se extiende desde la punta 22 hasta la raíz 24. La cuerda 36 se define como perpendicular a la envergadura 35.

Finalmente, la pala 20 de rotor de turbina eólica puede dividirse en una parte 31 interior y una parte 32 exterior. La parte interior se refiere a la mitad en el sentido de la envergadura de la pala 20 de rotor de turbina eólica que es adyacente a la raíz 24; la parte 32 exterior se refiere a la mitad en el sentido de la envergadura que es adyacente a la punta 22.

La figura 2 muestra una vista en perspectiva de una parte de una pala 20 de rotor de turbina eólica. La pala 20 de rotor de turbina eólica comprende un lado 34 de succión y, opuesto al lado 34 de succión, un lado 33 de presión. La cuerda 36 se divide en tres partes: una primera parte 361, una segunda parte 362 y una tercera parte 363. La primera parte 361 comprende un 10 por ciento de la longitud 365 de cuerda, la segunda parte 362 comprende un 70 por ciento de la longitud 365 de cuerda y la tercera parte 363 comprende un 20 por ciento de la longitud 365 de cuerda. Por tanto, la sección 25 de borde de ataque comprende una parte en el sentido de la cuerda de un 10 por ciento de la pala 20 de rotor de turbina eólica, y la sección 27 de borde de salida comprende una parte en el sentido de la cuerda de un 20 por ciento de la pala 20 de rotor de turbina eólica.

La figura 3 muestra una disposición 10 a modo de ejemplo de la invención en una vista en planta. La disposición 10 comprende una pala 20 de rotor de turbina eólica y una extensión 41 serrada. La extensión 41 serrada está fijada a un borde 28 de salida en una parte 32 exterior de la pala 20 de rotor de turbina eólica. La extensión 41 serrada comprende una pluralidad de dientes. Más específicamente, los dientes de la extensión 41 serrada se dividen en primeros dientes 61 y segundos dientes 62. Los primeros dientes 61 y los segundos dientes 62 están diseñados de manera ligeramente diferente, lo que por motivos de simplicidad no se muestra en la figura 3.

La figura 4 muestra una parte de una disposición 10 según la invención que comprende una pala 20 de rotor de turbina eólica y una extensión 41 serrada que comprende primeros dientes 61 y segundos dientes 62. Los dientes 61, 62 están fijados a la sección 27 de borde de salida a lo largo de un borde 28 de salida. Los primeros dientes 61 y los segundos dientes 62 difieren entre sí en que están inclinados o curvados de manera diferente con respecto a una

línea 42 de corriente del borde de salida. La línea 42 de corriente de borde de salida se define como la dirección de una línea de corriente de un flujo de viento en el borde 28 de salida. En la figura 4, los segundos dientes 62 están curvados más hacia un lado 34 de succión de la pala 20 de rotor de turbina eólica en comparación con los primeros dientes 61. La forma de los primeros dientes 61 y los segundos dientes 62 es aproximadamente la misma.

5 La figura 5 muestra una vista en sección transversal de una disposición 10 similar tal como se muestra en la figura 4. Puede observarse que un flujo 11 de viento fluye en el borde 28 de salida en una dirección que se denomina línea 42 de corriente del borde de salida.

10 La línea 42 de corriente del borde de salida está inclinada con respecto a una cuerda 36 formando un ángulo 42 de inclinación de la línea de corriente del borde de salida. En la figura 5 también puede observarse una vista en sección transversal de un primer diente 61. El primer diente 61 se fija a la pala 20 de rotor de turbina eólica en un borde 28 de salida de la pala 20 de rotor de turbina eólica. El primer diente 61 está inclinado o curvado con respecto a la línea 42 de corriente del borde de salida formando un ángulo 43 de inclinación. Ventajosamente, el ángulo de inclinación se encuentra en un intervalo de entre 0 grados y 45 grados (hacia cualquiera del lado de presión o el lado de succión). Los experimentos han mostrado que un ángulo 43 de inclinación en un intervalo de entre 2 grados y 15 grados (hacia el lado de presión o el lado de succión) es particularmente beneficioso para la reducción del ruido que se genera en una sección 27 de borde de salida de la pala 20 de rotor de turbina eólica.

20 En una realización particularmente ventajosa, los primeros dientes 61 comprenden un ángulo de inclinación de 5 grados hacia un lado 33 de presión de la pala 20 de rotor de turbina eólica. De manera adicional, los segundos dientes 62 comprenden un ángulo de inclinación de 5 grados hacia un lado 34 de succión de la pala 20 de rotor de turbina eólica.

25 La figura 6 muestra una vista en planta de una extensión 41 serrada, que está fijada a un borde 28 de salida de una sección 27 de borde de salida de una pala 20 de rotor de turbina eólica. La extensión 41 serrada comprende primeros dientes 61 y segundos dientes 62. Ambos dientes 61, 62 están dispuestos en un patrón periódico alterno.

30 Pueden asignarse una base 51, un primer flanco 52, un segundo flanco 53 y un ángulo 56 de vértice al primer diente 61. En el ejemplo mostrado en la figura 6, el primer diente 61 presenta la forma de un triángulo isósceles. El ángulo 56 de vértice es relativamente romo, comprendiendo aproximadamente 55 grados en el ejemplo mostrado en la figura 6.

35 La figura 7 y la figura 8 muestran dos realizaciones ventajosas de un diente 50. Ambos dientes 50 presentan una forma que puede describirse como sustancialmente triangular. Se representa una forma triangular ideal con líneas discontinuas.

40 Desviándose de la forma de un triángulo ideal, la figura 7 muestra un diente 50 con un primer flanco 52 serrado y un segundo flanco 53 serrado simétrico de manera especular. Para referencia y comparación, se indican flancos no serrados imaginarios mediante las líneas 521 y 531 discontinuas. En la figura 7 puede observarse que pueden asignarse una longitud 54 de base de la base 51 así como una altura 55 de diente al diente 50. A modo de ejemplo, la altura 55 de diente es de 6 cm y la longitud 54 de base es de 4 cm. De manera adicional, el grosor del diente 50 es de 2 mm en la base 51. Los flancos 52, 53 serrados presentan la ventaja de que la dispersión acústica de la turbulencia que pasa por los bordes de los dientes es menos eficaz. Esto conduce a una reducción de ruido.

45 En la figura 8, el primer flanco 52 y el segundo flanco 53 son curvos de manera convexa con respecto a un primer flanco 521 imaginario y un segundo flanco 531 imaginario de un triángulo isósceles ideal. Esto también conduce a una dispersión menos eficaz de la turbulencia que pasa por los bordes de los dientes, conduciendo finalmente a la reducción de ruido generado por el flujo de viento. La forma del diente 50 mostrado en la figura 8 se describe también como una forma de pluma.

50 Como ya se ha mencionado, la ilustración de los dibujos es esquemática. En particular, la forma de los dientes, e incluso más particularmente, la razón entre la longitud 54 de base y la altura 55 de diente, mostradas en la figura 7 y la figura 8 no son necesariamente a escala real. Ventajosamente, la razón entre la longitud 54 de base y la altura 55 de diente se encuentra en el intervalo de 0,4 a 0,6.

55 Finalmente, la figura 9 muestra protuberancias o crestas 45 que están fijadas a una sección 27 de borde de salida de una pala 20 de rotor de turbina eólica. Las protuberancias 45 conducen a una desviación de una línea 42 de corriente del borde de salida de un flujo de viento. Esto presenta la ventaja de que el viento fluye sobre los dientes 61, 62 de una extensión 41 serrada formando un ángulo diferente en comparación con una sección 27 de borde de salida plana sin protuberancias 45. Debido al hecho de que el flujo de viento desviado o apartado está más alineado con los flancos de los segundos dientes 62, se reduce el ruido. Debe observarse que uno de los aspectos de las protuberancias 45 es que el flujo de viento se guía selectivamente a los segundos dientes 62 y se impide su flujo hacia los primeros dientes 61.

65

**REIVINDICACIONES**

1. Disposición (10) para reducir el ruido de una pala (20) de rotor de turbina eólica, en la que
- 5 - la disposición (10) comprende una pala (20) de rotor de turbina eólica y medios de reducción de ruido,
- la pala (20) de rotor de turbina eólica comprende un extremo (23) de raíz, un extremo (21) de punta, una sección (25) de borde de ataque y una sección (27) de borde de salida,
- 10 - los medios de reducción de ruido comprenden una extensión (41) serrada para reducir al menos el ruido que se genera a partir de la pala (20) de rotor de turbina eólica,
- los medios de reducción de ruido están fijados a una sección (27) de borde de salida,
- 15 caracterizada porque
- la extensión (41) serrada comprende varios primeros dientes (61) y varios segundos dientes (62),
- cada uno de los primeros dientes (61) está inclinado con respecto a una línea (42) de corriente del borde de salida formando un primer ángulo de inclinación,
- 20 - cada de los segundos dientes (62) está inclinado con respecto a una línea (42) de corriente del borde de salida formando un segundo ángulo de inclinación, y
- el primer ángulo de inclinación y el segundo ángulo de inclinación difieren entre sí en más de 1 grado.
2. Disposición (10) según la reivindicación 1, en la que el primer ángulo de inclinación y el segundo ángulo de inclinación difieren entre sí en más de tres grados.
- 30 3. Disposición (10) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque
- la sección (27) de borde de salida comprende un borde (28) de salida, y
- los primeros dientes (61) y los segundos dientes (62) están dispuestos en una fila sustancialmente a lo largo del borde (28) de salida.
- 35 4. Disposición (10) según la reivindicación 3, caracterizada porque los primeros dientes (61) y los segundos dientes (62) están dispuestos en un patrón periódico alterno de manera que cada diente de orden n pertenece a la pluralidad de segundos dientes (62), en la que "n" es un número natural, en particular dos o tres.
- 40 5. Disposición (10) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque varios primeros dientes (61) difieren en menos de dos con respecto al número de varios segundos dientes (62).
- 45 6. Disposición (10) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque los primeros dientes (61) presentan una forma sustancialmente triangular.
7. Disposición (10) según la reivindicación 6, caracterizada porque
- 50 - cada uno de los primeros dientes (61) comprende una base (51) que está conectada con la sección (27) de borde de salida, un primer flanco (52) y un segundo flanco (53), y
- la base (51) y los flancos (52, 53) forman los tres lados del primer diente (61) de forma triangular.
- 55 8. Disposición (10) según la reivindicación 7, caracterizada porque los primeros dientes (61) presentan una forma de sustancialmente triángulos isósceles.
9. Disposición (10) según la reivindicación 7 u 8, caracterizada porque
- 60 el primer flanco (52) y/o el segundo flanco (53) son
- serrados y/o
- 65 - curvos, en particular curvos de manera convexa.



10. Disposición (10) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque
- 5 - los medios de reducción de ruido comprenden protuberancias (45) que se ubican en el lado (33) de presión y/o el lado (34) de succión,
- las protuberancias (45) se ubican aguas arriba con respecto a un flujo (11) de viento que está fluyendo desde la sección (25) de borde de ataque hasta la sección (27) de borde de salida, y
- 10 - las protuberancias (45) y/o crestas están dispuestas y preparadas de manera que el flujo (11) de viento se guía selectivamente hacia los primeros dientes (61) o hacia los segundos dientes (62) mediante las protuberancias (45).
11. Método para reducir el ruido de una pala (20) de rotor de turbina eólica,
- 15 - mientras que la pala (20) de rotor de turbina eólica comprende un extremo (23) de raíz, un extremo (21) de punta, una sección (25) de borde de ataque y una sección (27) de borde de salida,
- en el que se reduce el ruido que se genera a partir de la pala (20) de rotor de turbina eólica mediante medios de reducción de ruido, que están fijados a la sección (27) de borde de salida como una extensión (41) serrada,
- 20 - en el que el ruido se reduce mediante dientes (61, 62) que forman parte de la extensión (41) serrada,
- 25 - los dientes (61, 62) de la extensión (41) serrada están diseñados como varios primeros dientes (61) y como varios segundos dientes (62),
- cada uno de los primeros dientes (61) está inclinado con respecto a una línea (42) de corriente del borde de salida formando un primer ángulo de inclinación,
- 30 - cada uno de los segundos dientes (62) está inclinado con respecto a una línea (42) de corriente del borde de salida formando un segundo ángulo de inclinación, y
- el primer ángulo de inclinación y el segundo ángulo de inclinación difieren entre sí en más de un grado, en particular en más de tres grados.
- 35
12. Método según la reivindicación 11, caracterizado porque la extensión (41) serrada se fija a la pala (20) de rotor de turbina eólica como una readaptación o como una parte integrada durante el procedimiento de fabricación de la pala (20) de rotor de turbina eólica.
- 40

FIG 1

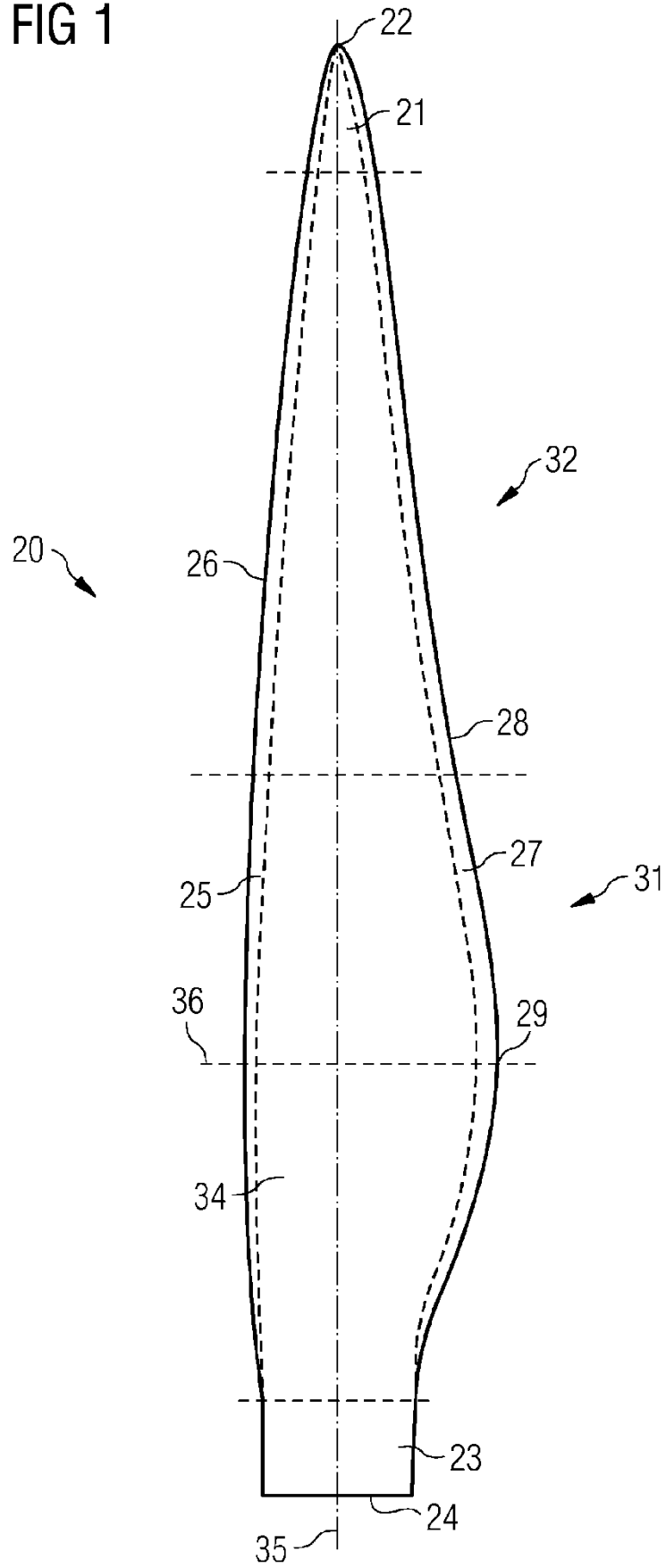


FIG 2

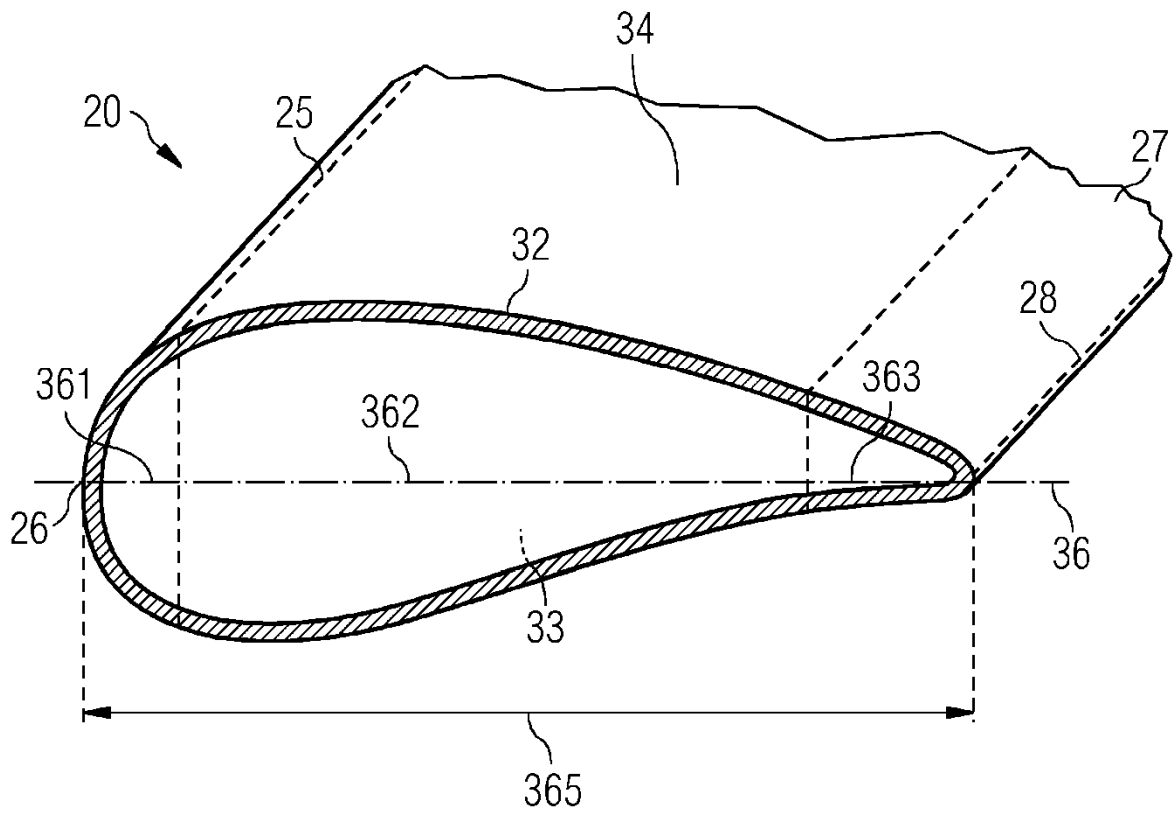


FIG 3

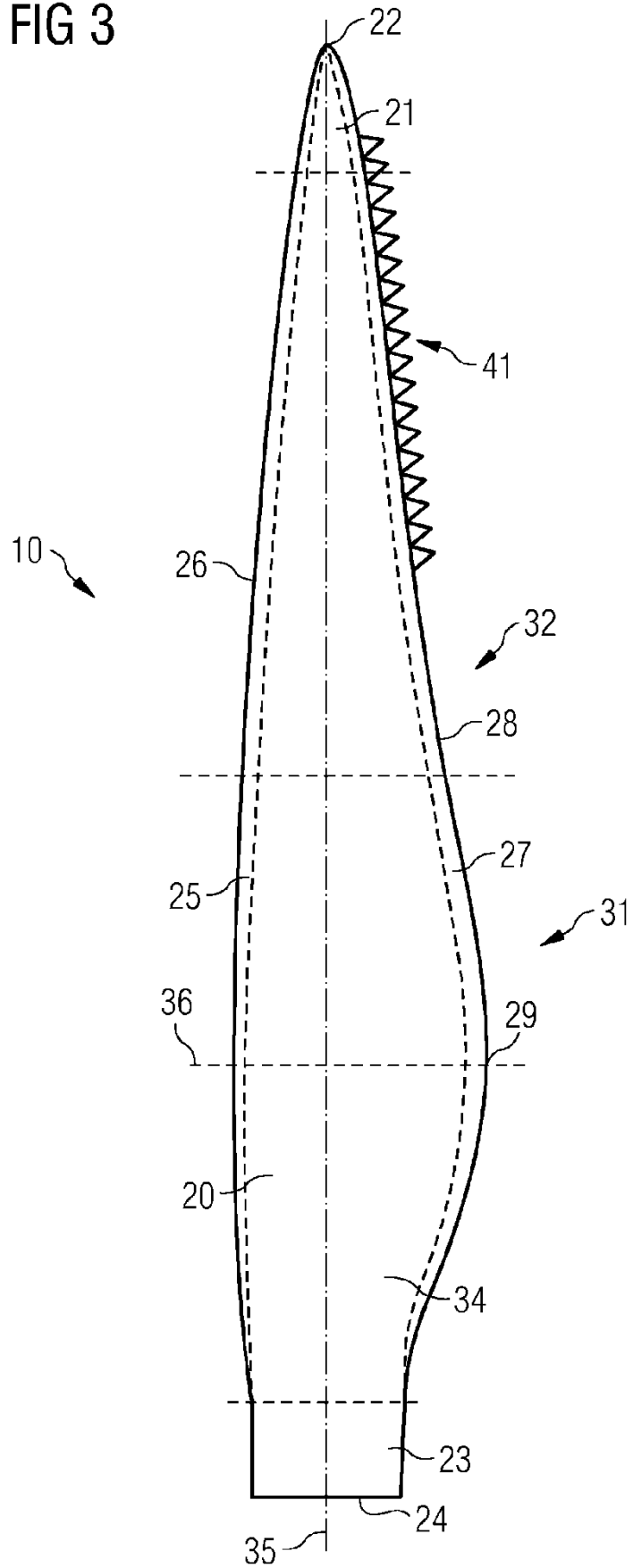


FIG 4

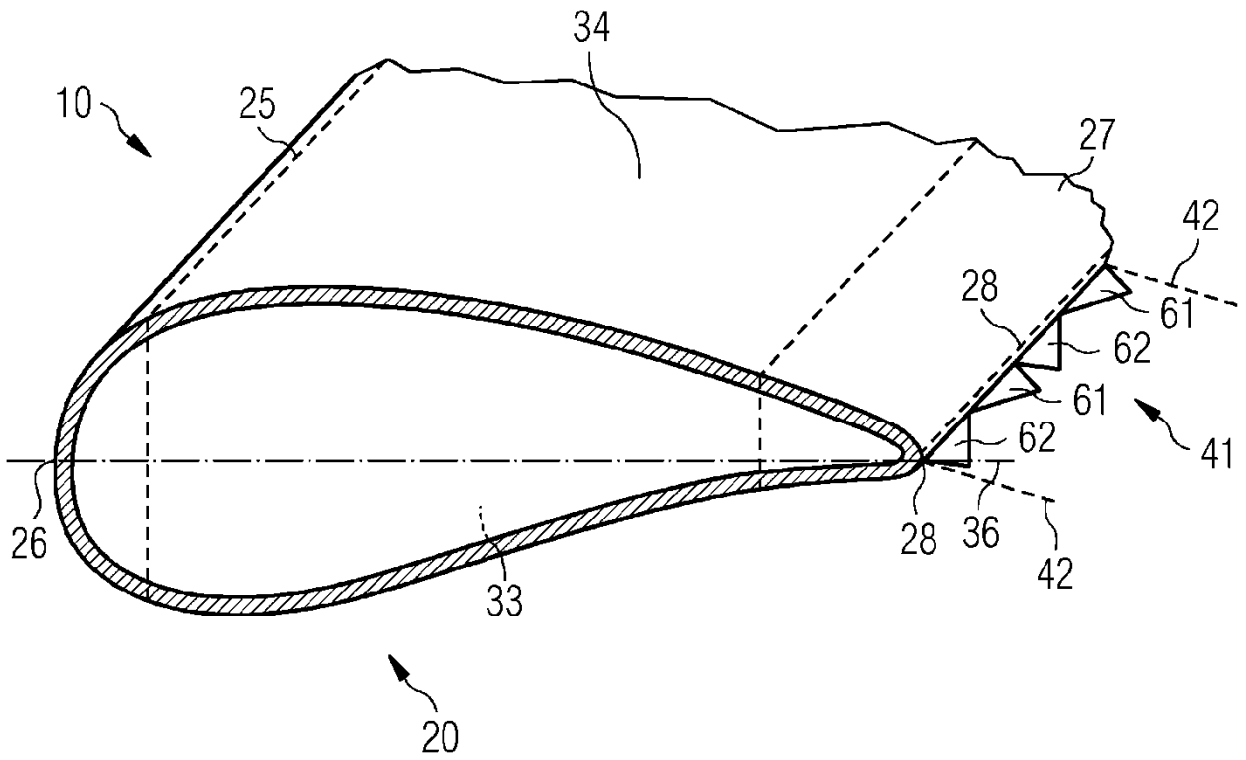


FIG 5

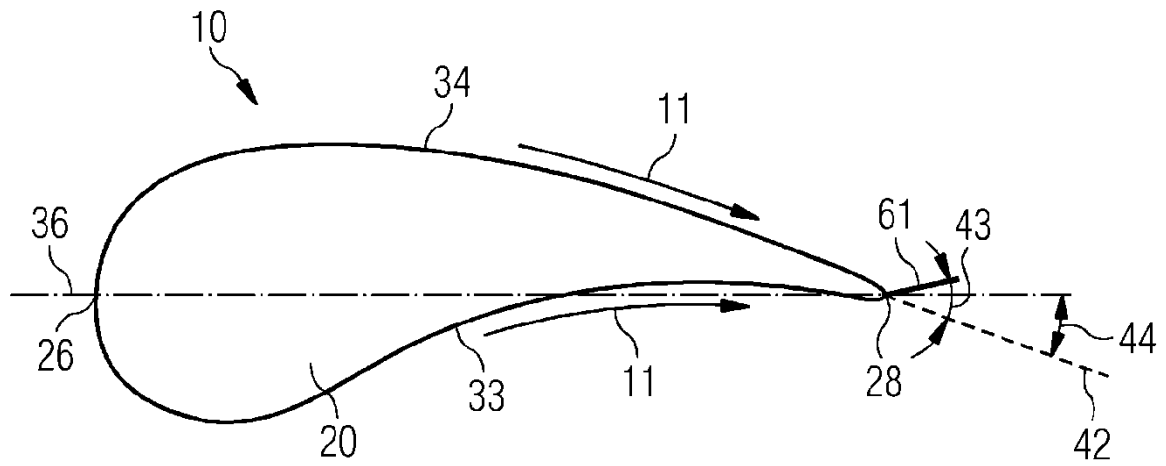


FIG 6

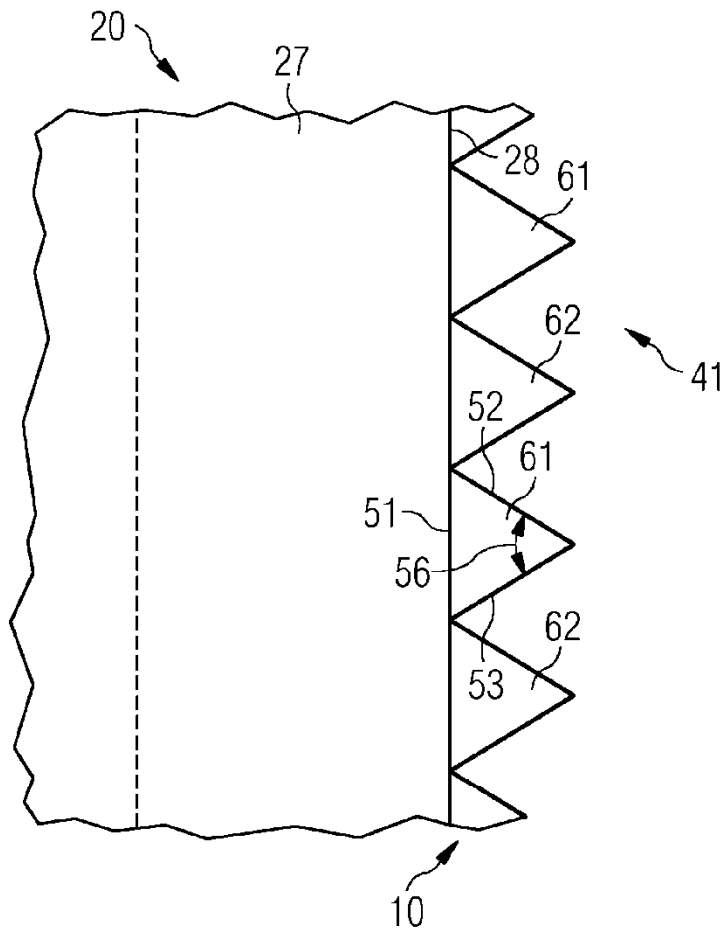


FIG 7

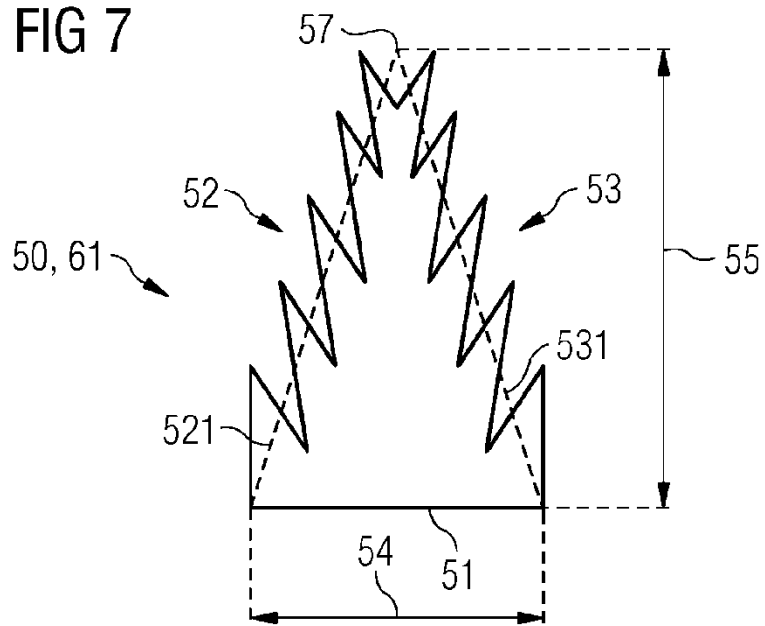


FIG 8

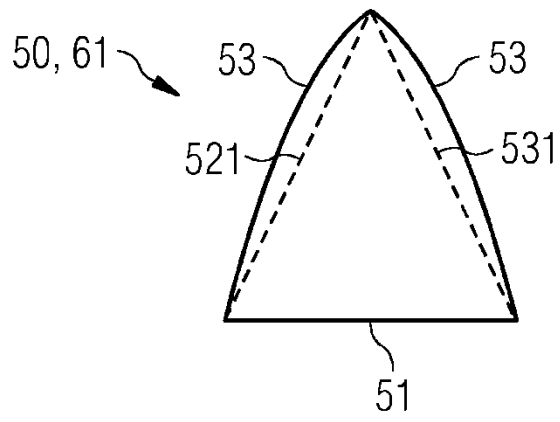


FIG 9

