

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 632 065**

51 Int. Cl.:

F01D 5/14 (2006.01)

F04D 29/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.03.2014** **E 14162553 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2017** **EP 2789798**

54 Título: **Lámina de álabe para una turbomáquina con perfilado de borde posterior, álabe y rotor integralmente alabeado**

30 Prioridad:

09.04.2013 DE 102013206207

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

08.09.2017

73 Titular/es:

**MTU AERO ENGINES AG (100.0%)
Dachauer Strasse 665
80995 München, DE**

72 Inventor/es:

**RAMM, GÜNTER y
LANG, CHRISTINE**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 632 065 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

Lámina de álabe para una turbomáquina con perfilado de borde posterior, álabe y rotor integralmente alabeado

La presente invención se refiere a una lámina de álabe para una turbomáquina, principalmente una pala de turbina a gas, con un lado de succión, un lado de impulsión y un borde posterior del álabe de acuerdo con la reivindicación 1.

5 Además, la presente invención se refiere a un álabe de acuerdo con la reivindicación 11, así como a un rotor integralmente alabeado de acuerdo con la reivindicación 12.

De la práctica se conocen láminas de álaves para turbomáquinas o palas de turbinas con diferentes geometrías de bordes posteriores del álabe con el fin de lograr, por ejemplo, una reducción de ruido y/o una mayor eficiencia. Por la publicación EP 1 112 928 A2, por ejemplo, se conoce una lámina de álabe de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1. Por integridad también deben indicarse además las publicaciones EP 0 273 851 B1, EP 0 375 296 A1, US 2008/050243 A1 y US 2010/150731 A1.

10

Un objetivo de la presente invención es proponer otra lámina de álabe para turbomáquinas con un borde posterior de álabe perfilado al menos en un sector. También es objetivo de la presente invención proponer un álabe así como un rotor integralmente alabeado.

15 El objetivo de la invención puede lograrse mediante una lámina de álabe con las características de la reivindicación 1. También puede lograrse por medio de un álabe con las características de la reivindicación 11, así como por medio de un rotor alabeado integralmente con las características de la reivindicación 12.

Por lo tanto, de acuerdo con la invención se propone una lámina de álabe que presenta un perfil en el sector del borde posterior del álabe, al menos por secciones, el cual se extiende por el lado de succión y el lado de impulsión del borde posterior del álabe. Una lámina de álabe de este tipo puede emplearse como álabe de estátor y/o álabe rotor en turbomáquinas y/o turbinas y/o blisks (abreviatura de "blade integrated disk" o disco integrado al álabe) y/o blings (abreviatura de "bladed ring" o anillo alabeado) y configurarse de manera correspondiente.

20

En todas las realizaciones anteriores y siguientes, el uso de las expresiones "puede ser" y "puede tener", etc. debe entenderse como sinónimo de las expresiones "es preferiblemente" y "tiene preferiblemente" y tiene la intención de ilustrar las realizaciones de acuerdo con la invención.

25

Los desarrollos adicionales ventajosos de la presente invención son respectivamente objeto de las reivindicaciones dependientes y realizaciones.

Las realizaciones de acuerdo con la invención pueden presentar una o varias de las siguientes características mencionadas a continuación.

30 La expresión "perfil", tal como se usa en la presente memoria, designa una estructura o una forma geométrica que se extiende tanto por los sectores del lado de succión como también por los sectores del lado de impulsión en la región del borde posterior del álabe. Por lo tanto, un "perfil" se extiende de acuerdo con la invención tanto sobre el lado de succión como también sobre el lado de impulsión. En este caso pueden proporcionarse sectores parciales del perfil configurado de manera diferente sobre el lado de succión y sobre el lado de impulsión. Sobre el lado de succión, en determinadas realizaciones de acuerdo con la invención, el sector parcial del perfil puede presentar, a manera de ejemplo, rugosidades estructuradas de la superficie o depresiones en la superficie y sobre el lado de impulsión pueden estar dispuestos, a manera de ejemplo, bordes, curvaturas o niveles, o viceversa.

35

Un perfil puede presentar estructuras o formas con el fin de generar características funcionales determinadas, por ejemplo, con el fin de influenciar de manera dirigida un flujo del borde posterior del álabe. A manera de ejemplo, puede lograrse un borde de separación de flujo por medio del perfil.

40

En algunas realizaciones de acuerdo con la invención, se extiende corriente abajo del borde de separación de flujo al menos un segmento de una llamada zona de estela, la cual puede estar delimitada localmente. Esta zona de estela se forma debido al agrandamiento en sección transversal causado por el borde de separación de flujo. El flujo o, por ejemplo, su perfil laminar o turbulento puede no seguir este agrandamiento discontinuo en la sección transversal. Por lo tanto, además del perfil de flujo (laminar o turbulento) continuo, se genera otra zona de flujo que puede denominarse zona de estela. En esta zona de estela pueden estar formados o pueden formarse vórtices cerrados.

45

Una zona de estela corriente abajo de un borde de separación de flujo puede denominarse como "depresión de estela".

En algunas realizaciones de la presente invención se produce la denominada "vía de vórtice de Kármán" por medio del perfil. En mecánica de fluidos, el término "vía de vórtice de Kármán" se refiere a un fenómeno en el cual se forman vórtices que fluyen en sentido contrario por detrás de un cuerpo.

50

En determinadas realizaciones de acuerdo con la invención, una "vía de vórtice de Kármán" se ve influenciada de manera dirigida por el perfil de acuerdo con la invención. A manera de ejemplo, la frecuencia de desprendimientos del vórtice puede modificarse en la "vía de vórtice de Kármán".

Si en lo sucesivo se describen vórtices longitudinales o vórtices de cola u otras formaciones de vórtice corriente abajo del perfil, por estos términos también se entienden posibles separaciones de flujo y/o zonas de estela subsiguientes.

5 Los perfiles en el borde posterior del álabe pueden hacerse mediante diferentes procedimientos de fabricación, que incluyen por ejemplo moldeo primario (por ejemplo, fundición), moldeo secundario (por ejemplo forja, prensado, laminado, plegado, embutición a la copa) o separación (por ejemplo molienda o perforación), etc.

En determinadas realizaciones ejemplares de acuerdo con la invención, después de que los perfiles han sido fabricados por medio de uno de los procedimientos de fabricación descritos en la presente memoria, estos son terminados, por ejemplo, mediante lijado, pulido, alisado, etc.

10 En algunas realizaciones de acuerdo con la invención, el perfil de la lámina de álabe es diseñado para acortar los vórtices de cola que se forman en la dirección de flujo en o detrás del borde posterior del álabe. En la práctica, los vórtices, principalmente los vórtices longitudinales, pueden formarse en los bordes posteriores de las láminas de álabe en un flujo fluido. Un acortamiento de estos vórtices longitudinales en la dirección de fluido por medio de los perfiles, de acuerdo con la invención, en la zona del borde del álabe puede dar lugar ventajosamente a una
15 reducción de ruido y/o a una reducción en la resistencia de la lámina de álabe de la invención.

Para este fin, en determinadas realizaciones de acuerdo con la invención, el borde posterior del álabe de la lámina de álabe presenta, al menos en sectores, una altura variable perpendicular a la dirección de flujo y/o perpendicular a la dirección longitudinal del borde posterior del álabe. En esta realización dirección de flujo se denomina la dirección resultante de flujo corriente abajo del borde posterior del álabe. Este flujo resultante está compuesto de los flujos del
20 lado de succión, también denominado lado superior del álabe, lado de baja presión, y el lado de impulsión, que también se denomina lado inferior de la lámina de álabe.

Como sinónimos de la expresión "altura" también pueden usarse las expresiones "grosor", "espesor del material" o "extensión transversal".

25 El borde posterior del álabe presenta en algunas realizaciones ejemplares de acuerdo con la invención, debido al perfil de acuerdo con la invención, una altura diferente. Por ejemplo, una zona de perfil sobre el lado de succión y/o sobre el lado de impulsión puede presentar una ranura, una cavidad, un depósito de material (por ejemplo, un puntal soldado o pegado) o similares, de lo cual en esta zona del perfil resulta una altura más pequeña o más grande.

En determinadas realizaciones ejemplares de acuerdo con la invención, el borde posterior del álabe de la lámina del álabe termina en un segmento longitudinal recto de la lámina del álabe u obtiene un segmento longitudinal recto. La
30 expresión "segmento longitudinal recto" se usa para referirse a un segmento longitudinal cuya altura puede variar a lo largo de su longitud pero no tiene cortes, preferiblemente ninguno significativo, en una dirección opuesta a la dirección de flujo. La expresión "sin cortes significativos" significa que el segmento longitudinal no tiene, por ejemplo, cortes estructurales pero puede tener irregularidades de fabricación, desgaste, cambios superficiales, etc. Los cortes estructurales serían, por ejemplo, aserrados, similares a resortes, con forma de grieta y similares. Éstos disminuyen el ancho respectivo de la lámina de álabe en la zona del corte. Un "segmento longitudinal recto" del borde posterior
35 del álabe puede describirse además con las siguientes expresiones: borde continuo (de altura variable) o estructura continua. Igualmente pueden describirse un "segmento longitudinal recto" por la distancia entre el borde anterior del álabe (el borde que recibe el flujo de la lámina de álabe) y el borde posterior del álabe es esencialmente constante a través de la anchura de la lámina del álabe. Adicionalmente o como una alternativa, un "segmento longitudinal recto"
40 puede describirse porque en el segmento considerado del borde posterior del álabe todos los puntos que se encuentran, por ejemplo, 3 cm antes (corriente arriba) del borde posterior del álabe sobre el lado de succión, se encuentran sobre una línea recta.

En las realizaciones de la invención, el perfil tiene depresiones sobre el borde posterior del álabe de la lámina del álabe. Estas depresiones no deben entenderse como cortes que se extienden en una dirección opuesta a la
45 dirección de flujo y estrechan la anchura de la lámina de álabe, sino como depresiones perpendiculares a la superficie del borde posterior del álabe y, por lo tanto, en el espesor del borde posterior del álabe. Las depresiones pueden hacerse por medio de perforación, fresado, embutición en copa, corte con láser, fundición, etc.

En algunas realizaciones ejemplares de acuerdo con la invención, al menos algunas de las depresiones de la lámina de álabe se moldean con forma de cuña al menos en segmentos de la misma. Las depresiones con forma de cuña
50 pueden estrecharse en una dirección opuesta a la dirección de flujo.

En determinadas realizaciones ejemplares de acuerdo con la invención, las depresiones con forma de cuña tienen un estrechamiento continuo al menos parcialmente en una dirección opuesta a la dirección de flujo. Se entiende por un estrechamiento continuo un estrechamiento cuya delimitación lateral se extienda en línea recta (véase Fig. 5).

55 En determinadas realizaciones de acuerdo con la invención, las depresiones con forma de cuña tienen un estrechamiento no continuo, al menos parcialmente, en una dirección opuesta a la dirección de flujo. Por estrechamiento no continuo se entiende un estrechamiento cuya delimitación lateral se extiende en línea curva, no en línea recta. Una realización de un estrechamiento no continuo se representa en la Fig. 6.

- 5 En algunas realizaciones de acuerdo con la invención, las depresiones se estrechan en una dirección opuesta a la dirección de flujo de manera tal que las superficies laterales de delimitación del estrechamiento no convergen; o, en otras palabras, no se fusionan. Es decir, permanece una abertura como una entrada de flujo a la depresión con forma de cuña. Por lo tanto, una parte del flujo en el lado de succión y/o el lado de impulsión puede pasar a las depresiones con forma de cuña (véase Figura 7 como ejemplo de realización).
- En determinadas realizaciones de acuerdo con la invención, la transición desde la superficie del lado de succión y/o del lado de impulsión al estrechamiento con forma de cuña es continua; es decir, sin bordes. Las superficies del lado de succión y/o del lado de impulsión, por una parte, y de la depresión con forma de cuña (su superficie base), por otra parte, se fusionan fluidamente entre sí.
- 10 En algunas realizaciones de acuerdo con invención, las depresiones que pueden tener forma de cuña, forma de canal o tener otra forma, se encuentran desplazadas frente a las depresiones sobre el lado de impulsión. Los desplazamientos están dispuestos perpendiculares a la dirección de flujo y/o paralelos al borde posterior del álabe o longitudinales al borde posterior del álabe (véase Fig. 4).
- 15 En algunas realizaciones de acuerdo con la invención, el perfil presenta depresiones con forma de canal, al menos en segmentos del mismo. Las depresiones con forma de canal presentan un corte transversal constante, de preferencia continuo o al menos en porciones del mismo (véase Fig. 2).
- En determinadas realizaciones de acuerdo con la invención, el perfil presenta depresiones con forma de canal al menos en porciones del mismo. Las depresiones con forma de canal se encuentran dispuestas de manera tal que el borde posterior del álabe forma un ángulo entre 0 y 90° en relación con el eje longitudinal del canal. A un ángulo de 90° el eje longitudinal del canal se extiende en una dirección exactamente opuesta a la dirección de flujo, o paralela al mismo. A un ángulo de 0°, el eje longitudinal del canal se extiende en paralelo al borde posterior del álabe. El ángulo tiene preferiblemente un valor entre 5° y 85°, principalmente entre 10° y 30°. Las diferentes depresiones con forma de canal también pueden tener diferentes ángulos. Esto aplica tanto sobre el lado de succión de la lámina de álabe en la zona del borde posterior del álabe como también sobre el lado de impulsión correspondiente. Además, los ángulos pueden tener un valor determinado; de 90°, por ejemplo, sobre el lado de succión y otro valor, por ejemplo 20°, sobre el lado de impulsión. También es posible otra combinación cualquiera.
- 20
- 25 Algunas realizaciones de acuerdo con la invención, o todas ellas, pueden tener una, varias o todas las ventajas mencionadas antes y/o a continuación.
- 30 La lámina de álabe de acuerdo con la invención puede emplearse ventajosamente dentro de la rejilla del álabe estátor de una turbina de baja presión. Acortando los vórtices longitudinales corriente abajo de la rejilla de álabe rotor usando la lámina de álabe, de acuerdo con la invención, con los perfiles antes descritos en la zona de los bordes posteriores del álabe, puede ser posible, por ejemplo, que las subsiguientes rejillas del álabe rotor colocadas corriente abajo se vean poco afectadas o no afectadas del todo. Con esto es posible una formación al menos reducida de ruido en los subsiguientes álabes del rotor puesto que los vórtices longitudinales acortados ya no alcanzan las subsiguientes rejillas de álabe rotor. Esto conduce en general, a una reducción ventajosa del ruido durante el flujo a través de la turbina.
- 35
- Por razones estructurales/mecánicas, el perfilamiento de los bordes posteriores del álabe es ventajosamente más conveniente en comparación con los alabes de estátor para alabes de rotor, ya que los alabes de estátor no se someten a las altas revoluciones y, por lo tanto, a ninguna carga dinámica adicional. Esta carga reducida de los alabes estáticos de estátor conduce a una susceptibilidad reducida al fallo, a una duración de vida útil más alta y en últimas, a una economía incrementada de operación cuando se usa la lámina de álabe de la invención en comparación con las láminas de álabe convencionales.
- 40
- Empleando la lámina de álabe de acuerdo con la invención, la distancia mínima axial (en la dirección de flujo) entre las rejillas de álabe de estátor y/o la rejillas de álabe de rotor puede reducirse ventajosamente debido a que los vórtices de cola pueden acortarse.
- 45
- Con esto se efectúa ventajosamente una excitación o afectación más baja de los alabes subsiguientes o adyacentes.
- Además, al usar la lámina de álabe de acuerdo con la invención es posible lograr ventajosamente un coeficiente de pérdida más bajo para el perfil del álabe y, por lo tanto, se reduce la longitud axial del perfil del álabe o la cantidad de alabes.
- 50
- Como alternativa o de manera adicional, al emplear la lámina de álabe de acuerdo con la invención en una longitud no modificada (extensión de la longitud en dirección de flujo) del perfil del álabe o en caso de una cantidad de alabes no modificada, la eficiencia (por ejemplo la eficiencia hidráulica de la lámina de álabe) puede incrementarse usando, medida en realizaciones que no están de acuerdo con la invención, sin el perfil de acuerdo con la invención.
- 55 Por lo tanto, debido a las ventajas mencionadas, un empleo de la lámina de álabe de acuerdo con la invención puede conducir ventajosamente a una reducción del peso del motor, a una reducción de costes, a un acortamiento

del área de trabajo de la turbina y/o a un incremento de la eficiencia.

La presente invención se explica ejemplarmente en lo sucesivo por medio del dibujo adjunto en el cual los números de referencia idénticos designan piezas de construcción que son iguales o similares. Las figuras son parcialmente muy simplificadas, de las cuales

- 5 La Fig. 1 muestra de manera esquemática una lámina de álabe de acuerdo con la invención con depresiones en forma de cuña de una primera realización;
- La Fig. 2 muestra esquemáticamente otra lámina de álabe de acuerdo con la invención con depresiones en forma de canal de una segunda realización;
- 10 La Fig. 3 muestra esquemáticamente una lámina de álabe que no está de acuerdo con la invención, que tiene una estructura de agujeros de una tercera realización;
- La Fig. 4a muestra esquemáticamente una disposición de depresiones con forma de cuña en el borde posterior del álabe de la primera realización que no está de acuerdo con la invención, la cual tiene delimitaciones laterales rectas en un corte transversal;
- 15 La Fig. 4b muestra una disposición que no está de acuerdo con la invención de depresiones con forma de cuña que tienen delimitaciones laterales inclinadas en un corte transversal;
- La Fig. 4c muestra una disposición de acuerdo con la invención de depresiones con forma de cuña que tienen delimitaciones laterales inclinadas en un corte transversal;
- La Fig. 4d muestra una disposición, que no está de acuerdo con la invención, de depresiones con forma de cuña que se extienden tanto en la dirección de flujo como perpendicularmente a los lados superior e inferior del álabe;
- 20 La Fig. 5 muestra esquemáticamente la forma de una depresión con forma de cuña que se estrecha continuamente de acuerdo con una cuarta realización;
- La Fig. 6 muestra esquemáticamente la forma de una depresión con forma de cuña que tiene un estrechamiento no continuo de acuerdo con una quinta realización; y
- 25 La Fig. 7 muestra esquemáticamente depresiones con forma de cuña en el borde posterior del álabe con formaciones de vórtice.
- La Fig. 1 muestra esquemáticamente una lámina de álabe 100 de acuerdo con la invención, que tiene un perfil de álabe 3, un lado de succión 5 y un lado de impulsión 7. La lámina del álabe 100 presenta depresiones 1 con forma de cuña en la zona de un borde posterior 200 del álabe.
- 30 En la zona del borde posterior 200 del álabe se representa un perfil 9, el cual presenta depresiones 1 con forma de cuña tanto sobre el lado de succión 5 (indicadas sólo como rayas en la figura 1) como también sobre el lado de impulsión 7 respectivamente, en la zona del borde posterior 200 del álabe. Las depresiones 1 con forma de cuña se estrechan en dirección opuesta al flujo 11.
- 35 La Fig. 2 muestra esquemáticamente otra lámina de álabe 100 de acuerdo con la invención que tiene depresiones 1b con forma de canal en la zona del borde posterior 200 del álabe. Las depresiones 1b con forma de canal 1b tienen un eje longitudinal 10 de canal y terminan en forma de un semicírculo. Tales formas de canal se forman por medio de una fresa extrayendo virutas.
- 40 Las depresiones pueden estar efectuadas (depresiones 1b) a profundidad diferente tanto en la dirección de flujo (o en la opuesta) como también perpendicularmente a la superficie y perpendicularmente a la dirección de flujo (no representadas en la Fig. 2). Las depresiones perpendiculares a la superficie pueden efectuarse a profundidades diferentes tanto en (u opuestamente a) la dirección de flujo como también perpendicularmente a la dirección de flujo. Por ejemplo, de manera correspondiente una elaboración extrayendo virutas puede efectuarse tridimensionalmente en todos los tres ángulos de tratamiento (ejes x, y, z).
- 45 Las depresiones con forma de canal 1b se extienden por el lado de impulsión 7 y el lado de succión 5 (en la figura 2, las depresiones del lado de succión 5 se indican sólo como rayas en el borde posterior 200 del álabe) y forman conjuntamente un perfil 9 en la zona del borde posterior del álabe 200.
- 50 La Fig. 3 muestra esquemáticamente una lámina de álabe 100 que no está de acuerdo con la invención, que tiene una estructura de agujeros 300 en la zona del borde posterior 200 del álabe. Los agujeros individuales de esta estructura de agujeros 300 están efectuados puramente a manera de ejemplo como agujeros de paso, aunque también pueden hacerse total o parcialmente como agujeros que no sean de paso (perforaciones con profundidades que van a determinarse individualmente). Estas perforaciones pueden formarse de manera diferente sobre el lado de succión 5 y el lado de impulsión 7.

La estructura de agujeros 300 en este ejemplo de realización que no está de acuerdo con la invención se describe como series de agujeros (a manera de ejemplo aquí de 5 agujeros por serie de agujeros) en dirección de flujo 11; también es posible cualquier otra disposición y queda comprendida por la invención.

5 La Fig. 4a muestra esquemáticamente una disposición de depresiones 1a con forma de cuña que no están de acuerdo con la invención en el borde posterior del álabe 200 en una vista frontal al borde posterior del álabe 200 en una dirección opuesta a la dirección de flujo 11 (no representada aquí).

Las depresiones con forma de cuña 1a están dispuestas, respecto de la representación de la figura 4a, en el lado de succión 5 (parte superior) y en el lado de impulsión 7 (parte inferior) en la zona del borde posterior del álabe 200. Por lo tanto, se localizan por encima y por debajo del segmento continuo del borde posterior del álabe.

10 La posición de las depresiones con forma de cuña 1a dispuesta sobre el lado de succión 5 está desplazada frente al lado de impulsión 7, o viceversa, está dispuesta desplazada sobre el lado de impulsión 7 frente al lado de succión 5. "Dispuesta desplazada" significa que las depresiones 1a con forma de cuña en la dirección longitudinal del borde posterior del álabe 200 no están dispuestas en la misma posición en la dirección longitudinal (es decir, en la dirección de izquierda a derecha de la figura 4a). La posición desplazada de las depresiones 1a con forma de cuña
15 puede ser regular; es decir una depresión 1a con forma de cuña sobre el lado de succión 5, luego una sobre el lado de impulsión 7, seguida de una sobre el lado de succión 5, etc., o irregular. Puede ser regularmente irregular o irregularmente irregular.

20 La anchura 13 de las depresiones 1a con forma de cuña en el borde posterior del álabe 200 sobre el lado de succión 5 puede ser constante o variable. Lo mismo aplica para las depresiones 1a con forma de cuña sobre el lado de impulsión 7.

De manera similar, la anchura 14 de los puntales entre las depresiones 1a con forma de cuña puede ser constante o variable sobre el lado de succión 5. Esto también aplica para la anchura 14 de los puntales entre las depresiones 1a con forma de cuña sobre el lado de impulsión 7.

25 La profundidad 15 de las depresiones 1a con forma de cuña en el borde posterior del álabe 200 también puede ser constante o variable sobre el lado de succión 5. Esto también aplica para las depresiones 1a con forma de cuña sobre el lado de impulsión 7. La profundidad 15 puede ser constante o variable a través del perfil 9 (véanse Fig. 5 y 6); por ejemplo, la profundidad 15 puede ser mayor directamente en el borde posterior del álabe 200 y disminuir a través del lado de succión 5 y/o a través del lado de impulsión 7 o viceversa; es decir, puede ser más pequeña en el borde posterior del álabe 200 e incrementarse a continuación.

30 La altura 17 del borde posterior del álabe 200 indica la extensión transversal mínima o el grosor del borde posterior continuo del álabe 200. Es decir, la dimensión de referencia para la altura 15 es la altura total del borde posterior del álabe 200 menos la altura 15 de las depresiones 1a con forma de cuña sobre el lado de succión 5 y el lado de impulsión 7. La altura 17 puede ser una medida importante para la estabilidad mecánica y dinámica del borde trasero del álabe 200 y/o de toda la lámina de álabe 100.

35 Lo que aplica en cualquier sitio de la presente memoria (es decir no solamente respecto de la figura descrita en este sitio) para las depresiones o puntales de una geometría (por ejemplo la forma de cuña), también aplica para todas las otras depresiones, puntales, o formas de depresión posibles de otras geometrías (por ejemplo depresiones con forma de canal).

40 Simplemente a manera de ejemplo, las medidas mencionadas pueden ser tal como sigue: la anchura 13 de las depresiones 1a se encuentra en un intervalo entre 0,5 y 2 mm, de preferencia entre 0,8 y 1,2 mm, principalmente de 1 mm; la profundidad 15 se encuentra un intervalo entre una décima y una cuarta parte de la altura 17 (por ejemplo, en un intervalo entre 0,1 y 0,25 mm), principalmente una sexta parte de la altura 17 (por ejemplo 0,2 mm); la altura 17 se encuentra en un intervalo entre 0,5 y 2 mm, de preferencia entre 0,8 y 1,2 mm, principalmente de 1 mm; la anchura 14 se encuentra un intervalo entre 0,5 y 2 mm, de preferencia entre 0,8 y 1,2 mm, principalmente de 1 mm.

45 Todas las medidas pueden ser principalmente dependientes del tamaño del álabe.

Ambas delimitaciones laterales de las depresiones 1a se extienden rectas en la realización ejemplar aquí mostrada, o alternativamente sólo una de las mismas. Por lo tanto en este ejemplo, se extienden hacia la profundidad de la lámina de álabe 100 perpendicularmente a la superficie de la misma.

50 Otras posibles realizaciones de los perfiles se representan en las figuras 4b, 4c, 4d en las cuales ambas (alternativamente solamente una de las dos) delimitaciones laterales de las depresiones 1a no se extienden en línea recta como se ven en las vistas de corte transversal de la lámina de álabe 100 mostrada en las respectivas figuras. Por lo tanto, en este ejemplo, no se extienden hacia la profundidad de la lámina de álabe 100 perpendicularmente a la superficie de la misma. En contraste con la realización en paralelo mostrada en la figura 4a, no son paralelas entre sí.

55 La Fig. 4b muestra depresiones 1a que presentan inclinaciones con los ángulos 16a, 16b en las delimitaciones laterales respecto del nivel del dibujo de la figura 4b. Solamente a manera de ejemplo, posibles realizaciones de los

ángulos 16a, 16b pueden encontrarse entre 30 y 60°, de preferencia entre 40 y 50°, en particular de 45°.

Los ángulos 16a y 16b pueden ser iguales o diferentes.

5 La Fig. 4c muestra depresiones 1a que no están de acuerdo con la invención y que tienen inclinaciones laterales con otros ángulos 16c, 16d. Sólo a manera de ejemplo, posibles realizaciones de los ángulos 16c, 16d se encuentran entre 120 y 150 grados, de preferencia entre 130 y 140 grados, principalmente de 135 grados.

Los ángulos 16c y 16d pueden ser iguales o diferentes.

10 La forma de depresión 1a de acuerdo con la invención mostrada en la figura 4c con ambas áreas de delimitación también puede denominarse "forma de cola de golondrina", cuya anchura en la base de la depresión es más ancha que en la abertura de la depresión 1a. Por construcción, esta forma también se denomina corte posterior que puede estar en la forma de un trapecoide, por ejemplo.

La Fig. 4d muestra una disposición que no está de acuerdo con la invención de depresiones 1a con forma de cuña que se extiende tanto en dirección de flujo (perpendicular al plano del dibujo) como también perpendicularmente al lado superior 5 y lado inferior 7 de la lámina del álabe.

15 Las depresiones 1a con forma de cuña tienen ángulos 18a, 18b perpendicularmente al lado superior 5 y lado inferior 7 del álabe en la dirección de expansión.

Solamente a manera de ejemplo, posibles realizaciones de los ángulos 18a, 18b se encuentran entre 10 y 50 grados, de preferencia entre 20 y 40 grados, principalmente 30 grados.

Los ángulos 18a y 18b pueden ser iguales o diferentes.

20 Las realizaciones de las figuras 4a, 4b y 4c pueden ser ventajosas desde un punto de vista de producción ya que la profundidad 15 de las depresiones con forma de cuña pueden ser predefinidas, con lo cual también se establecen la altura 17 del borde posterior del álabe. En contraste, en la realización de la figura 4d, la altura 15 varía con los ángulos 18a y 18b y más específicamente la altura 17 disminuye con el incremento de los ángulos 18a y 18b. Además, la estabilidad del borde posterior del álabe 200 puede ser ventajosa en el caso de una altura 17 mínima predefinida, tal como en las realizaciones de las figuras Fig. 4a, 4b y 4c.

25 Además, en el caso de todas las alturas 17 mínimas predefinidas, la estabilidad del borde posterior del álabe 200 puede ser ventajosa en particular en el caso de carga dinámica y/o relacionada con flujo del perfil 3 del álabe. Además, un perfil 200 del borde posterior del álabe de las realizaciones 4a a la 4c con alturas 17 mínimas establecidas puede ser ventajoso debido, por ejemplo, a que en el caso de grosores pequeños de material (pequeña altura 17) un maquinado con remoción de virutas de las depresiones 1a requiere al menos un esfuerzo adicional al sujetar la pieza de trabajo.

30

La Fig. 5 muestra esquemáticamente la forma de una depresión 1a con forma de cuña que tiene un estrechamiento 19 continuo sobre el lado de succión 5 y/o sobre el lado de impulsión 7 en la zona del borde posterior del álabe 200 en una vista del plano del lado de succión 5 y/o del lado de impulsión 7.

35 La longitud 21 indica qué tan lejos se extiende la depresión 1a con forma de cuña comenzando en el borde posterior del alavés 200 sobre el lado de succión 5 y/o el lado de impulsión 7.

Simplemente a manera de ejemplo, posibles realizaciones de la longitud 21 son de 1,2 mm; como alternativa se encuentra en un intervalo entre 0,9 y 1,8 mm.

40 La Fig. 6 muestra esquemáticamente la forma de una depresión 1a con forma de cuña que tiene un estrechamiento 23 no continuo sobre el lado de succión 5 y/o el lado de impulsión 7 en la zona del borde posterior del álabe 200 en una vista de plano desde arriba (del lado de succión 5) o desde abajo (del lado de impulsión 7).

La descripción de la longitud 21 se aplica de manera análoga a la figura 5.

La Fig. 7 muestra esquemáticamente depresiones 1a con forma de cuña en el borde posterior del álabe 200 con formaciones de vórtice en una vista en perspectiva (desde arriba) y en una vista orientada al borde posterior del álabe 200 visto desde corriente abajo.

45 La depresión 1a con forma de cuña se representa por medio de un estrechamiento no continuo (en una dirección opuesta a la dirección del flujo 11, véase figura 6).

50 La dirección de flujo 11 fluye tanto a través del lado de succión 5 como también del lado de impulsión 7. Por ejemplo, una porción del flujo fluye desde el lado de succión 5 a la depresión 1a con forma de cuña. La superficie del lado de succión se fusiona sin etapas con la depresión 1a con forma de cuña. En otras palabras, la transición entre las dos superficies es continua sin bordes.

Al fluir a través de las depresiones 1a con forma de cuña, se forman vórtices 25 en las dos paredes laterales de las depresiones 1a con forma de cuña. La formación de estos vórtices 25 puede depender de la velocidad de flujo y/o de la forma de la ampliación de las depresiones 1a con forma de cuña. Una forma que se amplía más puede promover la formación de vórtices más que una forma que se amplía menos.

- 5 La formación de pares de vórtices 25 (en las dos paredes laterales de las depresiones 1a respectivas con forma de cuña) da lugar a una mezcla fuerte de todo el flujo desde los lados de succión y depresión en la zona de depresiones 1a con forma de cuña en la subsiguiente zona de flujo corriente abajo del borde posterior del álabe 200. Esta mezcla se ilustra por medio de vórtices adicionales 27 corriente abajo del borde posterior del álabe 200. Esta mezcla reduce la longitud de los vórtices de cola corriente abajo del borde posterior del álabe 200. Tal como ya se ha discutido en la presente memoria (previamente), por la expresión vórtice de cola se entienden, entre otros, vórtices longitudinales y principalmente zonas de estela.

El acortamiento del vórtice de cola y/o de las zonas de estela conduce a las ventajas de acuerdo con la invención descritas antes tales como, por ejemplo, una formación reducida de ruido y/o una mayor eficiencia y/o una excitación menor de vibración de los álabe subsiguientes localizados más adelante corriente abajo.

15 **Listado de signos de referencia**

Signo de referencia	Descripción
100	Lámina de álabe para una turbomáquina, álabe de turbina
200	Borde posterior de álabe
300	Estructura de agujeros
1a	Depresión con forma de cuña
1b	Depresión con forma de canal
3	Perfil de álabe
5	Lado de succión; lado superior de álabe
7	Lado de impulsión; lado inferior de álabe
9	Perfil en la zona del borde posterior del álabe
10	Eje longitudinal del canal
11	Dirección de flujo
13	Anchura de la depresión con forma de cuña en el borde posterior del álabe
14	Anchura de los puntales entre las depresiones 1a con forma de cuña
15	Profundidad de la depresión con forma de cuña en el borde posterior del álabe
16a, 16b, 16e, 16d	Ángulos de las delimitaciones laterales (inclinaciones) de las depresiones 1a
17	Altura del borde posterior del álabe
18a, 18b	Ángulos de las depresiones 1a con forma de cuña
19	Estrechamiento continuo de una depresión con forma de cuña en la zona del borde posterior del álabe
21	Longitud de la depresión con forma de cuña en el borde posterior del álabe
23	Estrechamiento no continuo de una depresión con forma de cuña en la zona del borde posterior del álabe

Signo de referencia	Descripción
25	Vórtice/zona de estela en la depresión con forma de cuña
27	Vórtice/zona de estela corriente abajo del borde posterior del álabe

REIVINDICACIONES

- 5 1. Lámina de álabe (100) para una turbomáquina con un lado de succión (5), un lado impulsión (7) y un borde posterior de álabe (200), en cuyo caso la lámina de álabe (100) presenta en la zona del borde posterior del álabe (200), al menos por segmentos, un perfil (9) que se extiende por el lado de succión (5) y el lado de impulsión (7) del borde posterior de álabe (200), en cuyo caso el perfil (9) presenta depresiones (1a, 1b) que tienen respectivamente dos delimitaciones laterales que se conectan con una base de la depresión, caracterizada por que la anchura en la base de la depresión es más amplia que la abertura de la depresión (1a, 1b).
2. Lámina de álabe (100) de acuerdo con la reivindicación 1, en la cual el perfil (9) está formado para cortar vórtices de cola que se forman en dirección de flujo (11).
- 10 3. Lámina de álabe (100) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en la cual el borde posterior de álabe (200) tiene al menos en segmentos del mismo una altura diferente en dirección perpendicular a la dirección de flujo (11) y perpendicular a la dirección longitudinal del borde posterior del álabe (200).
4. Lámina de álabe (100) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en la cual el borde posterior del álabe (200) termina con un segmento longitudinal recto de la lámina de álabe (100).
- 15 5. Lámina de álabe (100) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en la cual las depresiones (1a) tienen forma de cuña y se estrechan en dirección opuesta a la dirección de flujo (11).
6. Lámina de álabe (100) de acuerdo con la reivindicación 5, en la cual las depresiones (1a) con forma de cuña tienen al menos por segmentos un estrechamiento (19) continuo en dirección opuesta a la dirección de flujo (11).
- 20 7. Lámina de álabe (100) de acuerdo con la reivindicación 5, en la cual las depresiones (1a) con forma de cuña tienen al menos por segmentos un estrechamiento (23) no continuo en dirección opuesta a la dirección de flujo (11).
8. Lámina de álabe (100) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, en la cual las depresiones (1a, 1b) se encuentran dispuestas desplazadas en el lado de succión (5) frente a las depresiones (1a, 1b) en el lado de impulsión (7), en cuyo caso las posiciones desplazadas se encuentran dispuestas perpendicularmente a la dirección de flujo (11) y/o en paralelo al borde posterior del álabe (200) o a lo largo de estos.
- 25 9. Lámina de álabe (100) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en la cual el perfil (9) presenta al menos por segmentos depresiones (1b) con forma de canal en dirección opuesta a la dirección de flujo (11).
10. Lámina de álabe (100) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en la cual el perfil (9) tiene al menos por segmentos depresiones (1b) con forma de canal y en la cual las depresiones (1b) con forma de canal se encuentran dispuestas de manera tal que el borde posterior del álabe (200) forma un ángulo entre 0 y 90° con el eje longitudinal del canal (10).
- 30 11. Álabe con una lámina de álabe (100), de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10.
12. Rotor integralmente alabeado con al menos una lámina de álabe (100), de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, o al menos un álabe de acuerdo con la reivindicación 11.

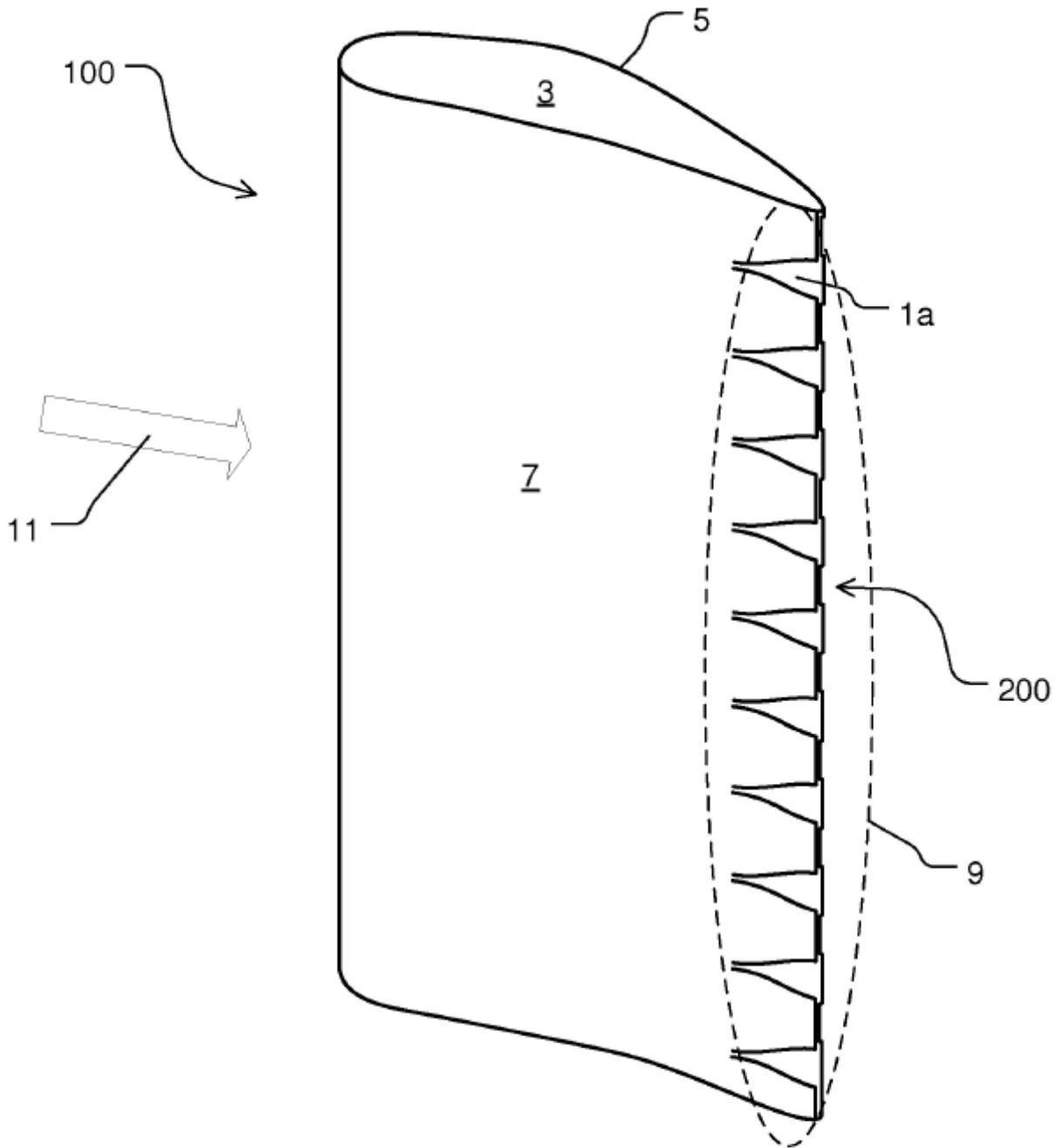


Fig. 1

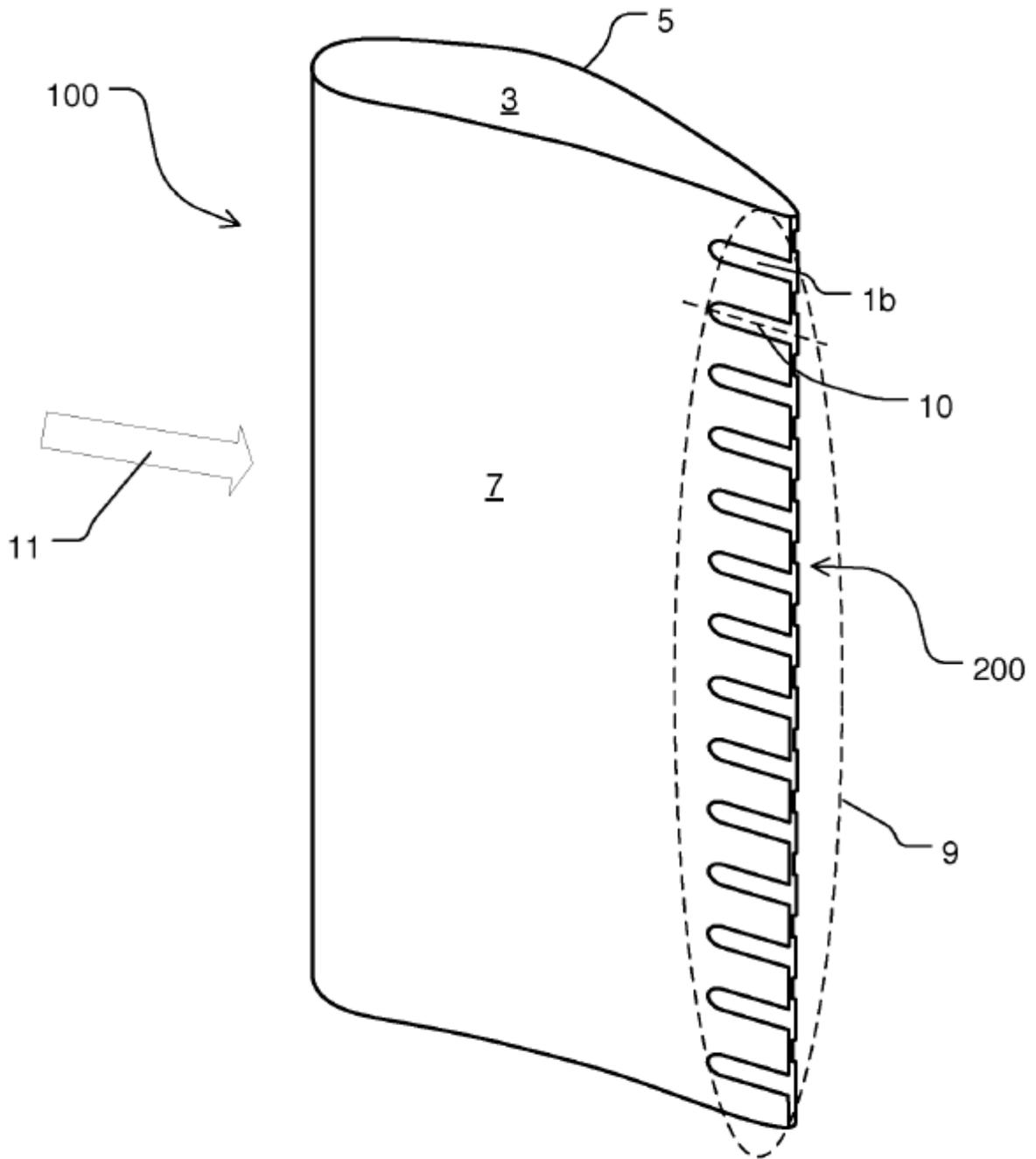


Fig. 2

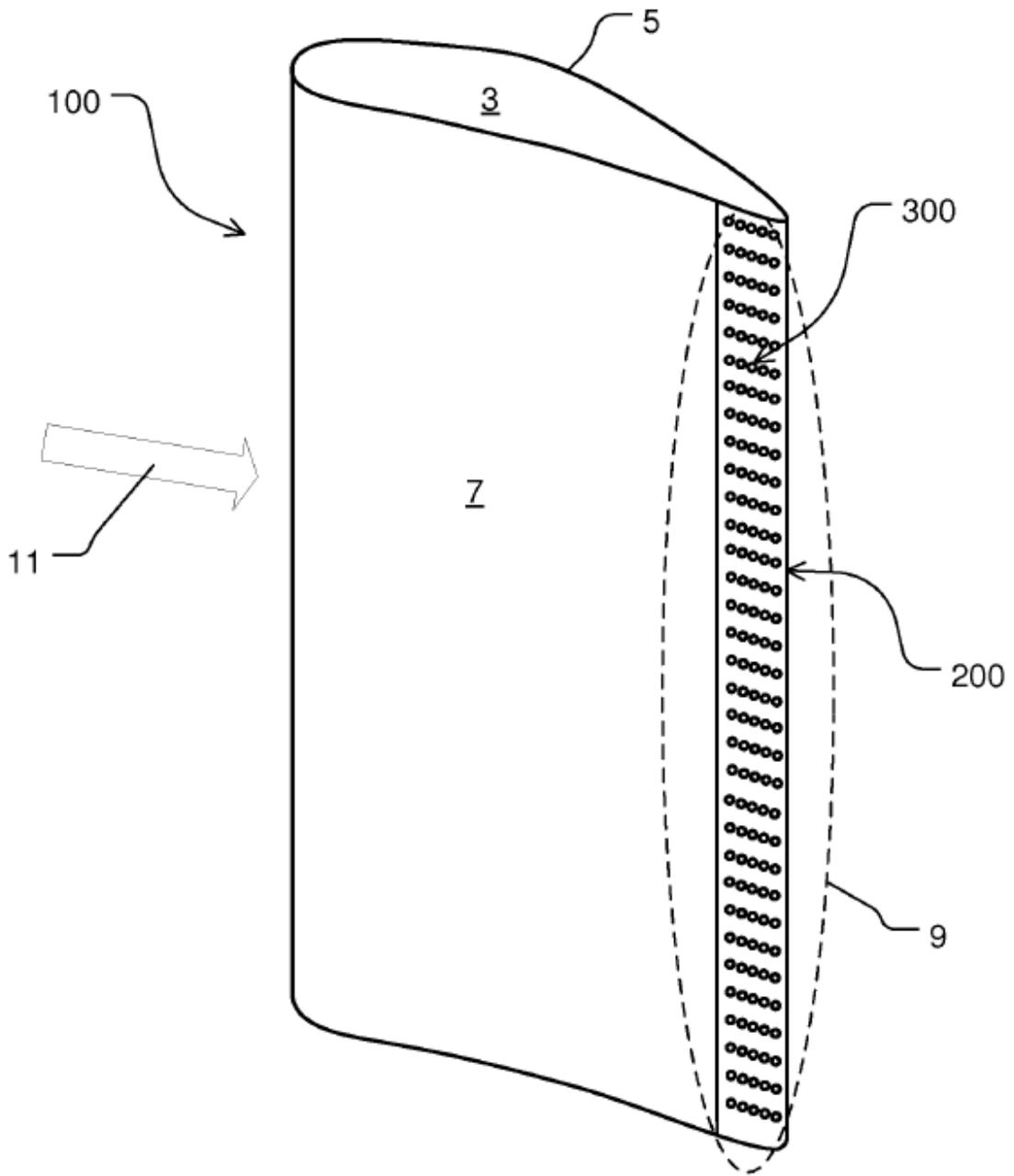
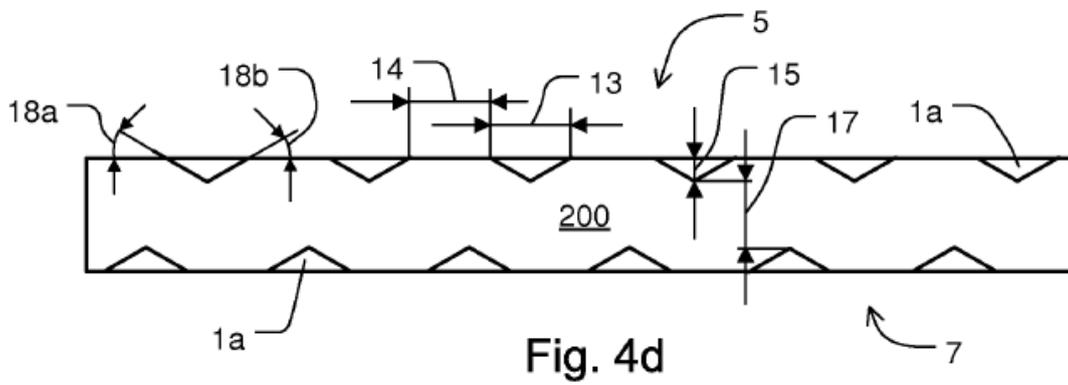
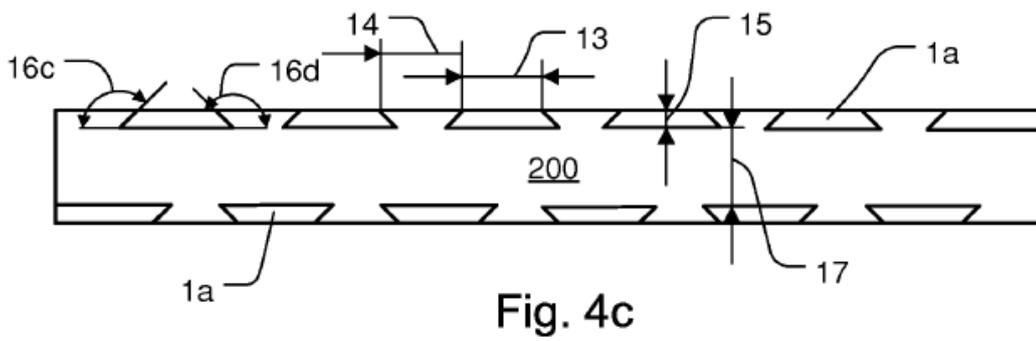
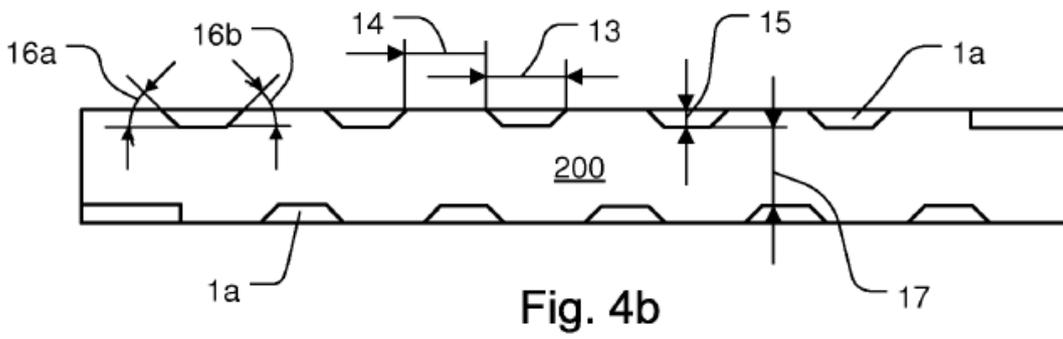
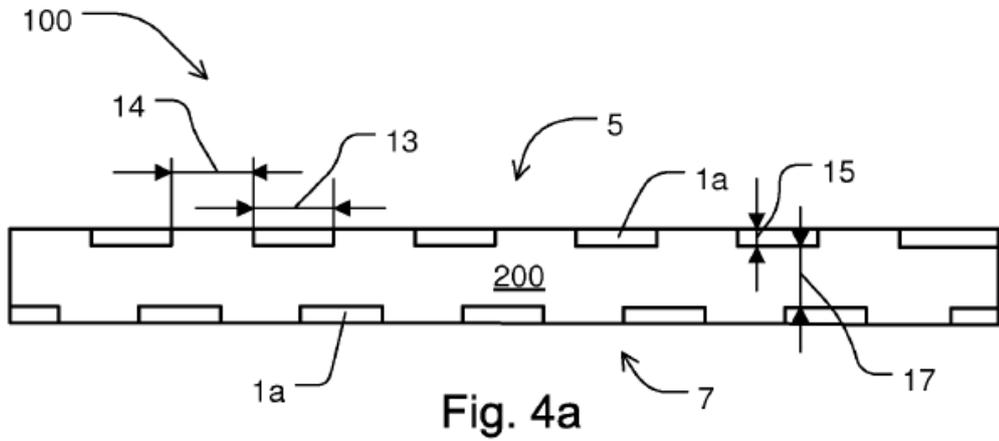


Fig. 3



5. Z

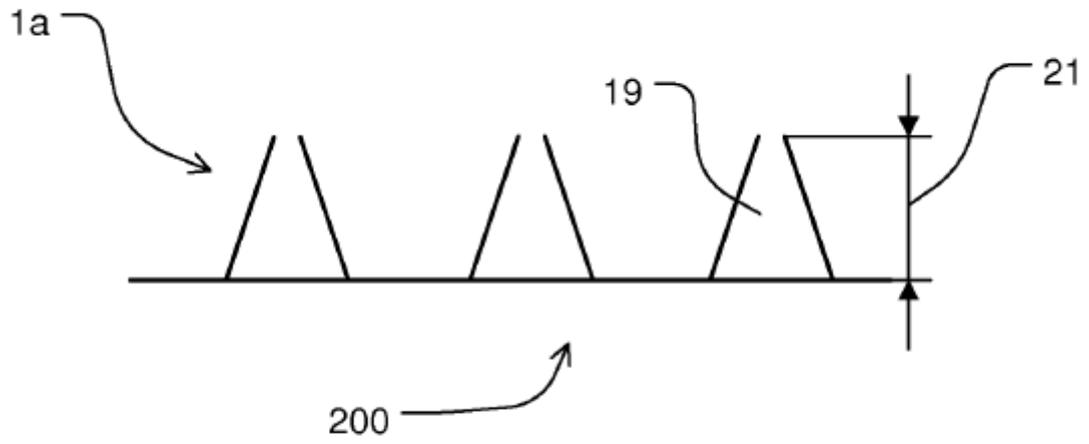


Fig. 5

5, Z

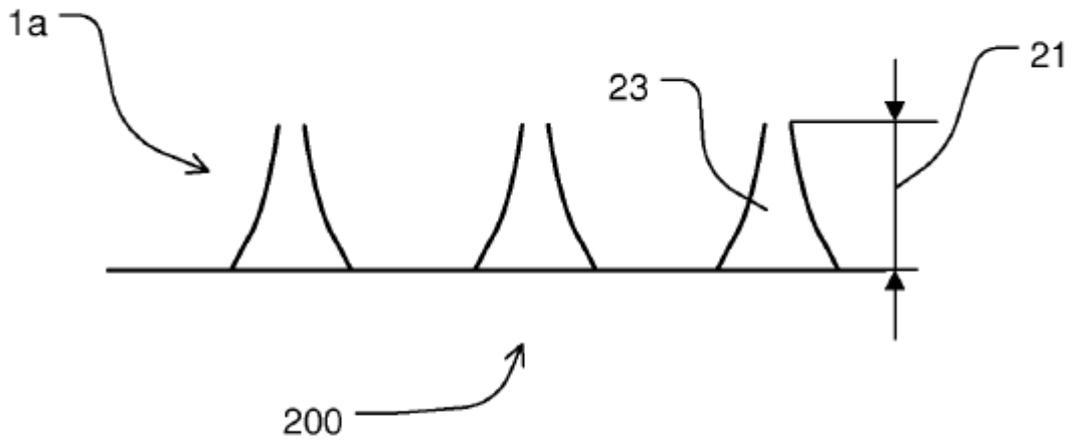


Fig. 6

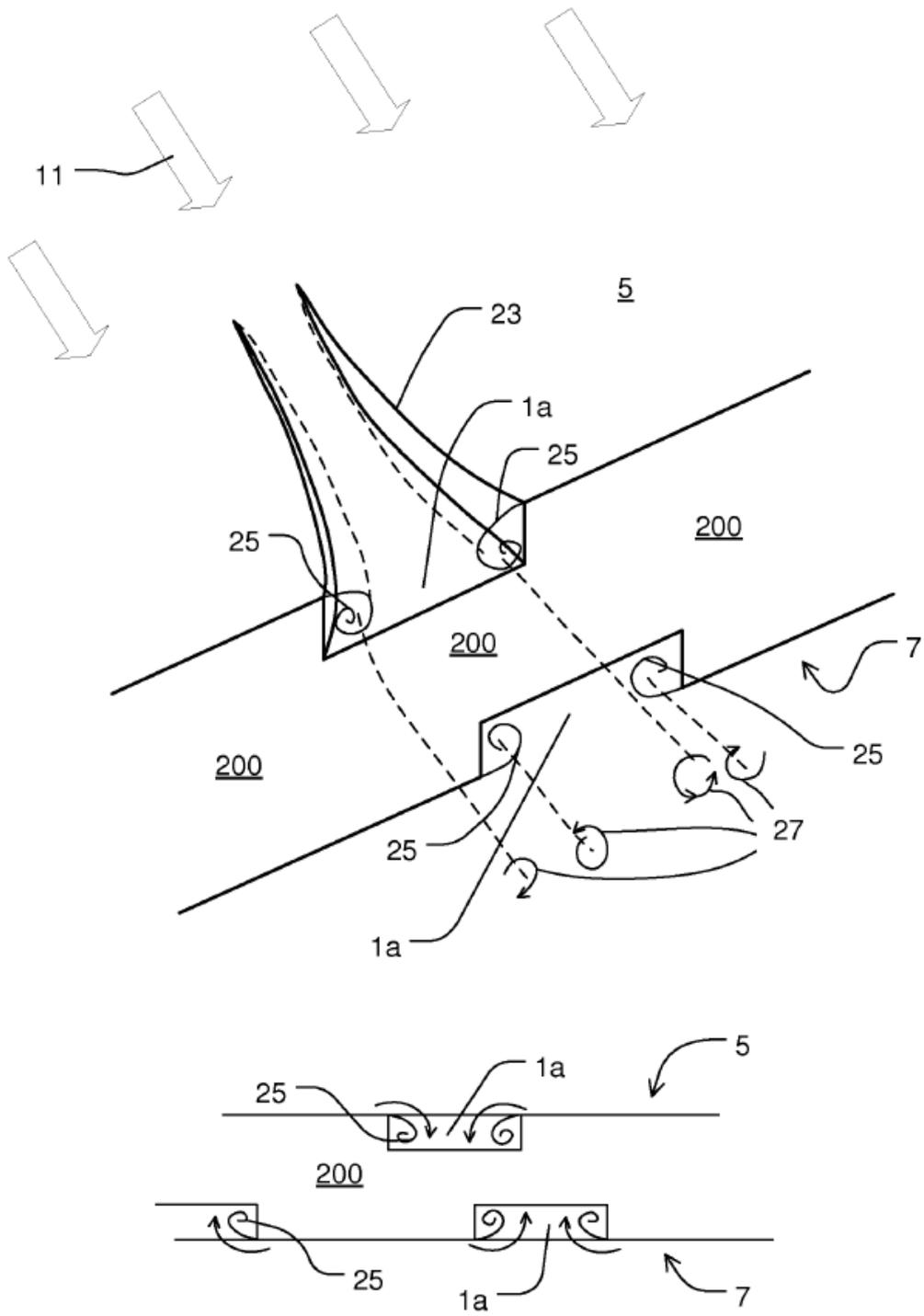


Fig. 7