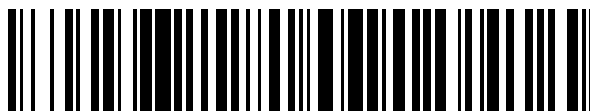


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 801**

51 Int. Cl.:

**F01D 5/14** (2006.01)

**F01D 5/22** (2006.01)

**F01D 9/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2015** **E 15191393 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2019** **EP 3163019**

54 Título: **Álabe móvil**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.06.2019**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**WOLF, KASPAR;**  
**WITTIG, KLAUS;**  
**WÖHLER, MARCUS;**  
**PERNLEITNER, MARTIN y**  
**SCHÜTTE, WILFRIED**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 717 801 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**

Álabe móvil

5 La presente invención se refiere a un álabe móvil para una turbomáquina, una etapa de compresor o turbina de una turbina de gas con al menos álabe móvil semejante, una turbina de gas, en particular de un motor de avión, con al menos una etapa de compresor o turbina semejante y un procedimiento para el diseño del álabe.

Las palas de los álabes móviles sirven para el desvío del flujo, en particular para sacar trabajo, en particular en una etapa de turbina, a un fluido de trabajo, en particular gases de escape, o comprimir, en particular en una etapa de compresor, un fluido de trabajo, en particular aire succionado.

Su contorno geométrico tiene una influencia esencial en la carga del álabe o etapa.

10 El documento EP 2 226 468 A2 da a conocer un álabe móvil transónico en el que una zona de un eje de apilamiento, que conecta los centros de masa de las secciones transversales, está dispuesta en la dirección del flujo principal en un lado aguas abajo de un centro de apilamiento.

Por el documento EP 1 505 302 A1 se conoce una pala de compresor en la que un escalonamiento aumenta por encima de una base y disminuye por encima de una zona central.

15 El documento WO 2012/080669 A1 describe un álabe de turbomáquinas en el que una proyección de un eje de apilamiento sobre un plano perpendicular a una cuerda presenta una doble inversión de su curvatura en el último 30% de una altura de una pala.

Por ello un objeto de una realización de la presente invención es mejorar una turbomáquina, en particular una turbina de gas.

20 Este objeto se logra mediante un álabe móvil con las características de la reivindicación 1 o un procedimiento con las características de la reivindicación 9. Las reivindicaciones 6, 8 ponen bajo protección una etapa de compresor o turbina con uno o varios álabes móviles aquí descritos o una turbina de gas con al menos una etapa de compresor o turbina aquí descrita. Formas de realización ventajosas de la invención son objeto de las reivindicaciones dependientes.

25 Según un aspecto de la presente invención, uno o varios álabes móviles para una, en particular una, turbomáquina, en particular para una, en particular una, etapa de compresor o turbina para una, en particular una, turbina de gas, en particular para un motor de avión, en particular de un motor de avión, presentan respectivamente una pala para el desvío del flujo con un lado de presión y uno de succión, que están conectados a través de un borde delantero y trasero.

30 La pala puede estar construida, definida o diseñada o construirse, definirse o diseñarse de manera habitual especializada mediante una serie de secciones de perfil apiladas radialmente, en particular de forma concéntrica o cónica respecto a un eje de máquina de giro o principal de la turbomáquina. Las secciones de perfil pueden presentar, por ejemplo, perfiles NACA, perfiles Clarc, perfiles DCA ("Doble Arco Circular"), perfiles MCA ("Arcos Circulares Múltiples"), en particular modificados, u otros perfiles o contornos.

35 La línea de conexión de los centros de gravedad geométricos de las secciones de perfil apiladas se designa de la manera habitual especializada como el denominado eje de apilamiento o enhebrado de la pala y define su trazado radial.

40 En una realización de la presente invención, el eje de apilamiento de la pala presenta, en la dirección radial (perpendicularmente al eje de máquina de giro o principal de la turbomáquina) sobre un radio r de una base de pala en r = 0, en particular en una sección de perfil radialmente más interna de la pala, respecto a una punta de la pala en r = H, en particular en una sección de perfil radialmente más externa de la pala,

- en una primera dirección aguas abajo, perpendicular a la dirección radial y en paralelo al eje de máquina principal de la turbomáquina, una curva x(r), que se desvía de una curva de superposición  $x_1(r) + x_s(r)$ , que se compone de una adición de una curva lineal, en particular positiva,

$$x_1(r) = a_x \cdot (r/H + b_x)$$

45 y una función sinusoidal local, definida en particular solo durante un período diferente de cero función

$$x_s(r) = \begin{cases} A \cdot \left[ \sin \left( B \cdot \left( \frac{r}{H} + C \right) \right) + 1 \right] & \Leftrightarrow -\frac{\pi}{2} \leq B \cdot \left( \frac{r}{H} + C \right) \leq \frac{3 \cdot \pi}{2} \\ 0 & \Leftrightarrow \text{por lo demás} \end{cases}$$

al menos en una zona radial entre  $r = 0,200 \cdot H$  y  $r = 0,400 \cdot H$ , en particular al menos en una zona radial entre  $r = 0,100 \cdot H$  y  $r = 0,500 \cdot H$ , en particular al menos en una zona radial entre  $r = 0,100 \cdot H$  y  $r = 0,750 \cdot H$ , en a lo sumo  $0,100 \cdot a_x \cdot (1 + b_x)$ , en particular en a lo sumo  $0,010 \cdot a_x \cdot (1 + b_x)$ ; y

- 5 • presenta, en una segunda dirección perpendicularmente a la dirección radial y la primera dirección, una curva  $y(r)$ , que se desvía de una curva lineal, en particular negativa,

$$a_y \cdot (r/H + b_y)$$

al menos en la zona radial entre  $r = 0,200 \cdot H$  y  $r = 0,400 \cdot H$ , en particular al menos entre  $r = 0,100 \cdot H$  y  $r = 0,500 \cdot H$ , en particular al menos entre  $r = 0,100 \cdot H$  y  $r = 0,750 \cdot H$ , en a lo sumo  $0,100 \cdot a_y \cdot (1 + b_y)$ , en particular en a lo sumo  $0,010 \cdot a_y \cdot (1 + b_y)$ .

- 10 En otras palabras, las pala de uno o varios álabes móviles presentan al menos en la zona radialmente interna especificada entre  $r = 0,200 \cdot H$  y  $r = 0,400 \cdot H$ , en particular al menos entre  $r = 0,100 \cdot H$  y  $r = 0,500 \cdot H$ , en particular al menos entre  $r = 0,100 \cdot H$  y  $r = 0,750 \cdot H$ , una así denominada inclinación en  $x$  o barrido, en particular positivo o aguas abajo, en la dirección del eje de máquina principal y una así llamada inclinación (en  $y$ ), en particular negativa, en la dirección circunferencial, donde la inclinación (en  $y$ ) se desvía al menos en la zona radialmente interna especificada de una curva puramente lineal en a lo sumo el 1%, en particular a lo sumo el 0,1% de un valor límite en la punta de la pala, y la inclinación en  $x$  o barrido se desvía al menos en la zona radialmente interior especificada de una superposición una curva puramente lineal y un solo período completo de una oscilación sinusoidal superpuesta en a lo sumo el 1%, en particular a lo sumo el 0,1% de un valor límite en la punta de la pala.

- 20 En una realización, una carga de la base de álabe que lleva o soporta la pala puede reducirse ventajosamente mediante la curva o fracción respectivamente lineal debido a las fuerzas de fluido, en particular de gas, que actúan sobre la pala.

A este respecto, gracias a la combinación con un período superpuesto de una oscilación sinusoidal en la inclinación en  $x$  o barrido, en una realización se puede mejorar ventajosamente al mismo tiempo una carga de la pala por estas fuerzas, en particular reducirse ventajosamente una carga en el borde delantero.

- 25 Gracias a esta combinación de inclinación en  $x$  o barrido e inclinación (en  $y$ ), por lo tanto, en una realización se puede aumentar ventajosamente una robustez durante el funcionamiento, en particular contra los FOD, y/o en el diseño un así margen de Goodman.

- 30 En una realización, una o la sección de perfil radialmente más interna es la sección del cilindro más pequeño, concéntrico respecto al eje de máquina principal con la pala, que corta la pala en al menos un punto, en particular por primera vez completamente, en una realización, una o la sección de perfil radialmente más externa es la sección del cilindro más grande, concéntrico respecto al eje de máquina principal con la pala, que corta la pala en al menos un punto, en particular todavía completamente, la altura de la pala es correspondiente la distancia radial desde la sección de perfil radialmente más interna a la radialmente más externa.

- 35 En una realización es válido  $0 < a_x$ . Esto también se designa como una fracción positiva lineal de inclinación en  $x$  o de barrido, ya que la primera dirección está orientada en la dirección del flujo o aguas abajo, y por lo tanto aumenta radialmente hacia fuera la fracción de inclinación en  $x$  en la dirección del flujo.

- 40 Adicional o alternativamente, en una realización es válido  $a_y < 0$ . Esto también se designa como inclinación (en  $y$ ) negativa, en donde en una realización la primera dirección, la segunda dirección y la dirección radial desde la base de pala a la punta de pala forman en este orden un sistema a la derecha o la dirección radial se produce como producto vectorial de la primera y segunda dirección.

En virtud de tal inclinación en  $x$  o barrido positivo y/o inclinación (en  $y$ ) negativa, la carga de la base de álabe se puede reducir ventajosamente.

- 45 En una realización, adicional o alternativamente es válido  $A < 0$ . En una realización, la función sinusoidal de un período se superpone a la fracción lineal en sentido opuesto, en particular de modo que reduce la inclinación en  $x$  o barrido positivo en la zona en la que es diferente de cero,

De este modo, en una realización, se puede mejorar una carga en la pala, en particular reducirse ventajosamente una carga en el borde delantero.

- 50 En una realización, es válido  $1,800 \cdot \pi \leq B \leq 2,200 \cdot \pi$  o  $6,300 \cdot \pi \leq B \leq 7,000 \cdot \pi$ . En otras palabras, en una realización, el período de la oscilación sinusoidal superpuesta se extiende, al menos esencialmente, sobre toda la altura de la pala ( $B \approx 2 \cdot \pi$ ) o aproximadamente el 30% de la altura de la pala ( $B \approx 2 \cdot \pi / 0,3 \approx 6,7 \cdot \pi$ ).

Se ha mostrado sorprendentemente que precisamente estas anchuras de período mejoran ventajosamente la carga en la pala, en particular pueden reducir ventajosamente una carga en el borde delantero.

- En una realización, es válido  $-0,300 \leq C \leq -0,200$  o  $-0,100 \leq C \leq -0,050$ . En general, en una realización, en particular de este modo, un valor máximo, en particular negativo, de la oscilación sinusoidal superpuesta está dispuesto en aproximadamente la mitad de la altura de la pala (compárese con  $\sin(B(r/H - 0,25)) + 1 = \sin(0,25B) + 1 = \sin(0,5 \cdot \pi) + 1 = 2$ ) o aproximadamente el 15% de la altura de la pala (compárese  $\sin(B(r/H - 0,075)) + 1 = \sin(0,075B) + 1 = \sin(0,5 \cdot \pi) + 1 = 2$ ), en donde se debe tener en cuenta que la oscilación sinusoidal superpuesta comienza en cero debido al desplazamiento " $\sin(\dots) + 1$ " y aumenta en virtud al valor hasta como máximo  $2(\cdot A)$ .
- Se ha mostrado sorprendentemente que precisamente esta ubicación del período sinusoidal puede mejorar ventajosamente la carga en la pala, en particular reducir ventajosamente una carga en el borde delantero.
- En una realización, es válido  $a_x \leq 0,036 \cdot H$ , en particular  $a_x \leq 0,018 \cdot H$ , y/o  $-0,100 \leq b_x \leq 0,100$ , en particular  $-0,050 \leq b_x \leq 0,050$ . Por ejemplo, en una realización, si la altura de la pala H es aproximadamente 167 mm, entonces, en una realización, la proporción lineal de la inclinación en x o barrido en la punta de la pala  $b_x = 0$  es correspondientemente aproximadamente  $0,036 \cdot 167 \text{ mm} \approx 6,01 \text{ mm}$ , en particular  $0,018 \cdot 167 \text{ mm} \approx 3,01 \text{ mm}$ .
- Adicional o alternativamente, en una realización, es válido  $-0,006 \cdot H \leq a_y$ , en particular  $-0,003 H \leq a_y$  y/o  $-0,100 \leq b_y \leq 0,100$ , en particular  $-0,050 \leq b_y \leq 0,050$ . Por ejemplo, en una realización, si la altura de la pala H es aproximadamente 167 mm, entonces, en una realización, la inclinación (en y) lineal en la punta de la pala para  $b_y = 0$  es correspondientemente aproximadamente  $-0,006 \cdot 167 \text{ mm} \approx -1,00 \text{ mm}$ , en particular  $-0,003 \cdot 167 \text{ mm} \approx -0,5 \text{ mm}$ .
- Se ha mostrado sorprendentemente que precisamente estas curvas o fracciones lineales pueden mejorar ventajosamente la carga en la pala, en particular reducir ventajosamente una carga en el borde delantero.
- En una realización, es válido  $-0,005 \cdot H \leq A$ , en particular  $-0,003 \cdot H \leq A$ . Si, por ejemplo, en una realización, la altura de pala H es de aproximadamente 167 mm, entonces, en una realización, el valor máximo de la fracción senoidal de la inclinación en x o barrido es correspondientemente  $-0,005 \cdot 167 \text{ mm} \cdot 2 \approx 1,67 \text{ mm}$ , en particular  $-0,0022 \cdot 167 \text{ mm} \cdot 2 \approx 0,73 \text{ mm}$ . Se ha mostrado sorprendentemente que precisamente estas magnitudes pueden mejorar ventajosamente la carga en la pala, en particular reducir ventajosamente una carga en el borde delantero.
- En una realización, la altura de la pala radial H está entre 150 mm y 200 mm. Se ha mostrado sorprendentemente que se producen álabes ventajosos precisamente con tales alturas de pala.
- En una realización, la(s) cuchilla(s) presenta(n) (respectivamente) una banda cobertora en la punta de la pala. Se ha mostrado sorprendentemente que, precisamente en el caso de bandas cobertoras (exteriores), las palas según la invención conducen a cargas ventajosas.
- En una realización, la(s) pala(s) es o son un(os) álabe(s) móvil(es) para una, en particular una, etapa de compresor o turbina, en particular axial, para una, en particular una, turbina de gas, en particular para un motor de avión, en particular de un motor de avión.
- En un perfeccionamiento, la etapa o el/los álabe(s) móvil(es) está(n) separado(s) de una etapa o álabe móvil aguas arriba o primero y/o aguas abajo o último del compresor o la turbina. En otras palabras, el álabe móvil o la etapa puede ser, en particular, un álabe móvil o etapa medios, por ejemplo, un tercero (en la dirección del flujo). Se ha mostrado sorprendentemente que las palas según la invención son precisamente especialmente ventajosas aquí.
- En una realización, el álabe móvil está fijado o se fija de manera separable a un rotor, por ejemplo por medio de un pie de árbol de navidad. Se ha mostrado sorprendentemente que las palas según la invención son precisamente especialmente ventajosas aquí.
- En una realización, un álabe móvil está diseñado o se diseña de la manera descrita aquí, en particular, en tanto que para la pendiente en x o barrido se diseña en primer lugar la función sinusoidal local y a continuación la curva o fracción lineal.
- Otros perfeccionamientos ventajosos de la presente invención se deducen de las reivindicaciones dependientes y la siguiente descripción de ejemplos de realización preferidos. Aquí muestra, parcialmente esquematizado:
- Fig. 1 un álabe móvil de una turbomáquina según una realización de la presente invención en una vista en planta en la dirección de una segunda dirección; y
- Fig. 2 la curva del eje de apilamiento de la pala del álabe móvil en una primera y en la segunda dirección.
- La fig. 1 muestra un álabe móvil de una turbomáquina según una realización de la presente invención en una vista en paralelo a una dirección radial R y una primera dirección X en paralelo a un eje de máquina principal de la turbomáquina (horizontalmente en la figura 1).
- El álabe móvil presenta una pala 10 con un lado de succión 11 y un lado de presión no visible en la vista de la fig. 1, que están conectados a través de un borde delantero 12 aguas arriba y un borde posterior 13 aguas abajo, así como una banda cobertora 2 en la punta de la pala.

La fig. 2 muestra la curva de un eje de apilamiento S de la pala 10, indicado a puntos y rayas en la fig. 1, en la primera dirección X (fig. 2: "x") y en una segunda dirección Y (fig. 2: "y"), en donde la primera dirección X, la segunda dirección Y y la dirección radial R forman en este orden un sistema a la derecha, es decir, la segunda dirección Y señala perpendicular en el plano de dibujo de la fig. 1.

- 5 En la fig. 2 se reconoce que la pala presenta, en el ejemplo de realización por encima de la altura de la pala H, es decir, entre  $r/H = 0$  y  $r/H = 1$ , una inclinación (en y) lineal negativa que es de 0 mm en  $r = 0$  mm y -0,5 mm en  $r = H = 167$  mm. La inclinación en x o barrido en la primera dirección, por otro lado, se compone de una fracción lineal positiva, que es de 0 mm en  $r = 0$  mm y 3 mm en  $r = H = 167$  mm, y una función sinusoidal local, que presenta exactamente un período completo, en donde el período se corresponde aproximadamente con la altura de la pala, y la función sinusoidal local en la base de la pala (abajo en la fig. 1) y la punta de la pala (arriba en la fig. 1) es igual cero y aproximadamente a la mitad de la altura de la pala presenta un valor negativo máximo de -0,75 mm.
- 10

Por ejemplo, en una modificación no representada, la función sinusoidal local puede ser distinta de cero en una zona radial entre aproximadamente  $r/H = 0$  y  $r/H = 0,3$  y presentar un período completo, en donde el valor negativo máximo de, por ejemplo, -1 mm se puede situar en aproximadamente  $r/H = 0,15$ .

- 15 Aunque en el ejemplo de realización el eje de apilamiento S de la pala 10 en toda la zona radial  $r/H = [0, 1]$  en la segunda dirección Y no se desvía o sólo ligeramente de la curva lineal y o bien en la primera dirección X de la curva de superposición x, en una modificación también puede presentar una curva diferente, en particular en la zona  $r/H < 0,1$  y/o  $r/H > 0,75$ .

- 20 Aunque en la descripción anterior se han explicado realizaciones a modo de ejemplo, se indica que es posible una pluralidad de modificaciones. Además se indica que las realizaciones a modo de ejemplo son simplemente ejemplos que no deben limitar de ninguna manera el alcance de protección, las aplicaciones y la construcción. Mejor dicho al experto se le da gracias a la descripción anterior una guía para la implementación de al menos una realización a modo de ejemplo, en donde se pueden efectuar diversos cambios, en particular con respecto a la función y la disposición de los componentes descritos, sin abandonar el alcance de protección que se desprende de las reivindicaciones y estas combinaciones de características equivalentes.
- 25

**Lista de referencias**

- 1 Pala
- 11 Lado de succión
- 12 Borde delantero
- 30 13 Borde trasero
- 2 Banda cobertora
- B Altura de pala
- R Dirección radial
- S Eje de apilamiento
- 35 X Primera dirección
- Y Segunda dirección

REIVINDICACIONES

5 1. Álabe móvil para una turbomáquina, en particular una etapa de compresor o turbina de una turbina de gas, en particular de un motor de avión, con una pala (10) para la desviación del flujo con un lado de presión y uno de succión (11), que están conectados por un borde delantero y trasero (12, 13), en donde un eje de apilamiento (S) de la pala (10) presenta, en la dirección radial (R) sobre un radio r desde una base de la pala en r = 0 hasta una punta de la pala con r = H

10 • en una primera dirección aguas abajo (X) perpendicularmente a la dirección radial (R) y en paralelo con un eje de máquina principal de la turbomáquina, una curva x(r) que se desvía de una curva de superposición  $x_i(r) + x_s(r)$ , que se compone de una adición de una curva lineal, en particular positiva,  $x_i(r) = a_x \cdot (r/H + b_x)$  y una función sinusoidal local

$$x_s(r) = \begin{cases} A \cdot \left[ \sin \left( B \cdot \left( \frac{r}{H} + C \right) \right) + 1 \right] & \Leftrightarrow -\frac{\pi}{2} \leq B \cdot \left( \frac{r}{H} + C \right) \leq \frac{3 \cdot \pi}{2} \\ 0 & \Leftrightarrow \text{por lo demás} \end{cases}$$

al menos en una zona radial entre r = 0,200·H y r = 0,400·H en a lo sumo 0,100·a<sub>x</sub>·(1 + b<sub>x</sub>); y

15 • presenta, en una segunda dirección (Y) perpendicularmente a la dirección radial (R) y la primera dirección (X), una curva y(r) que se desvía de una curva lineal, en particular negativa, a<sub>y</sub>·(r/H + b<sub>y</sub>) al menos en la zona radial entre r = 0,200·H y r = 0,400·H en a lo sumo 0,100·a<sub>y</sub>·(1 + b<sub>y</sub>), en donde es válido:

A < 0; y

1,800·π ≤ B ≤ 2,200·π o 6,300·π ≤ B ≤ 7,000·π; y

-0,300 ≤ C ≤ -0,200 o -0,100 ≤ C ≤ -0,050; y

0 < a<sub>x</sub>; y

20 a<sub>y</sub> < 0,

a<sub>x</sub> ≤ 0,036·H; y

-0,100 ≤ b<sub>x</sub> ≤ 0,100; y

-0,006·H ≤ a<sub>y</sub>; y

-0,100 ≤ b<sub>y</sub> ≤ 0,100; y

25 -0,005·H ≤ A.

2. Álabe móvil según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la altura de pala radial H está entre 150 mm y 200 mm.

3. Álabe móvil según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el álabe presenta una banda cobertora (2) en la punta de la pala.

30 4. Etapa de compresor o turbina de una turbina de gas, en particular de un motor de avión, con al menos un álabe móvil según una de las reivindicaciones anteriores.

5. Etapa de compresor o turbina según la reivindicación anterior, **caracterizado por que** el álabe móvil está fijado de manera separable a un rotor.

35 6. Turbina de gas, en particular de un motor de avión, con al menos una etapa de compresor o turbina según la reivindicación anterior.

7. Procedimiento para el diseño de al menos un álabe móvil según una de las reivindicaciones anteriores.

Fig. 1

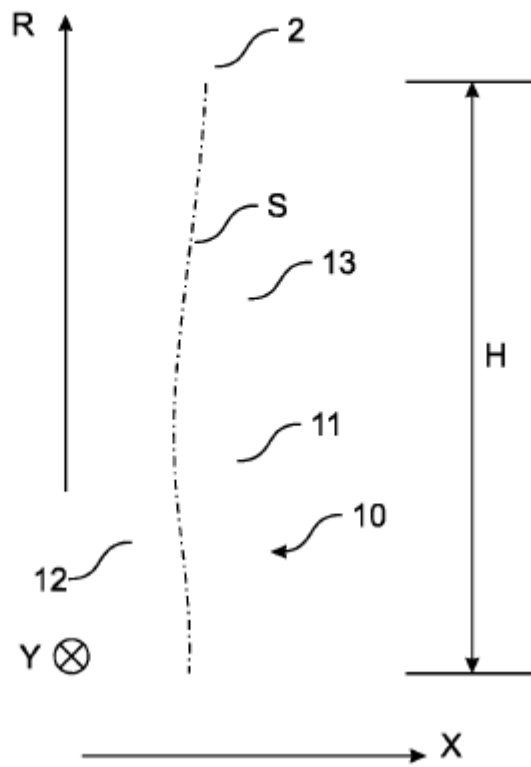


Fig. 2

