

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 934 695**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.04.2016** **PCT/EP2016/058428**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.11.2016** **WO16184619**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.04.2016** **E 16716604 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.11.2022** **EP 3268605**

54 Título: **Pala de rotor con dentados para turbina eólica**

30 Prioridad:

21.05.2015 EP 15168714

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

24.02.2023

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S
(100.0%)**

**Borupvej 16
7330 Brande, DK**

72 Inventor/es:

**ASHEIM, MICHAEL J. y
SINGH, MANJINDER J.**

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 934 695 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 de rotor con dentados para turbina eólica

5 La presente invención se refiere a una pala de rotor para una turbina eólica que está configurada de manera que la generación de ruido en la sección de borde de salida de la pala de rotor se reduce en comparación con las palas de rotor convencionales. La invención se refiere además a una turbina eólica que comprende al menos una de tales palas de rotor.

10 Durante la rotación de una pala de rotor alrededor del eje de rotación del rotor de una turbina eólica, generalmente se genera ruido en la sección de borde de salida de la pala de rotor. Entre otras cosas, la principal fuente de ruido es la interacción de estructuras turbulentas en la capa límite con el borde de salida. La literatura muestra que la mayor parte del ruido se emite si el ángulo entre la dirección media del flujo y el borde de salida es de unos 90 grados. Además, la mezcla del flujo desde el lado de succión y de presión de la pala de rotor más allá del borde de salida, lo que también
15 se conoce como recuperación de flujo, puede generar turbulencia que también puede afectar negativamente al ruido generado por la turbina eólica.

Este ruido puede ser un problema, especialmente si la turbina eólica está instalada en tierra cerca de un área residencial. En este caso, generalmente se aplican valores de umbral que indican el ruido máximo permisible generado por la turbina eólica.

Por lo tanto, un concepto de cómo reducir el ruido que se genera en la sección de borde de salida de la pala de rotor es muy ventajoso.

25 En el estado de la técnica existen diferentes conceptos en cuanto a la reducción del ruido de las palas del rotor de una turbina eólica. Un enfoque es la provisión de dentados, tal como un panel dentado, en la sección de borde de salida de la pala de rotor. Debido a los dentados, se modifica el ángulo entre la dirección del flujo de aire y el borde de salida. Esta modificación puede reducir significativamente el ruido generado en el borde de salida.

30 Otro enfoque de la reducción del ruido de las palas de rotor es la provisión de cerdas, tal como un cepillo o un peine en la sección de borde de salida. Se ha divulgado un ejemplo de una pala de rotor de una turbina eólica que comprende una estructura similar a un peine en el borde de salida en la solicitud de patente

US 2007/0077150 A1. En este documento se proporciona una pala de rotor con una pluralidad de cerdas flexibles, que están alineadas en una fila y sobresalen sobre el borde de salida de la pala de rotor, para reducir el ruido que se genera debido a la interacción de las estructuras turbulentas en la capa límite con los bordes de salida, así como el ruido debido a la turbulencia generada por la recuperación de presión.

40 Sin embargo, la reducción de ruido que se puede lograr aplicando uno de los conceptos mencionados puede ser insuficiente e insatisfactoria.

Además, el documento JP 2015 042 864 A divulga cubrir muescas de dentados con tela de vidrio.

45 Además, el documento US 2011/223030A1 divulga proporcionar una pluralidad de mechones o una pluralidad de cerdas en un borde periférico de los dentados o situar una capa porosa en los dientes de los dentados.

Además, el documento US 2008/0187442 A1 divulga dientes alternados con cerdas.

50 Por lo tanto, el objetivo de la presente invención es proporcionar una pala de rotor para una turbina eólica con un potencial de reducción de ruido mejorado.

Este objetivo se alcanza mediante el objeto de la reivindicación independiente. Realizaciones ventajosas y modificaciones se divulgan en las reivindicaciones dependientes.

55 De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona una pala de rotor para una turbina eólica, en la que la pala de rotor comprende dentados a lo largo de al menos una porción de la sección de borde de salida de la pala de rotor. Los dentados comprenden un primer diente y al menos un segundo diente, en el que el primer diente está separado del segundo diente. Además, el área entre el primer diente y el segundo diente se rellena al menos parcialmente con material poroso de manera que se reduce la generación de ruido en la sección de borde de salida de la pala de rotor.

60 Un aspecto clave de la presente invención es que, al proporcionar material poroso entre dos dientes adyacentes de los dentados, se reduce el ruido generado por la fusión del flujo de aire desde el lado de presión y el lado de succión entre los dientes adyacentes. En otras palabras, mientras que en una pala de rotor con dentados convencionales, el chorro de flujo de aire que pasa a través de los dientes, es decir, pasa a través del hueco o intersticio entre dos dientes adyacentes, genera ruido debido a la recuperación de presión desde el lado de presión y desde el lado de succión de la pala de rotor, el material poroso entre los dientes adyacentes permite que el gradiente de presión en la dirección
65

del flujo a través del borde de salida se iguale más lentamente. En consecuencia, se puede lograr una reducción en la magnitud de la emisión acústica.

5 Un segundo aspecto y una ventaja adicional de la presente configuración es que las estructuras generalmente más finas del material poroso en comparación con la estructura de los dentados hacen que aumenten las frecuencias del ruido emitido. Un ruido que comprende frecuencias más altas tiene las ventajas de que se amortigua más rápidamente en el aire ambiente que el ruido con frecuencias más bajas. Así, se reduce el nivel de presión sonora percibido por un observador en el suelo.

10 En resumen, la pala de rotor inventiva que comprende dentados y un material poroso entre dos dientes adyacentes tiene la doble ventaja de que la intensidad del ruido se reduce porque el gradiente de presión entre el lado de succión y el lado de presión tiene un entorno más estable para igualar; y el ruido que se genera tiene generalmente frecuencias más altas debido a la estructura más fina del material poroso en comparación con la estructura de los dentados. En general, se puede lograr así una reducción significativa del ruido.

15 Se hace referencia a una turbina eólica como un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en un movimiento de rotación, es decir, en energía rotacional del rotor de la turbina eólica. Esta energía rotacional está destinada a ser utilizada para generar electricidad.

20 El primer diente está separado del segundo diente, lo que debe entenderse porque la punta del primer diente está separada por un espacio de la punta del segundo diente. En una alternativa, también la base de ambos dientes está separada por una distancia predeterminada. En otra alternativa, el primer diente y el segundo diente son estrechamente adyacentes entre sí en sus bases y solo están separados entre sí en sus puntas.

25 El área entre el primer diente y el segundo diente está parcialmente llena de material poroso o incluso totalmente llena de material poroso.

30 En el contexto de esta solicitud de patente, se entiende por material poroso un material que comprende una fracción de área abierta distinta del cero por ciento y del cien por cien. La fracción de área abierta se define como la fracción del área al aire libre comparada con el área total cubierta por el material poroso.

35 Hablando descriptivamente, cualquier material que esté compuesto por secciones macizas y por secciones con aberturas es un material poroso que en principio es adecuado para estar dispuesto entre dientes adyacentes de los dentados de la pala de rotor. Ventajosamente, la fracción de área abierta del material poroso, es decir, la porosidad del material poroso es superior al 10 % y/o inferior al 90 %. El valor preferido exacto de la porosidad depende de la rapidez con la que se requiera la igualación de la presión. Debe tenerse en cuenta que, en principio, una configuración de porosidad más baja permite una igualación/recuperación más rápida en comparación con una porosidad más alta del material poroso. En particular, la porosidad del material poroso es superior al 20 % y/o inferior al 80 %.

40 La porosidad se ajusta preferiblemente al impacto deseado del material poroso en los flujos de aire que se fusionan entre el lado de presión y el lado de succión. Los límites inferior y superior mencionados para la porosidad se consideran particularmente adecuados para una reducción eficaz del ruido.

45 El material poroso puede ser, por ejemplo, una malla que comprende una pluralidad de hilos que están conectados entre sí en un patrón regular.

50 La malla puede consistir, por ejemplo, en un primer conjunto de hilos paralelos y un segundo conjunto de hilos paralelos y ambos conjuntos de hilos paralelos están dispuestos en un ángulo predeterminado. Este ángulo predeterminado puede ser, por ejemplo, de 90°.

Una ventaja de tener una malla como material poroso es que está fácilmente disponible y es robusta. Además, la porosidad, que se define como la fracción del área al aire libre en comparación con el área total cubierta por la malla, se puede ajustar por el espesor de los hilos y la distancia de hilos adyacentes.

55 En un ejemplo no cubierto por la invención, el material poroso está hecho de una espuma de celda abierta. Se entiende por espuma una sustancia que se forma mediante bolsas de gas en un sólido.

60 Es ventajoso usar una espuma de celda abierta porque una espuma de celda abierta se caracteriza por bolsas de gas que se conectan entre sí. Así, el aire desde el lado de presión puede fluir a través de un laberinto de bolsas de gas interconectadas hacia el lado de succión y viceversa.

Una ventaja de elegir una espuma de celda abierta como material poroso entre los dientes adyacentes es que la porosidad del material poroso se puede elegir en un intervalo relativamente amplio y que el material de espuma de celda abierta está fácilmente disponible. Ventajosamente, se usa una espuma sólida reticulada.

65 En otro aspecto de la invención, el material poroso comprende una pluralidad de fibras.

Más particularmente, la pluralidad de fibras también puede describirse como material poroso. Esta forma de describir las fibras se basa en la comprensión de la noción de "material poroso" como un material que está compuesto por secciones sólidas y por secciones con aberturas. En otras palabras, si el área entre dos dientes adyacentes se rellena con fibras sólidas y estas fibras ocupan el treinta por ciento de esta área, esta área puede describirse como rellena con un material poroso que tiene una porosidad del treinta por ciento.

Generalmente se entiende que las fibras tienen una longitud que supera significativamente su espesor. Las fibras también se denominan cerdas o cepillos. La pluralidad de fibras puede conducir a una estructura similar a un peine.

En una realización de la invención, la pala de rotor tiene una longitud de al menos veinte metros, en particular, de al menos treinta metros.

En otra realización de la invención, la extensión en la dirección de la cuerda del primer diente es inferior a cinco metros, en particular, inferior a tres metros.

En otra realización más de la invención, la pala de rotor comprende dentados a lo largo de al menos una porción de la sección de borde de salida de la pala de rotor, en la que la extensión en la dirección de la envergadura de la porción de la sección de borde de salida supera los cincuenta centímetros, en particular, supera un metro.

En otra realización ventajosa, las fibras están dispuestas sustancialmente paralelas entre sí. En particular, las fibras sustancialmente paralelas están dispuestas sustancialmente en la dirección de la cuerda de la pala de rotor. La dirección en el sentido de la cuerda se define como la dirección de las líneas de cuerda de la pala de rotor. Las líneas de cuerda son perpendiculares a la envergadura de la pala de rotor y conectan el borde de ataque de la pala de rotor con el borde de salida de la pala de rotor. El flujo de aire a través del lado de succión o del lado de presión normalmente también fluye sustancialmente en la dirección de la cuerda.

En particular, las fibras se pueden estrechar en la dirección hacia el borde de salida de la pala de rotor.

Obsérvese que, en el contexto de esta solicitud de patente, el borde de salida de la pala de rotor se define como la parte de la pala de rotor que se encuentra más aguas abajo con respecto al flujo de aire que fluye a través del lado de succión y del lado de presión. El borde de salida es parte de la sección de borde de salida.

El borde de salida de una pala de rotor sin dentados o similares tiene típicamente la forma de una línea recta. En presencia de dentados, el contorno de los dentados representa el borde de salida de la pala de rotor. En el caso de una pluralidad de fibras rellenas en el área entre los dentados, el borde de salida puede estar formado tanto por una porción del contorno de los dentados como por el reborde exterior de las fibras, respetando la definición de que el borde de salida de la pala de rotor se define como la parte de la pala de rotor que se encuentra más aguas abajo.

Ventajosamente, el material poroso está hecho a partir de plástico. Alternativamente, también se puede usar cualquier otro material, tal como metal o tela, para fabricar el material poroso, en particular, las fibras.

El plástico tiene la ventaja de que es relativamente económico, fácilmente disponible, inofensivo y robusto. En particular, el último punto es importante, ya que las palas del rotor están destinadas a funcionar durante muchos años en condiciones adversas. Como la reparación o la sustitución de las fibras es compleja y costosa, se prefiere un material de vida tan larga como el mencionado.

En otra realización ventajosa, la pluralidad de fibras comprende una primera porción que está dispuesta dentro del plano cordal de la pala de rotor, y una segunda porción que está dispuesta fuera del plano cordal de la pala de rotor.

El plano cordal se define como el plano que está definido por la pluralidad de líneas de cuerda de la pala de rotor. En el caso de una pala de rotor no torcida, el plano cordal es un plano que es plano. En el caso de una pala de rotor torcida, las líneas de cuerda pueden estar dispuestas entre sí de manera que no sean paralelas entre sí, sino que formen diferentes ángulos entre sí. En este caso, el plano cordal tiene la forma de un plano curvo.

En particular, todos los dentados pueden estar dispuestos dentro del mismo plano, preferiblemente el plano cordal de la pala de rotor. Entonces, en una primera opción, la pluralidad de fibras también puede estar dispuesta dentro del plano cordal. Esto tiene la ventaja de la facilidad de fabricación.

Alternativamente, la pluralidad de fibras en una segunda porción también puede estar fuera del plano cordal. Esto tiene la ventaja de que se puede mejorar aún más la capacidad de reducción de ruido de los dentados con las fibras. En particular, la segunda porción puede ser adyacente al borde de salida de la pala de rotor, es decir, aguas abajo. Obsérvese que las fibras están permanentemente dobladas fuera del plano cordal en la segunda porción de la pluralidad de fibras. Además, pueden doblarse o desviarse aún más del plano cordal bajo determinadas cargas, en particular, pesadas, de la sección de borde de salida de la pala de rotor. Este caso también se conoce como sección de borde de salida flexible y con flexión pasiva.

En una realización de la invención, las fibras pueden configurarse como duras o rígidas en esta realización.

En general y sin limitarse a la realización específica descrita anteriormente, las fibras se configuran ventajosamente para ser rígidas. Esto significa que, en condiciones de funcionamiento típicas de la turbina eólica, es decir, para velocidades de viento inferiores a veinte metros por segundo, no se produce prácticamente ninguna flexión de las fibras.

En otra realización de la invención, las fibras pueden presentar una cierta flexibilidad de manera que se produzca una cierta flexión de las fibras incluso por debajo de las velocidades de viento mencionadas de veinte metros por segundo.

El borde de salida de la pala de rotor se define como la línea o el borde de la pala de rotor que está más aguas abajo con respecto al flujo de aire que fluye a través de la pala de rotor. La pluralidad de fibras puede llenar completamente el área entre el primer diente y el segundo diente. Por lo tanto, el borde de salida puede describirse como una línea sustancialmente recta.

Alternativamente, puede ser ventajoso disponer la pluralidad de fibras de manera que llene toda el área adyacente a las puntas de los dientes, pero que no llene completamente la parte de esta área en el medio entre dos dientes adyacentes. Esto da como resultado un borde de salida que se desplaza hacia el borde de ataque de la pala de rotor entre dos dientes adyacentes.

El primer diente y/o el segundo diente pueden tener una forma triangular vistos desde arriba sobre los dentados. En particular, la forma triangular se puede describir como si tuviera una punta y una base en la que la punta se dirige hacia el borde de salida, es decir, incluso puede ser una parte del borde de salida, y la base del diente se dirige hacia el borde de ataque de la pala de rotor. Se ha demostrado que esta forma y esta orientación de los dientes son particularmente ventajosas para la reducción de la carga, la reducción del ruido y el aumento de la sustentación de la pala de rotor.

El concepto inventivo de la presente invención, que tiene como objetivo reducir la generación de ruido en la sección de borde de salida de una pala de rotor para una turbina eólica, alternativamente se puede describir de la siguiente manera:

Como se ve en la dirección de la cuerda desde el borde de ataque hacia el borde de salida de la pala de rotor, la sección de borde de salida comienza con una línea de base, que se extiende sustancialmente perpendicular a la dirección de la cuerda. Continuando más hacia el borde de salida, la sección de borde de salida comprende una primera región. La primera región se caracteriza por material sustancialmente sólido. La primera región está limitada por un lado por la línea de base y por el otro lado por una primera línea divisoria. Continuando más hacia el borde de salida, la sección de borde de salida comprende además una segunda región. La segunda región se caracteriza por material sustancialmente poroso. La segunda región está limitada por un lado por la primera línea divisoria y por el otro lado por una segunda línea divisoria. La segunda línea divisoria coincide con el borde de salida de la pala de rotor.

La primera y segunda líneas divisorias pueden, en principio, tener cualquier forma: Pueden ser periódicas o no periódicas, rectas o curvas, sus derivadas pueden ser continuas o discontinuas en la dirección de la envergadura, etcétera. Algunas opciones de diseño posibles se describen en los dibujos y en la descripción adjunta. El único requisito según este aspecto de la invención es que la primera línea divisoria no esté dispuesta más hacia el borde de salida que la segunda línea divisoria. En otras palabras, puede darse el caso de que la primera región caracterizada por el material sólido se extienda hasta el borde de salida en ciertas regiones en la dirección de la envergadura, pero puede no darse el caso de que la segunda región caracterizada por el material poroso se encuentre entre la línea de base y la primera región vista desde la dirección de la cuerda desde el borde de ataque hasta el borde de salida. Hablando descriptivamente, la primera y la segunda región están dispuestas de manera que el aire fluye primero a través de la primera región sólida y luego a través de la segunda región porosa y no al revés.

La invención se refiere además a una turbina eólica que comprende al menos una pala de rotor como se ha descrito anteriormente.

Realizaciones de la invención se describen ahora, a modo de ejemplo solamente, con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

La figura 1 muestra una turbina eólica;

La figura 2 muestra una pala de rotor de la invención para una turbina eólica;

La figura 3 muestra un panel dentado con material poroso entre dientes adyacentes;

La figura 4 muestra dentados con una pluralidad de fibras en una primera realización;

La figura 5 muestra dentados con una pluralidad de fibras en una segunda realización;

La figura 6 muestra dentados con una pluralidad de fibras en una tercera realización;

5 La figura 7 muestra dentados con una pluralidad de fibras en una cuarta realización;

La figura 8 muestra dentados con una pluralidad de fibras en una quinta realización;

10 La figura 9 muestra dentados con aletas en un lado y una pluralidad de fibras;

La figura 10 muestra dentados con aletas en ambos lados y una pluralidad de fibras;

La figura 11 muestra dentados con nervios y una pluralidad de fibras; y

15 Las figuras 12 a 22 muestran diferentes variantes de cómo disponer una región de material poroso en la sección de borde de salida de una pala de rotor.

La ilustración en los dibujos es en forma esquemática. Se hace notar que, en figuras diferentes, elementos similares o idénticos pueden estar provistos de los mismos signos de referencia.

20 En la figura 1, se muestra una turbina 10 eólica. La turbina 10 eólica comprende una góndola 12 y una torre 11. La góndola 12 está montada en la parte superior de la torre 11. La góndola 12 está montada de forma giratoria con respecto a la torre 11 por medio de un cojinete de guiñada. El eje de rotación de la góndola 12 con respecto a la torre 11 se denomina eje de guiñada.

25 La turbina 10 eólica también comprende un buje 13 con tres palas 20 de rotor (de las cuales se representan dos palas 20 de rotor en la figura 1).

30 El buje 13 está montado de forma giratoria con respecto a la góndola 12 por medio de un cojinete principal. El buje 13 está montado de forma giratoria alrededor de un eje 14 de rotación del rotor.

35 La turbina 10 eólica comprende además un árbol principal, que conecta el buje 13 a un rotor de un generador 15. El buje 13 está conectado directamente al rotor del generador 15, por lo que la turbina 10 eólica se denomina turbina eólica de accionamiento directo sin engranajes. Como alternativa, el buje 13 también puede estar conectado al rotor del generador 15 a través de una caja de engranajes. Este tipo de turbina eólica se conoce como turbina eólica de engranajes.

40 El generador 15 está alojado dentro de la góndola 12. Comprende el rotor y un estator. El generador 15 está dispuesto y preparado para convertir la energía rotacional del rotor en energía eléctrica.

45 La figura 2 muestra una pala 20 de rotor de una turbina eólica. La pala 20 de rotor comprende una sección 21 de raíz con una raíz 211 y una sección 22 de punta con una punta 221. La raíz 211 y la punta 221 están virtualmente conectadas por la envergadura 26 que sigue la forma de la pala de rotor 20. Si la pala de rotor fuera un objeto de forma rectangular, la envergadura 26 sería una línea recta. Sin embargo, como la pala 20 de rotor presenta un espesor variable, la envergadura 26 es ligeramente curvada, es decir, también doblada. Obsérvese que, si la propia pala 20 de rotor se doblara, entonces la envergadura 26 también se doblaría.

50 La pala 20 de rotor comprende además una sección 24 de borde de ataque con un borde 241 de ataque y una sección 23 de borde de salida con un borde 231 de salida.

La sección 23 de borde de salida rodea el borde 231 de salida. Asimismo, la sección 24 de borde de ataque rodea el borde 241 de ataque.

55 En cada posición en la dirección de la envergadura, se puede definir una línea 27 de cuerda que conecta el borde 241 de ataque con el borde 231 de salida. Debe tenerse en cuenta que la línea 27 de cuerda es perpendicular a la envergadura 26. El resalte 28 está definido en la región donde la línea de cuerda comprende una longitud de cuerda máxima.

60 La figura 2 también muestra unos dentados 30 que están ubicados en la sección exterior de la pala 20 de rotor. Más particularmente, los dentados 30 están ubicados en la sección 23 de borde de salida de la pala 20 de rotor. Los dentados 30 comprenden una pluralidad de dientes adyacentes. La extensión de los dientes en la dirección de la cuerda disminuye hacia la punta 221 de la pala 20 de rotor. Obsérvese que una pluralidad de fibras está llenando completamente el área entre los dientes adyacentes de los dentados 30 (simbolizados por el área sombreada). El borde 231 de salida en la sección exterior de la pala de rotor donde se unen los dentados 30 está representado por la parte más externa de las fibras y las puntas de los dentados 30.

65 La figura 3 muestra un panel 41 dentado que está dispuesto y preparado para unirse a una pala de rotor para una

turbina eólica. El panel 41 dentado comprende un material poroso entre sus dentados. A modo de ejemplo, el panel 41 dentado está hecho de plástico y ha sido producido mediante moldeo por inyección. El panel 41 dentado comprende una porción 43 de unión que está dispuesta y preparada para unir el panel 41 dentado a la parte restante de la pala de rotor. El panel 41 dentado comprende además una porción con dentados 30. Los dentados comprenden una pluralidad de dientes. En particular, un primer diente 31, un segundo diente 32, un tercer diente 33 y un cuarto diente 34 se ilustran en la figura 3. Todos los dientes 31 - 34 que se muestran en la figura 3 tienen sustancialmente la misma forma, es decir, una forma triangular como se ve en una vista desde arriba. Los triángulos comprenden puntas redondeadas. Alternativamente, los dientes en forma de triángulo también pueden comprender una punta afilada. En el área 35 entre el primer diente 31 y el segundo diente 32 se coloca una malla. La malla sirve como material poroso para modificar la recuperación del gradiente de presión desde el lado de presión al lado de succión de una manera favorable y reductora de ruido. Además, la malla está diseñada para cambiar las frecuencias del ruido generado a valores más altos. La malla está hecha de una pluralidad de primeros hilos que son sustancialmente paralelos entre sí y que cruzan una pluralidad de segundos hilos que también son sustancialmente paralelos entre sí. Se obtiene así un material poroso regular y reproducible. La malla llena toda el área 35 entre el primer diente 31 y el segundo diente 32. Cubre también las áreas entre los otros dientes 32, 33, 34 de los dentados 30.

Obsérvese que la pala de rotor también puede comprender una pluralidad de paneles 41 dentados con un panel estando alineado uno a continuación del otro en la dirección de la envergadura. Los paneles adyacentes pueden superponerse ventajosamente en sus lados para reducir los tonos de silbido que, de lo contrario, podrían generarse en el borde donde se encuentran dos paneles adyacentes.

La figura 4 muestra otro panel 41 dentado. En esta realización, el material poroso se realiza mediante un conjunto de fibras 42. Estas fibras 42, que también pueden describirse como cerdas o agujas, están orientadas sustancialmente en la dirección de la cuerda de la pala de rotor. Esto debe entenderse que el panel 42 dentado está dispuesto y preparado para unirse a la parte restante de la pala de rotor de tal manera que las fibras 42 están orientadas en la dirección de la cuerda después de unir el panel 41 dentado a la pala de rotor restante. Obsérvese que las fibras 42 entre el primer diente 31 y el segundo diente 32 terminan todas aproximadamente en la misma posición en la dirección de la cuerda. Así, se obtiene un borde 231 de salida recto.

Por el contrario, la longitud de las fibras entre el segundo diente 32 y el tercer diente 33, así como entre el tercer diente 33 y el cuarto diente 34, varía. Esto conduce a un borde 231 de salida que se retrae, es decir, se desplaza hacia el borde de ataque una vez que el panel 41 dentado se ha unido a la pala de rotor restante. Dicha forma de las fibras 42 tiene la ventaja de que se da más flexibilidad en el diseño del material poroso y se da mayor potencial de mejora con respecto a la reducción de ruido. En la realización de la figura 4 solo se realiza una variación en la longitud de las fibras 42. Esto significa que todavía todas las fibras 42 están dispuestas dentro del plano cordal de la pala de rotor.

La figura 5 muestra una realización de la invención en la que las fibras 42 están dentro del plano cordal en una primera porción 36, pero que están fuera del plano cordal en una segunda porción 37. Así, se obtiene una forma ondulada u rizada del material poroso visto en una vista en sección transversal. Este diseño también tiene el potencial de mejorar aún más la reducción de ruido. Obsérvese que la figura 5 ilustra una desviación permanente de las fibras 42 fuera del plano cordal en la segunda porción 37 y no una flexión de las fibras 42 bajo una carga extrema. Además, pueden producirse variaciones en la orientación de las fibras 42 debido a la carga de las fibras 42.

Puede ser ventajoso que las fibras 42 se estrechen hacia el borde 231 de salida. Esto puede ser ventajoso en términos de consideraciones estructurales.

Con respecto a las variaciones de longitud de las fibras, una forma de onda sinusoidal puede ser particularmente ventajosa.

Las dimensiones de ejemplo de una fibra entre dientes adyacentes pueden ser de dos milímetros de diámetro y de entre uno y diez centímetros de longitud.

Las figuras 6 a 12 divulgan realizaciones de ejemplo de cómo los dentados y la pluralidad de fibras pueden configurarse y disponerse concretamente.

La figura 6 muestra un primer diente 31 y un segundo diente 32 que están separados y espaciados por un área 35. En esta área 35 está dispuesta una pluralidad de fibras 42. Las fibras 42 están orientadas sustancialmente paralelas entre sí. Además, las fibras 42 están orientadas sustancialmente paralelas a la dirección de la cuerda de la pala de rotor en esta posición radial, es decir, en esta posición en la dirección de la envergadura.

En comparación con las figuras 4 y 5, que ilustran la disposición de las fibras 42 entre los dientes 31, 32, 33, 34 de una forma más esquemática, la figura 6 pretende ilustrar una configuración y una disposición de ejemplo de las fibras 42 de forma más detallada. Por ejemplo, las fibras 42 se representan como objetos tridimensionales, mostrando que las fibras 42 pueden tener ventajosamente en la práctica un cierto espesor para proporcionar la rigidez deseada. Como resultado, las fibras 42 no se doblan sustancialmente durante las condiciones de funcionamiento estándar de la turbina eólica, como tampoco lo hacen los dentados 31, 32.

La figura 7 muestra una realización alternativa de la invención. La única diferencia de esta realización en comparación con la realización ilustrada en la figura 6 es la longitud de las fibras 42 en la dirección de la cuerda. Aunque en la realización de la figura 6 las longitudes de las fibras se eligen de modo que el resultado sea un borde de salida recto de la pala de rotor, en la realización de la figura 7 las fibras en la porción central del área 35 entre dientes 31, 32 adyacentes se eligen para tener una longitud comparativamente más corta.

La figura 8 ilustra otra variante de cómo configurar y disponer las fibras 42. Como en la realización de la figura 6, las longitudes de las fibras 42 se eligen de modo que el resultado sea un borde 231 de salida recto de la pala de rotor. Como diferencia, el espesor de las fibras 42 disminuye hacia las respectivas puntas de las fibras 42. En otras palabras, las fibras 42 se estrechan hacia la punta. Opcionalmente, los dientes 31, 32 de los dentados también pueden presentar un espesor decreciente.

Las figuras 9 a 12 muestran varios ejemplos de cómo se pueden combinar unos paneles dentados con fibras con otros dispositivos aerodinámicos.

La figura 9 ilustra la disposición de las aletas 44 aguas arriba de los dientes 31, 32 del panel 41 dentado. Las aletas 44 pueden verse como otros medios para manipular el flujo de aire a través de la pala de rotor, de modo que eventualmente se reduzca el ruido que se genera en la sección de borde de salida de la pala de rotor. Las aletas 44 pueden disponerse en un lado del panel 41 dentado, por ejemplo, en el lado de succión.

Las aletas 44 también pueden estar dispuestas alternativamente a ambos lados del panel dentado, es decir, tanto en el lado de presión como en el lado de succión. Esta realización se ilustra en la figura 10. Las aletas que están dispuestas en el lado de succión de la pala de rotor se denominan aletas 441 del lado de succión, las aletas que están dispuestas en el lado de presión de la pala de rotor se denominan aletas 442 del lado de presión.

La figura 11 ilustra una realización de un panel 41 dentado con nervios 45. Los nervios 45 tienen el objetivo de guiar el flujo de aire y/o romper la coherencia en la dirección de la envergadura del flujo de aire.

Los nervios pueden estar dispuestos en el lado de presión de la pala de rotor (como en el ejemplo que se muestra en la figura 11), en el lado de succión de la pala de rotor, o en ambos lados. Los nervios 45 pueden estar dispuestos aguas arriba de los dentados y pueden extender las fibras 42.

Las figuras 12 a 22 muestran diferentes variantes de cómo disponer una región de material poroso en la sección 23 de borde de salida de una pala de rotor.

Como se ve en la dirección 271 de la cuerda desde el borde de ataque hacia el borde de salida de la pala de rotor, la sección 23 de borde de salida comienza con una línea f0 de base, que se extiende sustancialmente perpendicular a la dirección 271 de la cuerda. Continuando más hacia el borde 231 de salida, la sección 23 de borde de salida comprende una primera región 52. La primera región 52 se caracteriza por material sustancialmente sólido. La primera región 52 está limitada por un lado por la línea f0 de base y por el otro lado por una primera línea f1 divisoria. Continuando más hacia el borde 231 de salida, la sección 23 de borde de salida comprende además una segunda región 53. La segunda región 53 se caracteriza por material sustancialmente poroso. La segunda región 53 está limitada por un lado por la primera línea f1 divisoria y por el otro lado por una segunda línea f2 divisoria. La segunda línea f2 divisoria coincide con el borde 231 de salida de la pala de rotor.

La primera y segunda líneas f1, f2 divisorias pueden, en principio, tener cualquier forma: Pueden ser periódicas o no periódicas, rectas o curvas, sus derivadas pueden ser continuas o discontinuas (en la dirección de la envergadura 272), etcétera. Algunas opciones de diseño posibles se describen en las figuras 12 a 22.

En la figura 12, la primera línea f1 divisoria es dentada y la segunda línea f2 divisoria es recta.

En la Figura 13, tanto la primera línea f1 divisoria como la segunda línea f2 divisoria son dentadas. Ambas líneas f1, f2 divisorias tienen la misma periodicidad.

La realización de la figura 14 es similar a la de la figura 13, pero los dentados de la segunda línea f2 divisoria apuntan en dirección opuesta a la línea f0 de base en lugar de apuntar hacia la línea f0 de base.

La realización de la figura 15 también es similar a la de la figura 13, pero los dentados de la segunda línea f2 divisoria se suavizan - en realidad se asemejan más al comprender una forma de onda en lugar de dentados.

En la figura 16, tanto la primera línea f1 divisoria como la segunda línea f2 divisoria comprenden una forma de onda. Ambas líneas f1, f2 divisorias tienen la misma periodicidad.

En la figura 17, la primera línea f1 divisoria es dentada y la segunda línea divisoria se elige de modo que solo una parte del área entre los dientes adyacentes de la primera región 52 se rellena con material poroso, es decir, con la

segunda región 53.

En la figura 18, tanto la primera línea f1 divisoria como la segunda línea f2 divisoria se asemejan a una forma de pulso. Ambas líneas f1, f2 divisorias tienen la misma periodicidad.

5 En la figura 19, tanto la primera línea f1 divisoria como la segunda línea f2 divisoria comprenden una forma de onda, en particular, una forma de onda sinusoidal. La periodicidad de las primeras líneas f1 divisorias difiere de la periodicidad de la segunda línea f2 divisoria.

10 En la figura 20, tanto la primera línea f1 divisoria como la segunda línea f2 divisoria tienen una forma aleatoria, lo que da como resultado un patrón caótico.

La realización de la figura 21 se parece a la figura 19, pero ambas líneas f1, f2 divisorias tienen la misma periodicidad en lugar de diferentes periodicidades.

15 Finalmente, en la figura 22, tanto la primera línea f1 divisoria como la segunda línea f2 divisoria son rectas.

REIVINDICACIONES

1. Pala (20) de rotor para una turbina (10) eólica,
5 en la que
 - la pala (20) de rotor comprende dentados (30) a lo largo de al menos una porción de la sección (23) de borde de salida de la pala (20) de rotor,
 - 10 - los dentados (30) comprenden un primer diente (31) y al menos un segundo diente (32) adyacente al primer diente (31), y
 - el primer diente (31) está separado del segundo diente (32),
 - 15 en la que el área (35) entre el primer diente (31) y el segundo diente (32) adyacente está al menos parcialmente rellena con material poroso, de tal manera que se reduce la generación de ruido en la sección (23) de borde de salida de la pala (20) de rotor;
 - 20 el material poroso comprende una fracción de área abierta que es la fracción del área al aire libre comparada con el área total cubierta por el material poroso; y en la que:
 - dicho material poroso es una malla que comprende una pluralidad de hilos que están conectados entre sí en un patrón regular; o
 - 25 dicho material poroso comprende una pluralidad de fibras,
 - en la que las fibras (42) se estrechan en dirección hacia el borde (231) de salida de la pala (20) de rotor.
- 30 2. Pala (20) de rotor según la reivindicación 1,
en la que la fracción de área abierta del material poroso es superior al 10 por ciento y/o inferior al 90 por ciento.
- 35 3. Pala (20) de rotor según la reivindicación 1,
en la que las fibras (42) de la pluralidad de fibras están dispuestas sustancialmente paralelas entre sí, en particular, sustancialmente en la dirección de la cuerda de la pala (20) de rotor.
- 40 4. Pala (20) de rotor según una de las reivindicaciones 1 y 3, en la que la pluralidad de fibras comprende
 - una primera porción (36) que está dispuesta dentro del plano cordal de la pala (20) de rotor, y
 - una segunda porción (37) que está dispuesta fuera del plano cordal de la pala (20) de rotor.
- 45 5. Pala (20) de rotor según la reivindicación 4,
en la que la segunda porción (37) es adyacente al borde (231) de salida de la pala (20) de rotor.
- 50 6. Pala (20) de rotor según una de las reivindicaciones 1, 3 a 5, en la que las fibras de la pluralidad de fibras están dispuestas de manera que el borde (231) de salida de la pala (20) de rotor entre la punta del primer diente (31) y la punta del segundo diente (32) está formada por una línea sustancialmente recta.
- 55 7. Pala (20) de rotor según una de las reivindicaciones 1, 3 a 5, en la que las fibras de la pluralidad de fibras están dispuestas de manera que el borde (231) de salida de la pala (20) de rotor entre la punta del primer diente (31) y la punta del segundo diente (32) está formada por una línea que se desvía de una línea recta en dirección hacia el borde (241) de ataque de la pala (20) de rotor.
- 60 8. Pala (20) de rotor según una de las reivindicaciones anteriores, en la que aguas arriba del primer diente (31) y del segundo diente (32) está montado un dispositivo aerodinámico para manipular un flujo de aire que fluye a través del dispositivo aerodinámico.
9. Pala (20) de rotor según la reivindicación 8,
65 en la que el dispositivo aerodinámico está dispuesto en un lado (252) de presión y/o en un lado (251) de succión de la pala (20) de rotor.

10. Pala (20) de rotor según una de las reivindicaciones 8 o 9, en la que el dispositivo aerodinámico comprende una pluralidad de aletas (44, 441, 442) y/o una pluralidad de nervios (45).
- 5 11. Turbina (10) eólica con al menos una pala (20) de rotor según una de las reivindicaciones anteriores.

FIG 1

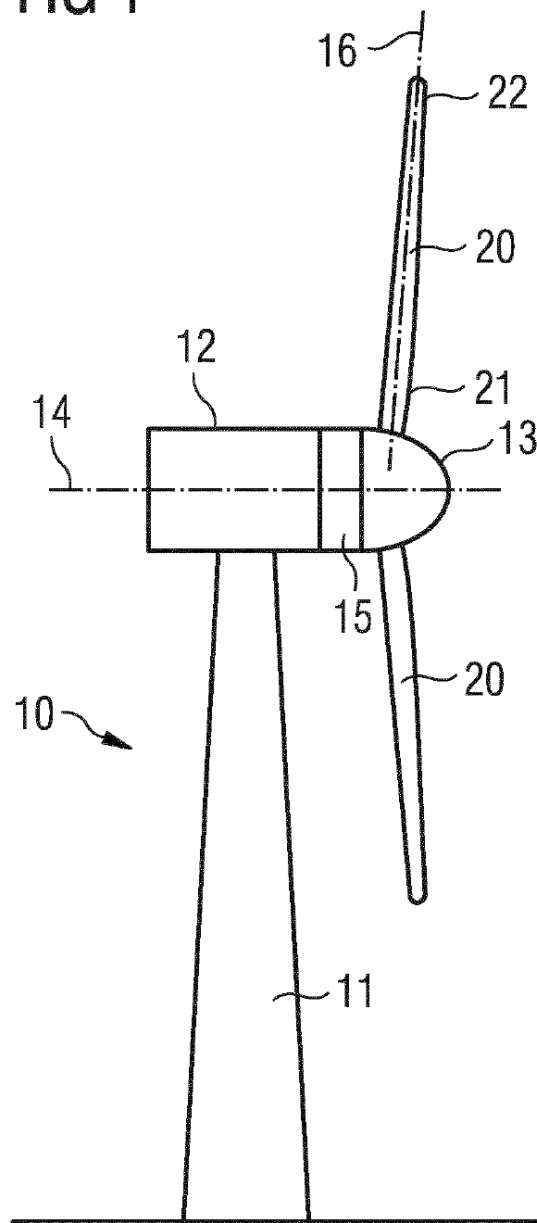


FIG 2

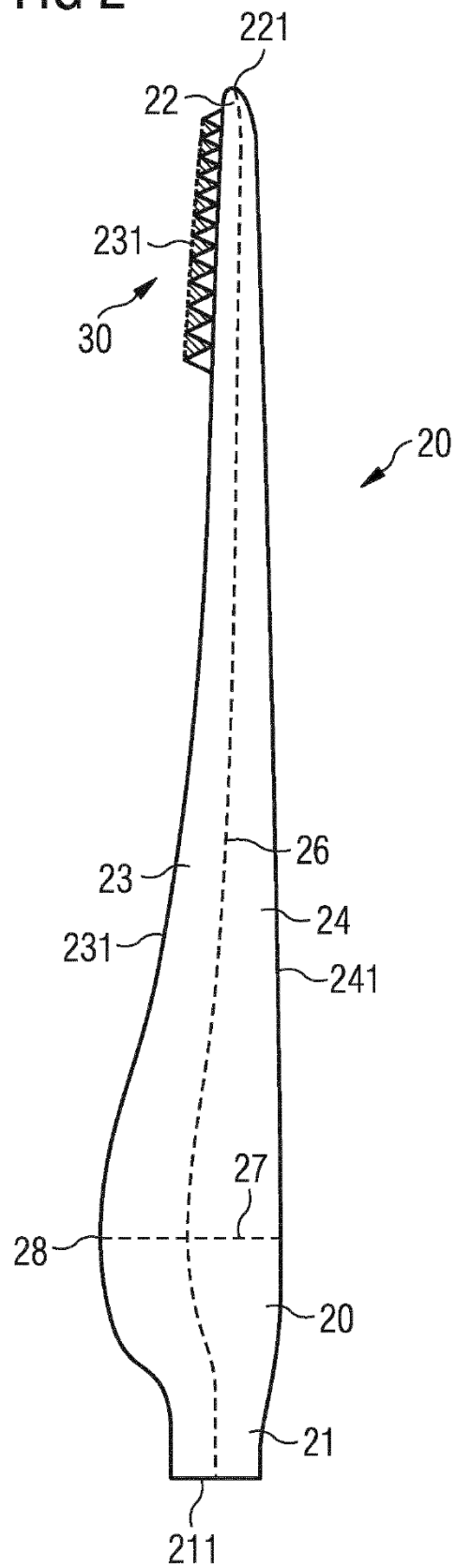


FIG 3

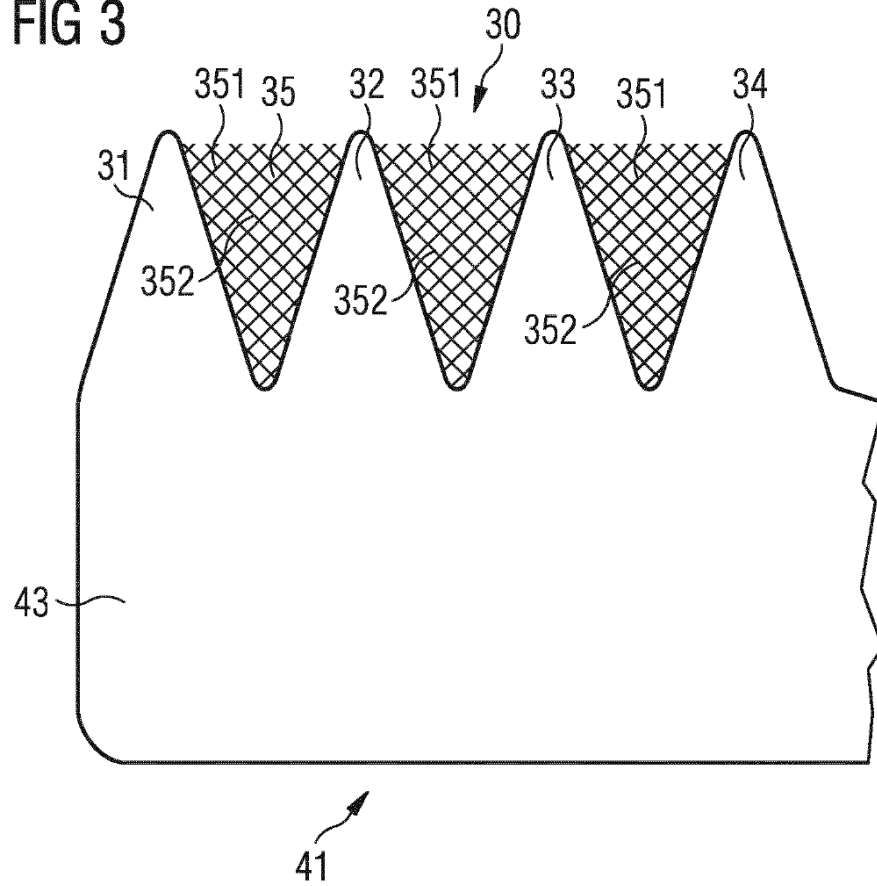


FIG 4

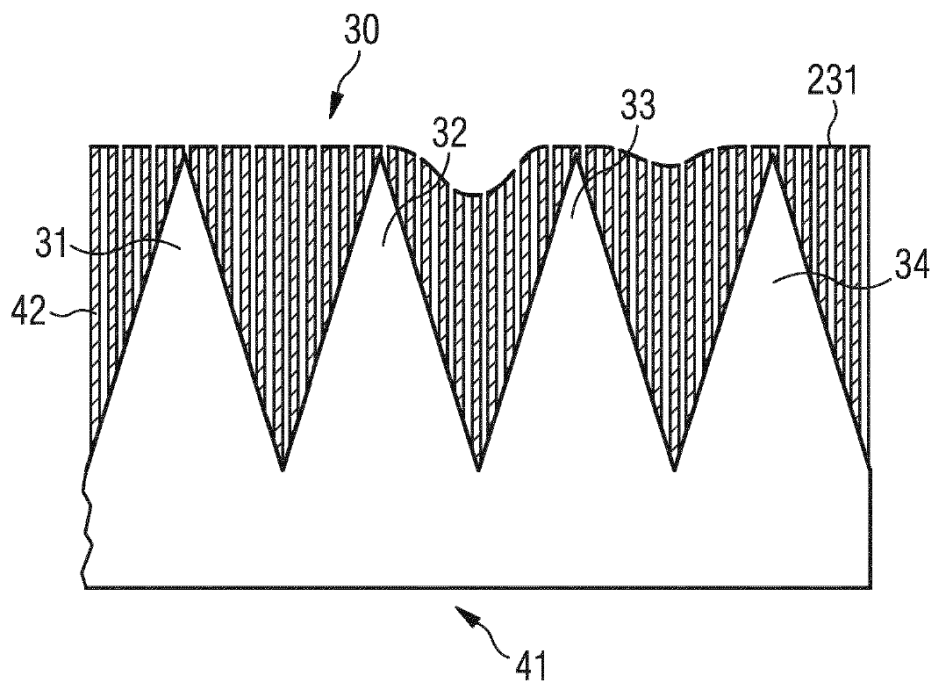


FIG 5

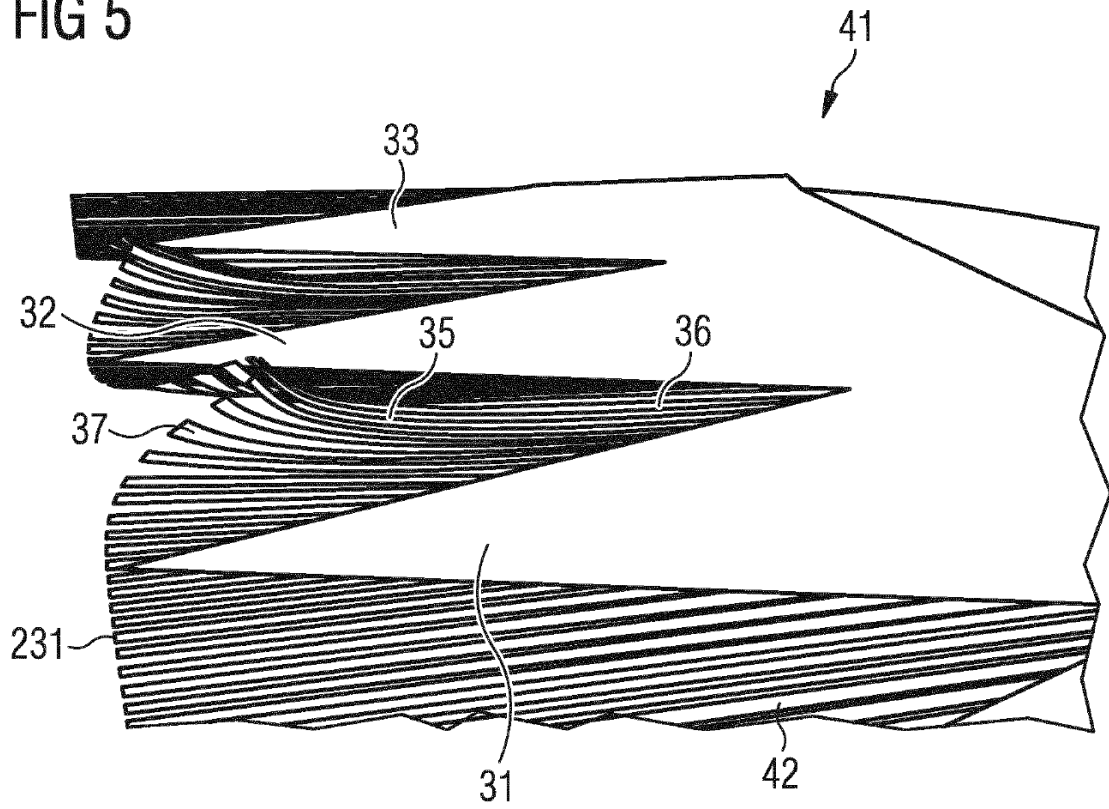


FIG 6

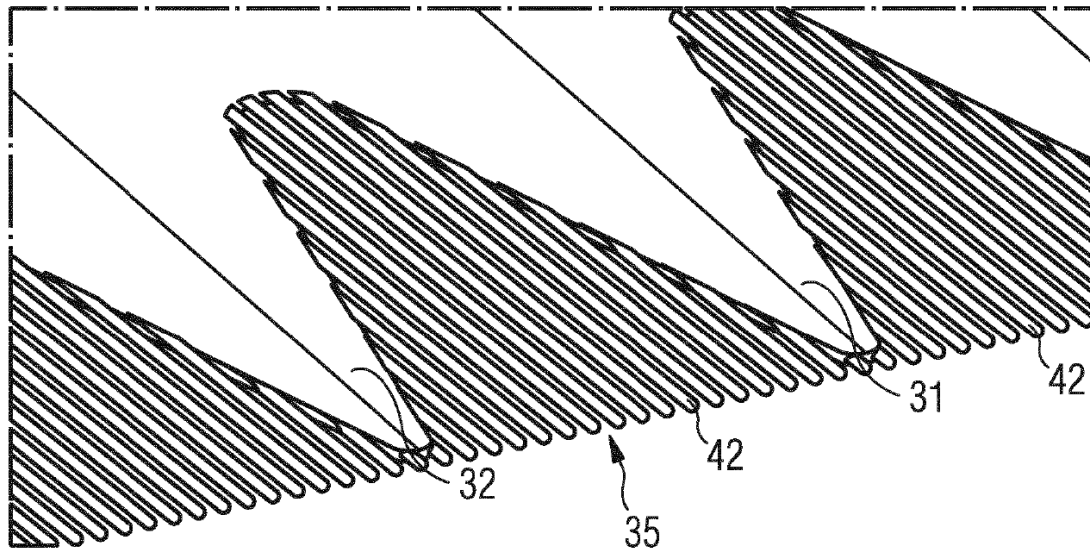


FIG 7

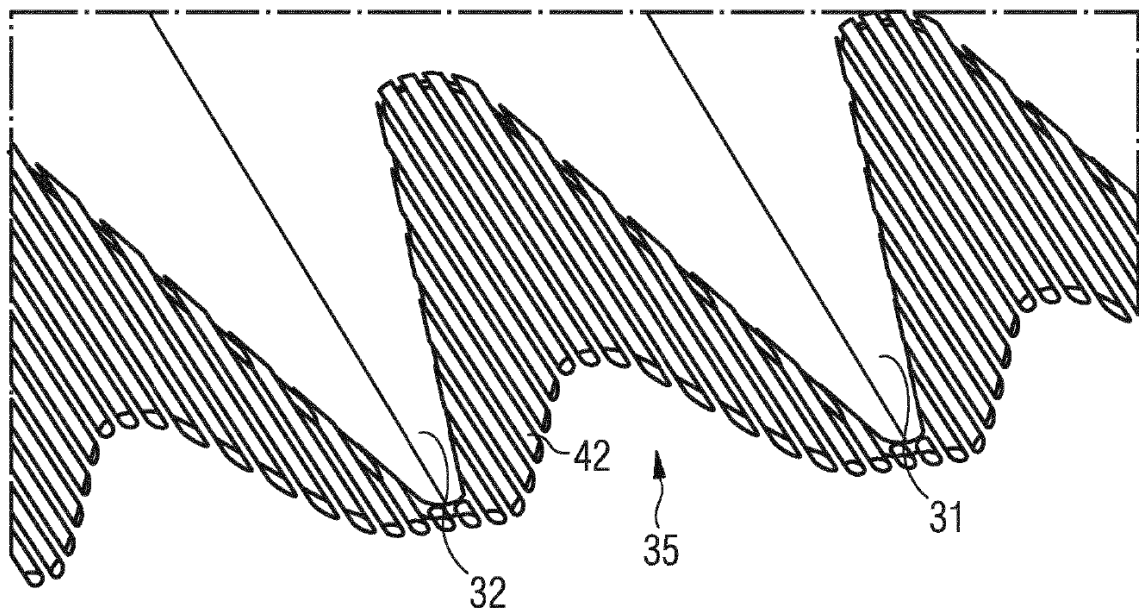


FIG 8

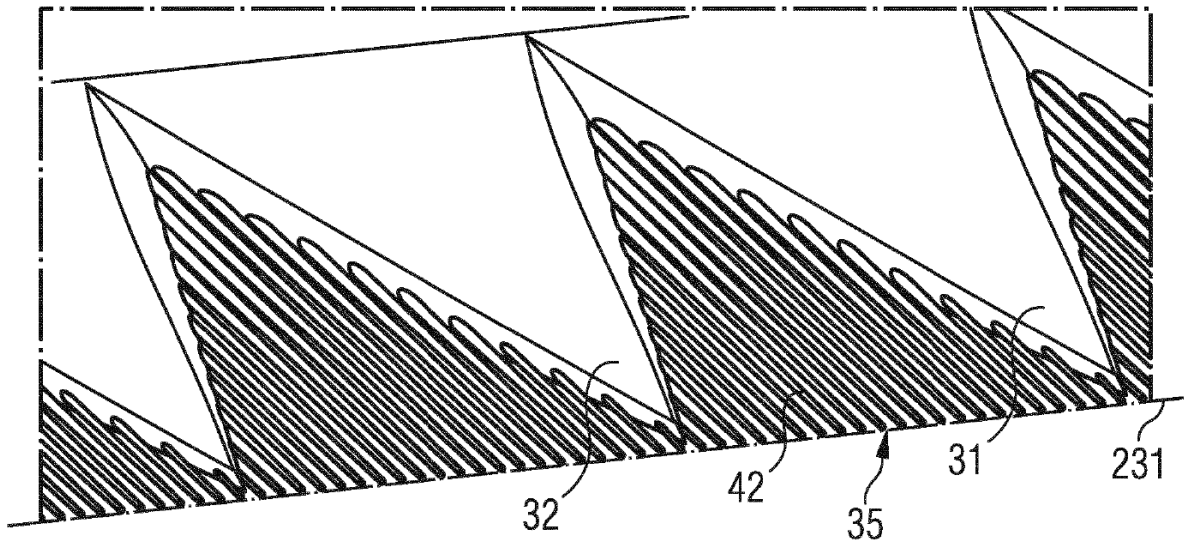


FIG 9

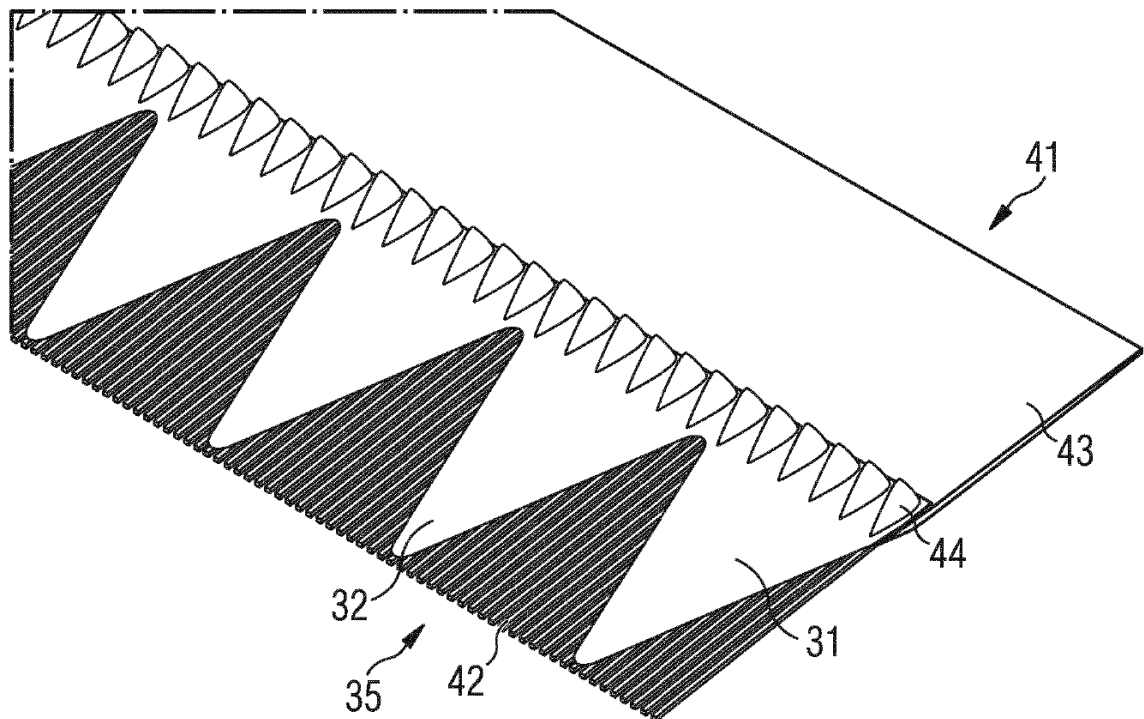


FIG 10

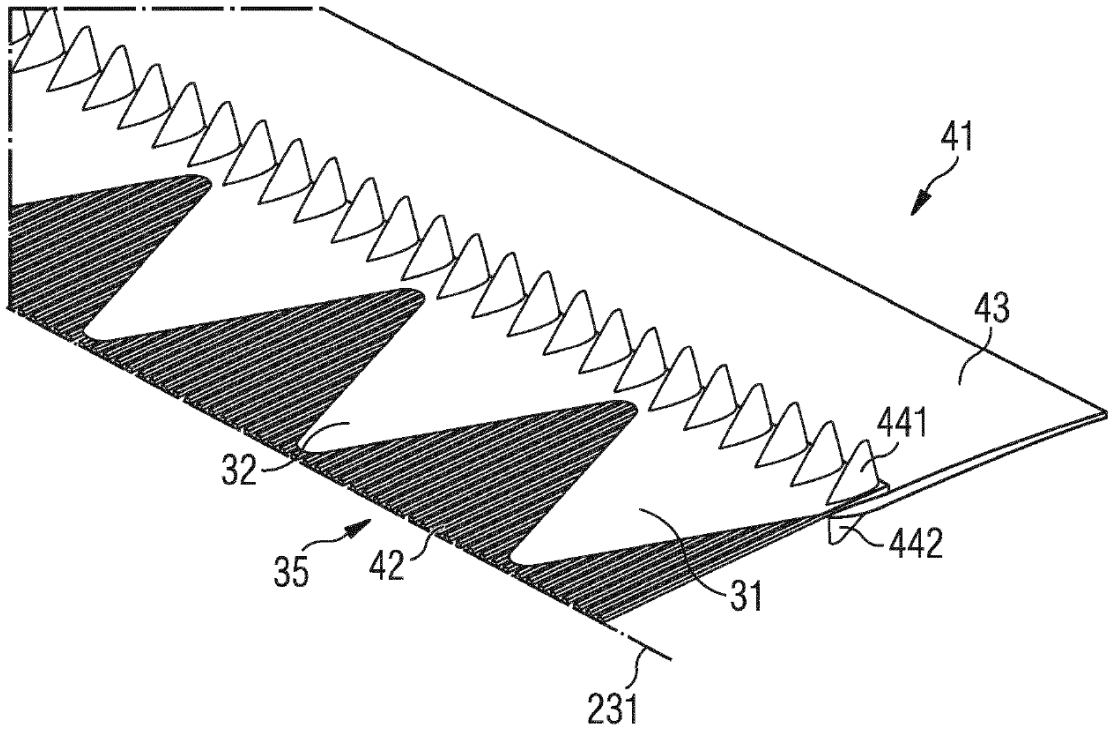


FIG 11

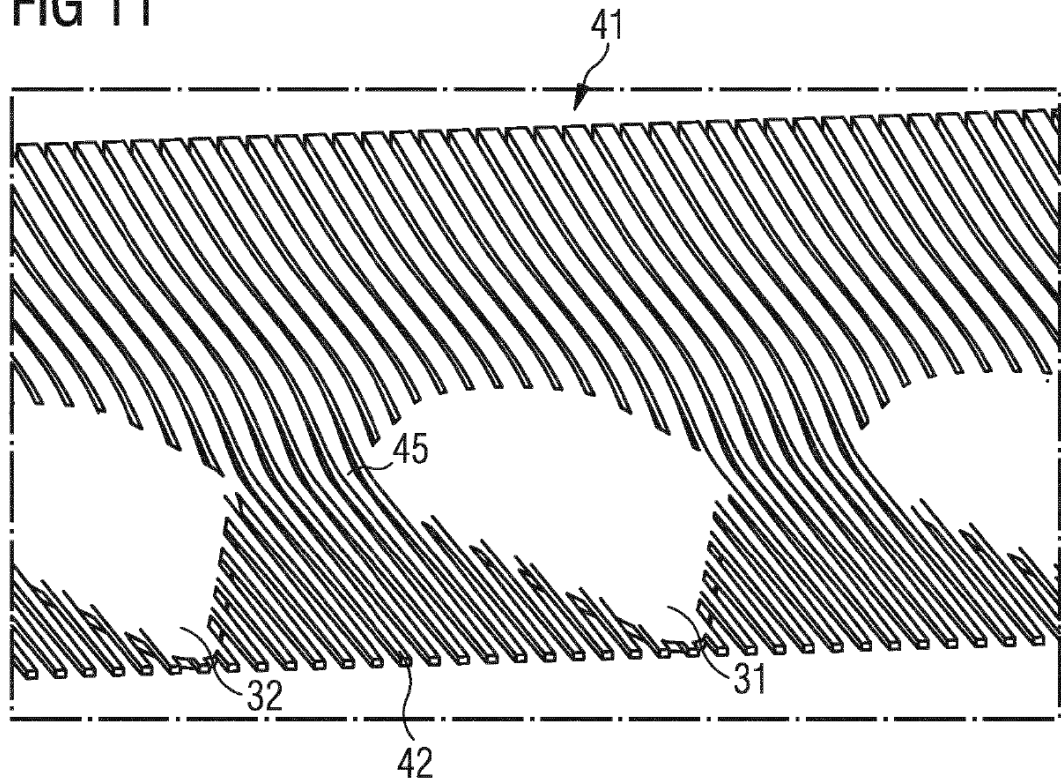


FIG 12

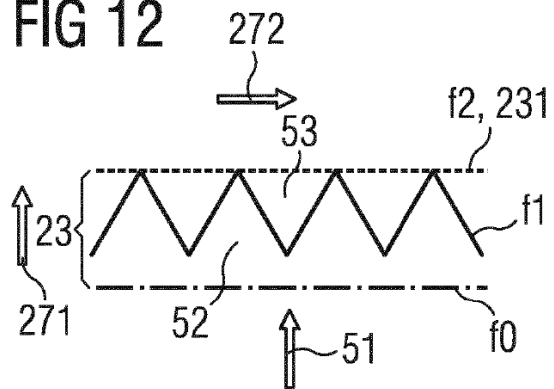


FIG 13

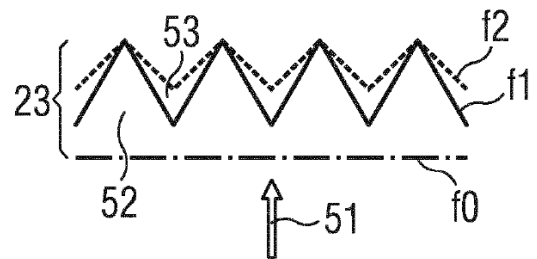


FIG 14

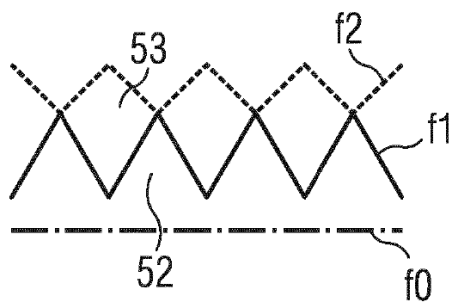


FIG 15

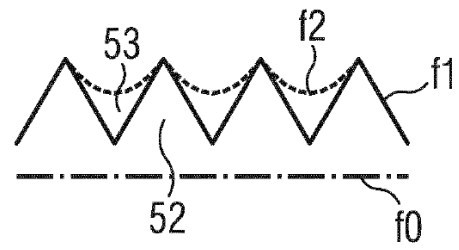


FIG 16

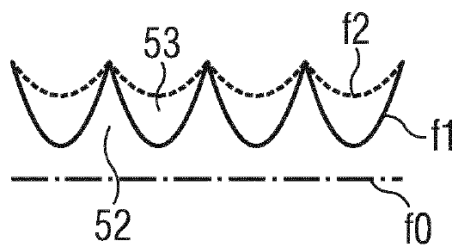


FIG 17

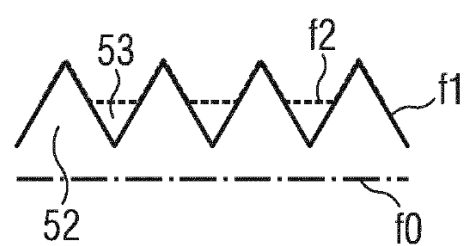


FIG 18

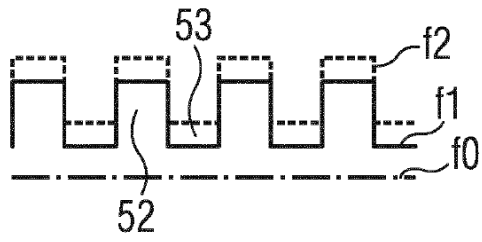


FIG 19

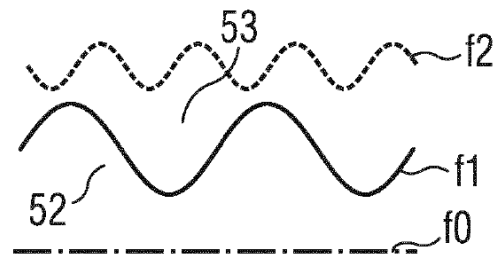


FIG 20

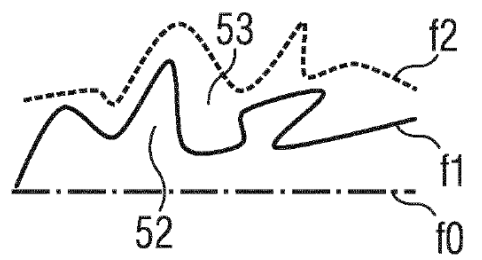


FIG 21

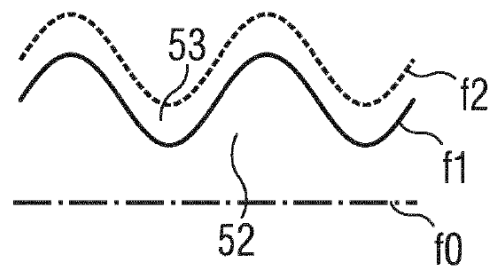


FIG 22

