

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 274**

51 Int. Cl.:

F01D 5/14 (2006.01)

F01D 5/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.07.2020** **PCT/DE2020/000155**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.01.2021** **WO21013281**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.07.2020** **E 20753279 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2024** **EP 3999716**

54 Título: **Álabe móvil para turbomáquina, módulo de turbina asociado y uso de estos**

30 Prioridad:

19.07.2019 DE 102019210693

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

25.11.2024

73 Titular/es:

MTU AERO ENGINES AG (100.0%)

Dachauer Strasse 665

80995 München, DE

72 Inventor/es:

MAAR, KARL;

FRISCHBIER, JÖRG y

HACKENBERG, HANS-PETER

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 989 274 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 para turbomáquina, módulo de turbina asociado y uso de estos

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un álabe móvil para una turbomáquina.

Estado de la técnica

10 La turbomáquina puede ser, por ejemplo, un motor de reacción, p. ej. un turboreactor de doble flujo. Funcionalmente, la turbomáquina se divide en compresor, cámara de combustión y turbina. En el caso del motor a reacción, por ejemplo, el aire de succionado es comprimido por el compresor y quemado en la cámara de combustión posterior con queroseno mezclado. El gas caliente resultante, una mezcla de gas de combustión y aire, fluye a través de la turbina aguas abajo y, a este respecto, se expande. Por regla general, la turbina está formada por varias etapas con un estátor (corona de álabes guía) y un rotor (corona de álabes móviles), en cada caso, los rotores se accionan mediante el gas caliente. En cada etapa, del gas caliente se extrae en cada caso una parte de energía interna, que se transforma en un movimiento de la corona de álabes móviles respectiva y, con ello, del eje.

20 El documento DE 10 2015 103 951 A1 se refiere a una hoja de álabe que, en una zona radialmente central, está unida a una hoja de álabe adyacente a través de una banda de cubierta de envergadura parcial, en donde en la zona de la banda de cubierta de envergadura parcial la longitud de cuerda de la hoja de álabe está aumentada por motivos aerodinámicos.

25 Del documento WO 2015/126824 A1 se conoce una hoja de álabe de ventilador, cuya longitud de cuerda varía en la altura de la hoja de álabe. A este respecto, un máximo relativo o absoluto se encuentra en una zona radialmente central y la longitud de cuerda se reduce de forma considerable radialmente hacia dentro.

30 El documento US 4,682,935 A se refiere a una hoja de álabe que está inclinada hacia el lado de succión para ajustar una tensión de flexión con un componente de presión en un área crítica con respecto a la resistencia HCF/LCF o resistencia a la fluencia.

El documento EP 3 314 093 A1 se refiere a una hoja de álabe refrigerada activamente.

35 El documento EP 0 618 310 A2 se refiere a una hoja de álabe, cuyo borde delantero está provisto de una capa protectora aplicada mediante pulverización de plasma o recubrimiento de polvo.

El presente objeto se refiere a un álabe móvil para su disposición en el conducto de gas de una turbomáquina. El álabe móvil también puede utilizarse en general en la zona de compresor, es decir, disponerse en el conducto de gas de compresor; una aplicación preferida es en la zona de turbina, por lo tanto, se coloca en el conducto de gas caliente.

40 Exposición de la invención

La presente invención se basa en el problema técnico de indicar un álabe móvil especialmente ventajoso.

45 Esto se consigue según la invención con el álabe móvil según la reivindicación 1. Su hoja de álabe móvil tiene una longitud S_i de cuerda radialmente interior y una longitud S_a de cuerda radialmente exterior, así como una longitud S_x de cuerda radialmente entremedias, en una posición r_x radial. A este respecto, la longitud de cuerda disminuye, por un lado, radialmente hacia fuera ($S_i \leq S_x$); pero, por otro lado, no tiene dicho recorrido en toda la altura de la hoja de álabe móvil. Desde la posición r_x radial radialmente hacia dentro, la longitud de cuerda permanece constante o incluso disminuye ($S_i \leq S_x$). En resumen, esto inicialmente da como resultado una longitud de cuerda ligeramente creciente radialmente desde dentro hacia fuera en una sección radialmente interior y luego la longitud de cuerda disminuye en una sección radialmente exterior.

50 Esta menor longitud S_a de cuerda radialmente exterior puede ser ventajosa, por ejemplo, porque permite reducir la carga en los bordes, lo que, simplificando, quiere decir que se puede reducir la masa, que empuja hacia fuera debido a la rotación. Esto significa que las tensiones causadas por la fuerza centrífuga se pueden reducir en la sección radialmente exterior, lo que puede aumentar la robustez o la tolerancia a los impactos de la hoja de álabe. Dado que el material de la hoja de álabe está menos sometido a tensiones, solo un impacto de mayor energía provoca daños materiales críticos. Sin embargo, los inventores también han descubierto que la frecuencia de los impactos y la carga de impacto, que resulta de la velocidad y la masa, no se distribuyen de manera radialmente uniforme. Concretamente, la carga es menor radialmente en el interior, por lo que allí, por el contrario, es aceptable un mayor nivel de tensión (porque en el interior hay menos impactos de partículas y también menor velocidad que en el exterior).

55 Según la reivindicación principal, esto se aprovecha con una longitud de cuerda que disminuye hacia dentro en la sección radialmente interior. En general, esto permite evitar longitudes axiales particularmente grandes a pesar de una mayor tolerancia al impacto de la hoja de álabe. Esto puede ser ventajoso, por ejemplo, en términos de peso y

de espacio; por ejemplo, el correspondiente módulo de turbina también puede diseñarse axialmente más compacto. En resumen, la mayor robustez no se produce a expensas de la eficacia, al menos no de manera significativa.

Formas de realización preferidas se encuentran en las reivindicaciones dependientes y en toda la divulgación, en donde, en la representación de las características no siempre se distingue en detalle entre aspectos del dispositivo y aspectos del procedimiento o uso; en cualquier caso, implícitamente, la divulgación debe leerse con respecto a todas las categorías reivindicadas. Si, por ejemplo, se describen las ventajas del álabe móvil en una determinada aplicación, esto ha de leerse como divulgación tanto del álabe móvil diseñado en correspondencia como de dicho uso.

Las indicaciones “axial”, “radial” y “circundante”, así como las direcciones correspondientes (dirección axial, etc.) hacen referencia al eje de giro alrededor del cual rota el álabe móvil durante el funcionamiento. Este coincide normalmente con un eje longitudinal del grupo motopropulsor o módulo de grupo motopropulsor. Como se explica detalladamente a continuación, el álabe móvil se utiliza preferiblemente en un módulo de turbina de alta velocidad, donde la elevada tolerancia al impacto en términos de diseño puede permitir, por ejemplo, el uso de materiales resistentes a altas temperaturas y, por tanto, en muchas ocasiones relativamente frágiles.

La longitud de cuerda se observa en cada caso en una sección tangencial de la hoja de álabe, es decir, tangencialmente a la altura radial correspondiente (por ejemplo, radialmente hacia dentro o hacia fuera o entremedias). En concreto, la longitud se toma en este caso a lo largo de una tangente de conexión situada en el lado de presión del perfil en el corte, que no corta la hoja de álabe y tiene dos puntos de contacto con la hoja de álabe (en la zona del borde delantero y en la zona del borde de salida). La longitud de cuerda se obtiene así a lo largo de estas tangentes de conexión como la distancia entre una tangente delantera y una tangente trasera, donde las tangentes delantera y trasera son en cada caso perpendiculares a la tangente de conexión y tocan (y no se cruzan) la hoja de álabe en la parte delantera (tangente delantera) y en la parte trasera (tangente trasera).

La longitud S_i de cuerda radialmente interior se toma en una sección tangencial inmediatamente por encima del pie de álabe o cubierta interior, y la longitud S_a de cuerda exterior, inmediatamente por debajo de la banda de cubierta exterior. Basándose en una altura de hoja de álabe móvil tomada radialmente desde dentro hacia fuera, la longitud S_i de cuerda radialmente dentro se toma al 0 % y la longitud S_a de cuerda radialmente fuera al 100 % de la altura de la hoja de álabe móvil, en donde no se toma en consideración, en particular, el llamado “filete”, es decir, una transición de material de la hoja de álabe a la respectiva banda de cubierta en forma de un radio de curvatura. Esto quiere decir que las longitudes S_a y S_i de cuerda en particular se “toman” sin filete y corresponden a este respecto a la respectiva longitud de cuerda extrapolada, que se extrapola linealmente desde inmediatamente por debajo o inmediatamente por encima del respectivo filete hasta el 0 % o hasta el 100 % de la altura de la hoja de álabe móvil. Alternativamente, las longitudes S_a y S_i de cuerda pueden tomarse directamente radialmente por debajo y de manera adyacente o por encima y de manera adyacente al filete. En la presente divulgación, las longitudes S_a y S_i de cuerda pueden comprender en cada caso una longitud de cuerda determinada de una u otra manera de las dos opciones.

La posición r_x radial con la longitud S_x de cuerda en una realización preferida es al menos el 20 % y como máximo el 50 % de la altura de la hoja de álabe móvil tomada radialmente de dentro a fuera. Con este posicionamiento puede ser posible una adaptación particularmente buena a la distribución radial de la carga de impacto observada por los inventores.

La zona radial de un filete radialmente interior y/o exterior en algunas realizaciones puede variar en los intervalos del 2 % al 5 %, del 2,5 % al 4 % o del 3 % al 3,5 %.

Según la invención, la longitud S_i de cuerda radialmente interior corresponde a al menos 0,9 veces la longitud S_x de cuerda en la posición r_x radial entremedias ($S_i \geq 0,9 S_x$). De manera simplificada, se puede decir que la longitud de cuerda a lo sumo debería disminuir ligeramente radialmente hacia dentro (en comparación con la disminución radialmente hacia fuera).

En un diseño preferido, la longitud S_a de cuerda radialmente exterior corresponde a al menos 0,7 veces la longitud S_x de cuerda en la posición r_x radial. La longitud S_a de cuerda radialmente exterior se sitúa, por tanto, preferiblemente, en un intervalo de $0,7 S_x$ a $0,9 S_x$ ($0,7 S_x \leq S_a \leq 0,9 S_x$).

Las siguientes formas de realización se refieren al curso radial de la longitud de cuerda, por lo que la longitud de cuerda se considera una función del radio, $S(r)$. El punto de partida es en este sentido la posición r_x radial entremedias, desde allí, se observa un curso radialmente hacia fuera, es decir, desde S_x a S_a . Por otro lado, el curso desde aquí se observa radialmente hacia dentro, es decir, desde S_x a S_i .

Según la invención, se prevé una disminución monótona de S_x a S_i , preferiblemente, de manera adicional una disminución monótona de S_x a S_a . Como resultado de la disminución monótona, de S_x a S_a (sección radial exterior) o de S_x a S_i (sección radial interior) no hay valores mayores que S_x . En otras palabras, la longitud S de cuerda desde la posición radial r_x con S_x radialmente hacia fuera y/o radialmente hacia dentro, es constante a lo sumo por secciones o disminuye, pero no aumenta. Por tanto, S_x corresponde a la longitud máxima de la cuerda de la hoja de álabe móvil.

Preferiblemente, la longitud de cuerda en la sección radialmente exterior de S_x a S_a disminuye de manera estrictamente monótona y/o disminuye en la sección radialmente interior de S_x a S_i de manera estrictamente monótona. En otras palabras, la longitud de cuerda no permanece constante en varias posiciones radiales.

5 Según una forma de realización preferida, la gradiente en este sentido es constante, por lo que la longitud de cuerda disminuye radialmente hacia fuera (en la sección radialmente exterior) y/o radialmente hacia dentro (en la sección radialmente interior) con una progresión lineal. Las gradientes en la sección radialmente interior y en la sección radialmente exterior pueden diferir a este respecto, preferiblemente, es mayor en la sección radialmente exterior.

10 Según una forma de realización preferida alternativa, la disminución de la longitud de cuerda radialmente hacia fuera (en la sección radialmente exterior) y/o radialmente hacia dentro (en la sección radialmente interior) es mayor desde la posición r_x radial. Por lo tanto, la gradiente dS/dr aumenta desde la posición r_x radial hacia fuera o hacia dentro. Si se considera la hoja de álabe en su conjunto, un curso de este tipo también se puede combinar con un curso lineal, es decir, la longitud de cuerda puede disminuir, por ejemplo, hacia fuera en la sección radialmente exterior al aumentar la gradiente, pero tener una gradiente constante en la sección radialmente interior, o a la inversa (constante radialmente hacia fuera, creciente hacia dentro).

Según una forma de realización preferida, la hoja de álabe móvil está inclinada al menos por secciones hacia el lado de succión. Esta inclinación se ajusta a este respecto de manera que el momento de la fuerza centrífuga resultante durante el funcionamiento sea mayor que el de la fuerza del gas, por lo que esta última queda sobrecompensada. Por lo tanto, el momento flector de fuerza centrífuga que actúa sobre la hoja de álabe móvil es mayor que el momento flector de fuerza de gas; de manera simplificada, se puede decir que la hoja de álabe móvil se dobla hacia el lado de presión debido a la fuerza centrífuga durante el funcionamiento. Esto aumenta la carga en el lado de succión, pero esta disminuye en el lado de presión y en los bordes de ataque y salida. Mediante el pretensado específico de la hoja de álabe móvil se puede reducir la tensión relativa durante el funcionamiento en el lado de presión y, debido a la curvatura del perfil, también en el borde delantero, lo que aumenta la tolerancia al impacto, es decir, la resistencia al impacto de partículas extrañas. Gracias a la descarga en el borde delantero, debido a que el material de la hoja de álabe móvil se somete en este a menos tensión durante el funcionamiento (la tensión relativa se puede reducir, por ejemplo, hasta un 20 %), solo un impacto de mayor energía lleva a daños materiales críticos.

30 Se puede preferir una inclinación radialmente variable de la hoja de álabe móvil. Esta puede estar inclinada, por ejemplo, entre un 20 % y un 60 % más de la altura de la hoja de álabe móvil (tomada radialmente de dentro a fuera) que radialmente dentro de esta (entre el 0 % y el 20 %) y/o que radialmente fuera de ella (entre un 60 % y un 100 %). Preferiblemente, el curso de inclinación puede ser tal, que inicialmente aumente radialmente de dentro afuera, luego alcance un máximo de entre el 20 % y el 60 % de la altura de la hoja de álabe móvil y, a continuación, disminuya nuevamente radialmente hacia fuera. Con la inclinación radialmente variable, se pueden descargar de forma específica zonas críticas con respecto al riesgo de impacto.

40 Según una forma de realización preferida, la banda de cubierta exterior del álabe móvil está realizada con una única aleta de sellado. Esta aleta de sellado, también denominada punta de sellado, puede interactuar durante el funcionamiento con una estructura de obturación orientada radialmente hacia dentro y que descansa con respecto a la carcasa. La aleta de sellado puede penetrar parcialmente en la estructura de obturación, por ejemplo, una estructura alveolar, lo que puede dar lugar, por tanto, a una buena obturación general en dirección axial. En cuanto al efecto de sellado, la limitación a una única aleta de sellado puede suponer cierta desventaja, pero la reducción de peso asociada puede ser una ventaja debido a la menor carga en los bordes, véanse al respecto los comentarios anteriores. A modo de ejemplo, si el peso de la banda de cubierta exterior se reduce, por ejemplo, a un máximo de 7 g por álabe móvil, se puede ajustar así una tensión media estática de como máximo 150 MPa, por ejemplo, en todas las secciones del perfil de álabe.

50 Según una forma de realización preferida, la hoja de álabe móvil está provista de un material resistente a altas temperaturas. "Resistente a altas temperaturas" puede significar, por ejemplo, idoneidad para temperaturas de hasta al menos 700 °C o incluso 800 °C, en donde dicha resistencia a altas temperaturas por regla general va acompañada de una menor ductilidad. Esto da como resultado una mayor susceptibilidad a los impactos, que se contrarresta con las medidas descritas en el presente caso. A este respecto, también son posibles modificaciones de la microestructura para aumentar la ductilidad del material frágil.

55 El material resistente a altas temperaturas puede ser, en particular, aluminuro de titanio, preferiblemente, un material intermetálico de TiAl o una aleación de TiAl. En el marco de la presente invención, esto se refiere a materiales que presentan titanio y aluminio como componentes principales, así como fases intermetálicas, por ejemplo, Ti₃Al, γ-TiAl. La hoja de álabe o el álabe puede estar fabricado en particular de una aleación TNM (titanio, niobio molibdeno, por ejemplo, 43,5 at. % Al, 4 at. % Nb, 1 at. % Mo y 0,1 at. % de boro, el resto es titanio o impurezas inevitables).

60 La hoja de álabe móvil, preferiblemente, la hoja de álabe en su conjunto se puede fabricar, por ejemplo, mediante fundición, forjado y/o fabricación aditiva, así como mediante fresado del contorno final (en particular, a partir del material resistente a altas temperaturas). Además de la hoja de álabe móvil y la banda de cubierta exterior ya mencionadas, el álabe móvil puede presentar, por ejemplo, un pie de álabe móvil, que se puede montar en un disco

de rotor. El álabe móvil también se puede combinar con otro o más álabes móviles para formar un segmento múltiple integral y también puede ser parte de un *blisk*, disco integrado con álabes (*blade integrated disk*).

En una forma de realización preferida, la hoja de álabe móvil está provista de un revestimiento al menos en el borde delantero. El revestimiento puede cubrir localmente el borde delantero y, dado el caso, el borde posterior, pero la hoja de álabe móvil también puede estar completamente revestida (armadura completa).

En un diseño preferido, el revestimiento está realizado como un sistema multicapa, es decir, formado por al menos dos capas superpuestas. Puede ser ventajosa la combinación de una capa quebradiza y una capa dúctil, en donde preferiblemente el material dúctil está dispuesto en el interior y el material quebradizo encima. El material quebradizo puede romperse con el impacto, lo que consume parte de la energía del impacto. Con el material dúctil situado debajo, que preferiblemente se aplica directamente sobre la hoja de álabe móvil, se puede prevenir la formación de grietas en el material del álabe (los núcleos de las grietas se encuentran en el material quebradizo). En un diseño preferido, el material quebradizo es un material cerámico y/o el material dúctil es un material metálico.

En un diseño preferido, el álabe móvil está diseñado para un rotor de alta velocidad, en particular, de un módulo de turbina de alta velocidad. Como valores de “alta velocidad” se consideran a este respecto valores de An^2 de al menos $2000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ y, en orden de mención cada vez más preferido, de al menos $2500 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $3000 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $3500 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $4000 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $4500 \text{ m}^2/\text{s}^2$ o $5000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ (los posibles límites superiores pueden ser, por ejemplo, un máximo de $9000 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $7000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ o $6000 \text{ m}^2/\text{s}^2$).

En un álabe móvil convencional, que no está diseñado para un funcionamiento a alta velocidad, el valor An^2 puede ser, por ejemplo, de unos $1800 \text{ m}^2/\text{s}^2$. En general, esto da como resultado un valor An^2 en la superficie anular, en particular, en la salida, multiplicado por la velocidad de giro en la zona ADP al cuadrado. El punto de diseño aerodinámico (ADP) se obtiene en condiciones de crucero a altitud de crucero y se caracteriza por condiciones ideales de flujo de entrada y un grado de eficacia óptimo y, por lo tanto, por un consumo mínimo. Alternativamente, si nos referimos a la velocidad de rotación en la punta de la hoja (radialmente exterior), esta puede llegar, por ejemplo, hasta un máximo de 220 m/s para un álabe móvil convencional, pero puede ser superior a 300 m/s o incluso 400 m/s para un álabe móvil de alta velocidad.

La invención también se refiere a un módulo de turbina para un motor aeronáutico, en particular, un motor turbofán con engranajes, con un álabe móvil como el divulgado en el presente caso. A este respecto, el módulo de turbina puede diseñarse, en particular, para el funcionamiento a “alta velocidad” del álabe móvil, véanse los datos del párrafo anterior. Gracias al acoplamiento a través de la transmisión, el módulo de turbina puede girar durante el funcionamiento más rápido que el ventilador del motor aeronáutico (es decir, “a alta velocidad”). El módulo de turbina puede ser, por ejemplo, un módulo de turbina de baja presión.

Preferiblemente, el módulo de turbina puede estar diseñado de modo que la banda de cubierta exterior del álabe móvil se refrigere durante el funcionamiento con un fluido refrigerante, que no se guíe a través del propio álabe móvil. El fluido refrigerante, por ejemplo, aire del compresor puede guiarse radialmente de dentro a fuera, por ejemplo, a través de un álabe guía dispuesto aguas arriba del álabe móvil y llevarse así a la banda de cubierta exterior del álabe móvil. La reducción de temperatura asociada a la refrigeración de la banda de cubierta exterior puede ser ventajosa, por ejemplo, porque se puede reducir la posible fluencia de la banda de cubierta o la fluencia del perfil de álabe. A la inversa, esto puede aumentar las posibilidades de modificar la microestructura del material del álabe, es decir, permitir un material con una ductilidad ligeramente mayor a pesar del diseño resistente a altas temperaturas. En general, una combinación de las medidas descritas en el presente caso puede resultar ventajosa porque, en conjunto, pueden elevar una energía de impacto crítica por encima del perfil de requisitos relevante en la práctica.

La invención también se refiere al uso de un álabe móvil o de un módulo de turbina como los divulgados en el presente documento, en donde el álabe móvil rota con un valor An^2 de al menos $2000 \text{ m}^2/\text{s}^2$; al respecto se hace referencia a la información anteriormente expuesta.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, la invención se explica con más detalle por medio de un ejemplo de una realización, en donde las características individuales también pueden ser esenciales para la invención en otras combinaciones en el marco de las reivindicaciones secundarias y no se hace ninguna distinción en detalle entre las diferentes categorías de las reivindicaciones.

En detalle, muestra

la figura 1 un turborreactor de doble flujo en sección axial;

la figura 2 esquemáticamente, un álabe móvil del motor según la Figura 1 en una vista lateral;

la figura 3 el álabe móvil según la figura 2 en una vista axial;

la figura 4 la relación entre la longitud S de cuerda y el radio r ;

la figura 5 la determinación de la longitud S de cuerda en un perfil de sección transversal.

Realización preferida de la invención

La **figura 1** muestra una turbomáquina 1, en una vista esquemática, concretamente, un turborreactor de doble flujo. La turbomáquina 1 se subdivide funcionalmente en compresor 1a, cámara 1b de combustión y turbina 1c, esta última presenta un módulo 1ca de turbina de alta presión y un módulo 1cb de turbina de baja presión. A este respecto, tanto el compresor 1a como la turbina 1c en cada caso están formados por varias etapas, cada etapa se compone de una corona de álabe guía y álabe móvil. En función del flujo alrededor del canal 2 de gas, cada etapa está dispuesta aguas abajo de la corona de álabe móvil y álabe guía. Durante el funcionamiento, los álabes móviles rotan alrededor del eje 3 longitudinal. El ventilador 4 está acoplado a través de una transmisión 5, las coronas de álabes móviles del módulo 1cb de turbina de baja presión rotan más rápido que el ventilador 4 durante el funcionamiento.

La **Figura 2** muestra en una vista lateral esquemática un álabe 20 móvil, concretamente, un álabe 20 móvil de una corona de álabes móviles de la turbina 1c, concretamente, del módulo 1cb de turbina de baja presión. El álabe móvil presenta un pie 21 de álabe, que en el presente caso no es relevante en detalle y una plataforma 22 interior situada radialmente en el exterior. La hoja 23 de álabe se extiende radialmente hacia fuera desde la plataforma 22 interior. En el extremo radialmente exterior de la hoja 23 de álabe está dispuesta una banda 24 de cubierta exterior, que presenta exactamente una aleta 24.1 de sellado. Esto es una ventaja en términos de peso y, por tanto, de carga en los bordes; véanse a este respecto los detalles en la introducción a la descripción.

En relación con el flujo alrededor del canal de gas caliente, la hoja 23 de álabe presenta un borde 23a delantero, un borde 23b posterior y dos superficies 23c,d laterales, que conectan en cada caso el borde 23a delantero y el borde 23b posterior entre sí. Una de las superficies 23c,d laterales forma el lado de succión del álabe 20 móvil; la otra, el lado de presión. En el borde 23a delantero, el álabe 20 móvil está provisto de un revestimiento 25 para proteger contra daños por impacto, que se compone de una capa metálica y una capa cerámica dispuesta sobre ella (las capas no se muestran en detalle). En la representación según la figura 2, también se puede ver que la longitud S de cuerda mostrada esquemáticamente disminuye radialmente hacia fuera desde una posición r_x radial, lo que también reduce la carga en los bordes. Desde la posición r_x radial hacia el interior, la longitud S de cuerda permanece constante o incluso disminuye ligeramente, véase la figura 4.

La **figura 3** muestra esquemáticamente la hoja 23 de álabe móvil en una vista axial, que ilustra la inclinación de la hoja 23 de álabe móvil. En la representación, a la izquierda de la hoja 23 de álabe móvil está su lado 41 de succión y a la derecha está el lado 42 de presión. La hoja 23 de álabe móvil está inclinada hacia el lado 41 de succión, concretamente, de manera radialmente central, con respecto a la altura 45 de la hoja de álabe móvil. La inclinación es menor radialmente interior y exterior; la hoja 23 de álabe móvil también puede penetrar en el cubo o en la carcasa sin ninguna inclinación. La inclinación hacia el lado 41 de succión se ajusta a este respecto de tal modo, que el momento 48 flector de fuerza centrífuga que actúa sobre la hoja 23 de álabe móvil durante el funcionamiento sea mayor que el momento 49 flector de fuerza de gas. De este modo, se dobla la hoja 23 de álabe móvil hacia el lado 42 de presión, lo que reduce la carga en ese punto y, con ello, la posibilidad de impacto sobre el borde 23a delantero, véase también la introducción a la descripción.

La **figura 4** ilustra la relación entre la longitud S de cuerda y el radio r, indicada como porcentaje de la altura radial de la hoja de álabe móvil. Radialmente interior, la hoja de álabe tiene la longitud S; de cuerda; radialmente exterior tiene la longitud S_a de cuerda. En una posición r_x radial entremedias tiene la longitud S_x de cuerda (que en el presente caso representa un máximo). La posición r_x radial se sitúa entre el 20 % y el 50 % de la altura radial de la hoja de álabe móvil.

En la sección 46 radialmente exterior, es decir, desde la posición r_x radial radialmente hacia fuera, la longitud S de cuerda disminuye. Esto reduce la carga en los bordes y, por tanto, aumenta la tolerancia al impacto en esta zona. Radialmente exterior, la longitud S_a de cuerda es de 0,7 a 0,9 veces la longitud S_x de cuerda.

En la sección 47 radialmente interior, la longitud S de cuerda no disminuye radialmente hacia fuera. Esta puede ser constante (no se muestra) o, como se muestra en la figura 4, incluso aumentar ligeramente hacia fuera, es decir, disminuir desde la posición r_x radial hacia el interior. La longitud S; de cuerda radialmente en el interior es de 0,9 a 1 veces la longitud S_x de cuerda. Los inventores han descubierto que en general no hay pérdida de robustez; véase la introducción a la descripción detalladamente. Por otra parte, la limitación radial de las longitudes de cuerda en el interior permite obtener una estructura axialmente más compacta, lo que puede resultar ventajoso, por ejemplo, en términos de peso y eficiencia.

La **figura 5** ilustra la hoja 23 de álabe en una sección tangencial. La longitud S de cuerda se toma a lo largo de una tangente 50 de conexión, que se encuentra en el lado de presión del perfil y que presenta un punto 51.1 de contacto axialmente delantero y un punto 51.2 de contacto axialmente trasero. La longitud S de cuerda se toma así entre otras dos tangentes 52.1, 52.2, que son en cada caso perpendiculares a la tangente 50 de conexión, en donde la tangente 52.1 tiene un punto 53.1 de contacto axialmente delantero y la tangente 52.2, un punto 53.2 de contacto axialmente posterior.

Lista de referencias

	Turbomáquina	1
5	Compresor	1 ^a
	Cámara de combustión	1b
	Turbina	1c
10	Módulo de turbina de alta presión	1ca
	Módulo de turbina de baja presión	1cb
15	Canal de gas	2
	Eje longitudinal	3
	Ventilador	4
20	Transmisión	5
	Álabe móvil	20
25	Pie de álabe	21
	Plataforma interior	22
	Hoja de álabe	23
30	Borde delantero	23 a
	Borde posterior	23b
35	Superficies laterales	23c,d
	Banda de cubierta exterior	24
	Aleta de sellado	24.1
40	Revestimiento	25
	Longitud de cuerda	26
45	Superficie de perfil	27
	Lado de succión	41
	Lado de presión	42
50	Altura de hoja de álabe móvil	45
	Sección exterior	46
55	Sección interior	47
	Momento flector de fuerza centrífuga	48
	Momento flector de fuerza de gas	49
60	Tangente de conexión	50
	Punto de contacto delantero	51.1
65	Punto de contacto posterior	51.2

Otras tangentes	52.1, 52.2
Puntos de contacto	53.1, 53.2

REIVINDICACIONES

1. Álabes (20) móviles para disponer en un canal (3) de gas de una turbomáquina (1), con una hoja (23) de álabes móviles, que
 5 tiene una longitud S_i de cuerda radialmente interior,
 una longitud S_a de cuerda radialmente exterior y,
 10 en una posición r_x radial, tiene entremedias una longitud S_x de cuerda,
 en donde la longitud S_x de cuerda en la posición radial r_x es al menos tan grande como la longitud S_i de cuerda radialmente interior ($S_i \leq S_x$),
 15 **caracterizado por que** la longitud S_a de cuerda radialmente exterior corresponde como máximo a 0,9 veces la longitud S_x de cuerda en la posición r_x radial entremedias ($S_a \leq 0,9 S_x$),
 en donde un recorrido radial de la longitud $S(r)$ de cuerda desde la posición r_x radial radialmente hacia dentro muestra una disminución monótona de S_x a S_i , y en donde la longitud S_i de cuerda radialmente interior corresponde al menos a 0,9 veces la longitud S_x de cuerda radialmente entremedias ($S_i \geq 0,9 S_x$).
 20
2. Álabes (20) móviles según la reivindicación 1, en la que la posición r_x radial con la longitud S_x de cuerda en relación con una altura (45) de hoja de álabes móviles tomada desde radialmente dentro hasta radialmente fuera, es de al menos el 20 % y como máximo el 50 % de la altura (45) de hoja de álabes móviles.
 25
3. Álabes (20) móviles según una de las reivindicaciones anteriores, en la que la longitud S_a de cuerda radialmente exterior es al menos 0,7 veces la longitud S_x de cuerda radialmente entremedias ($S_a \geq 0,7 S_x$).
 30
4. Álabes (20) móviles según una de las reivindicaciones anteriores, en la que un recorrido radial de la longitud $S(r)$ de cuerda desde la posición r_x radial radialmente hacia fuera muestra una disminución monótona de S_x a S_a .
 35
5. Álabes (20) móviles según la reivindicación 4, en la que la disminución monótona de S_x a S_a es estrictamente monótona y sigue una gradiente constante.
 40
6. Álabes (20) móviles según la reivindicación 4, en la que la disminución monótona de S_x a S_a es estrictamente monótona y sigue una gradiente creciente desde la posición r_x radial radialmente hacia fuera.
 45
7. Álabes (20) móviles según una de las reivindicaciones anteriores, en la que la disminución monótona de S_x a S_i es estrictamente monótona y sigue una gradiente constante.
 50
8. Álabes (20) móviles según una de las reivindicaciones 1 a 6, en la que la disminución monótona de S_x a S_i es estrictamente monótona y sigue una gradiente creciente desde la posición r_x radial radialmente hacia el interior.
 55
9. Álabes (20) móviles según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la hoja (23) de álabes móviles está dotada al menos por secciones de una inclinación hacia su lado (41) de succión, en relación con su altura (45) radial de álabes móviles, en donde la inclinación se ajusta de manera que, durante el funcionamiento en el punto de diseño aerodinámico (ADP en sus siglas en inglés), un momento (48) flector de fuerza centrífuga, que genera la fuerza centrífuga sobre la hoja (23) de álabes móviles como resultado de la inclinación, sea mayor que un momento (49) flector de la fuerza del gas que actúa como resultado del flujo alrededor de la hoja (23) de álabes móviles sobre la hoja (23) de álabes móviles.
 60
10. Álabes (20) móviles según una de las reivindicaciones anteriores, que presenta una banda (24) de cubierta exterior dispuesta radialmente fuera en la hoja (23) de álabes móviles, en donde radialmente fuera se dispone una única aleta (24.1) de sellado en la banda (24) de cubierta exterior.
 65
11. Álabes (20) móviles según una de las reivindicaciones anteriores, en donde al menos la hoja (23) de álabes móviles está fabricada de un material resistente a altas temperaturas.
12. Álabes (20) móviles según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la hoja (23) de álabes móviles está provista de un revestimiento (25) al menos en el borde (23a) de ataque.
13. Álabes (20) móviles según una de las reivindicaciones anteriores, que está diseñada para un rotor de alta velocidad con un valor An^2 de al menos $2000 \text{ m}^2/\text{s}^2$, cuando funciona en el punto de diseño aerodinámico (ADP).
14. Módulo (1ca, cb) de turbina para un motor aeronáutico, en particular, un motor turbofán con engranajes, con un álabes (20) móvil según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el módulo (1ca, cb) de

turbina está diseñado para alimentar a una banda (24) de cubierta exterior del álabe (20) móvil un fluido refrigerante, en donde el fluido refrigerante se alimenta desde el exterior del álabe (20) móvil.

- 5 15. Uso de un álabe (20) móvil según una de las reivindicaciones 1 a 13 o de un módulo (1ca, cb) de turbina según la reivindicación 14, uso en el que el álabe (20) móvil durante un funcionamiento en el punto de diseño aerodinámico (ADP) rota con un valor An^2 de al menos $2000 \text{ m}^2/\text{s}^2$.

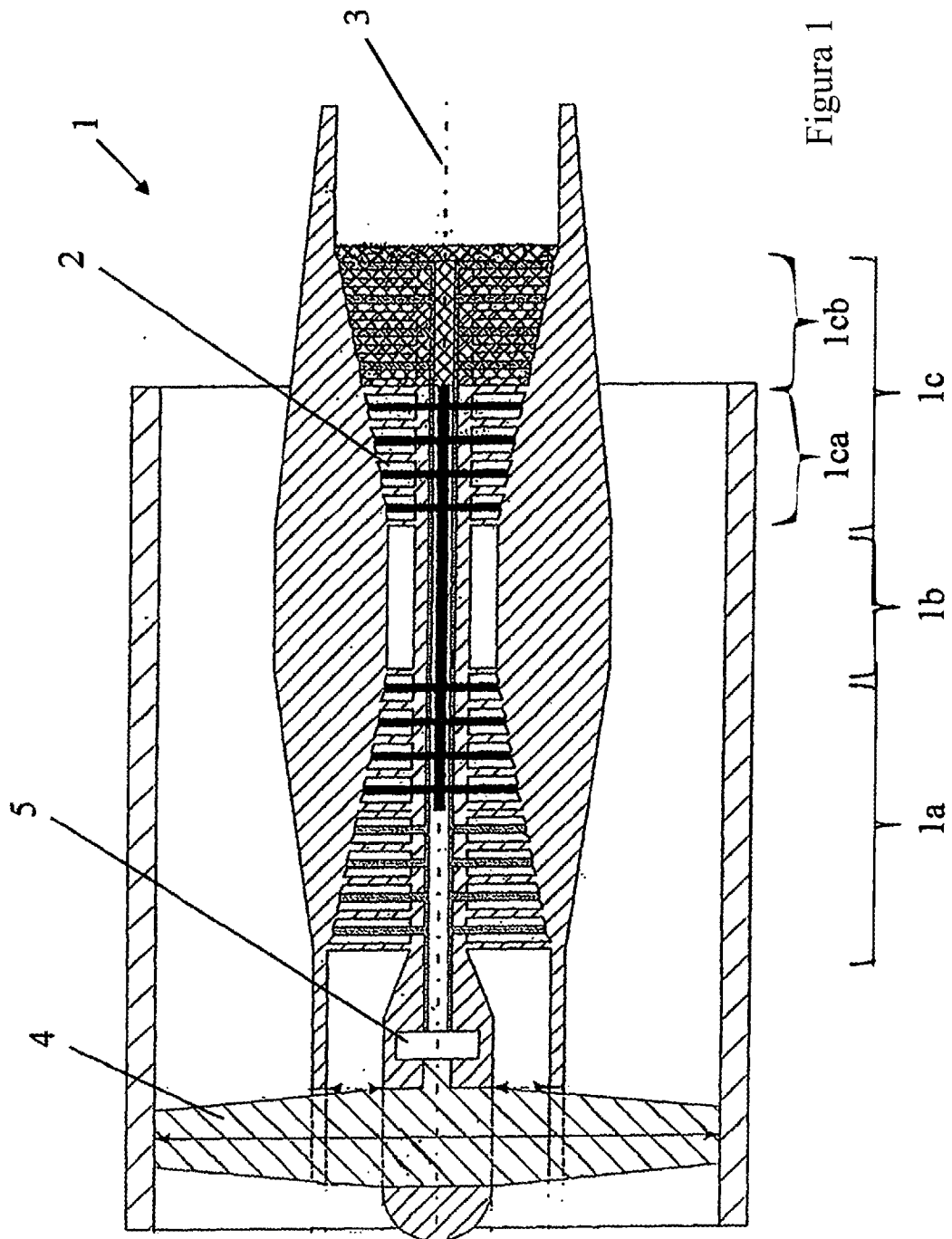


Figura 1

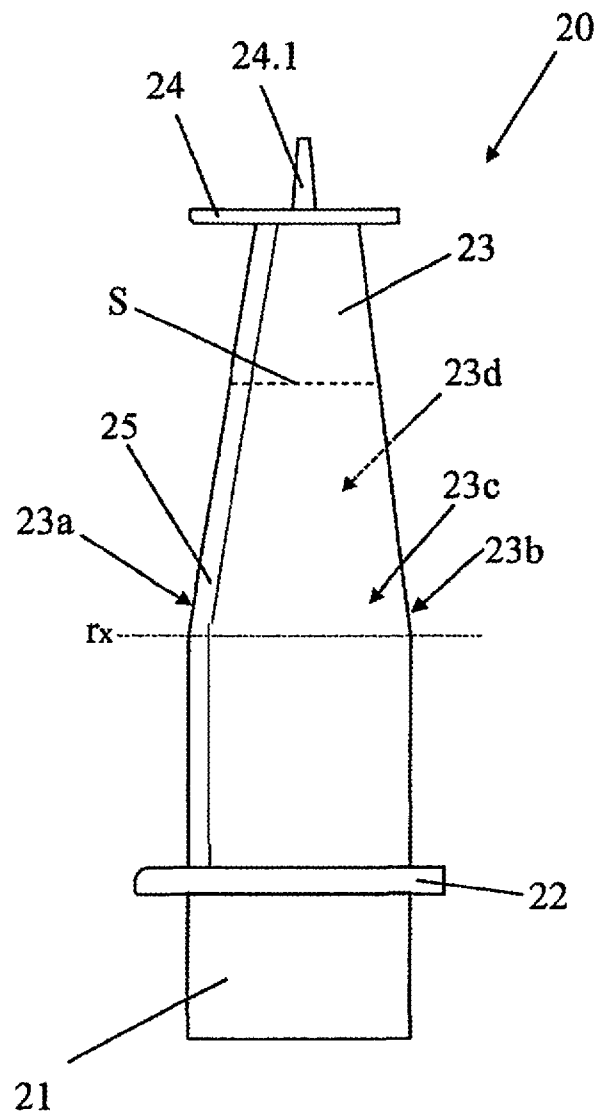


Figura 2

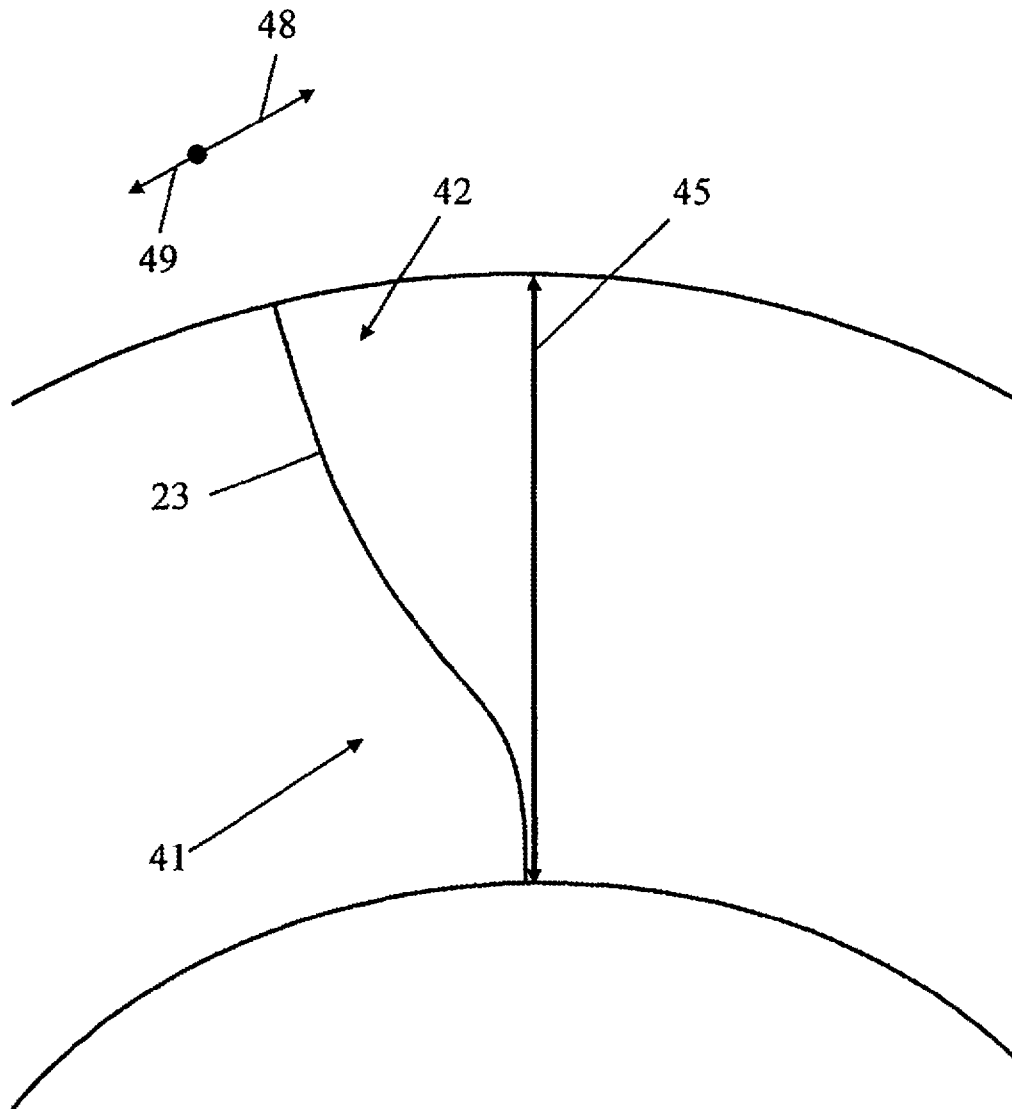


Figura 3

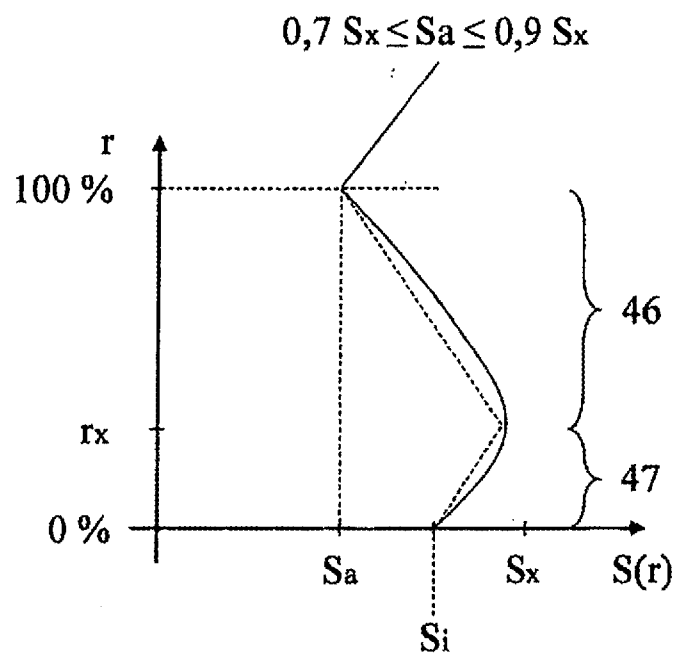


Figura 4

$$0,9 S_x \leq S_i \leq S_x$$

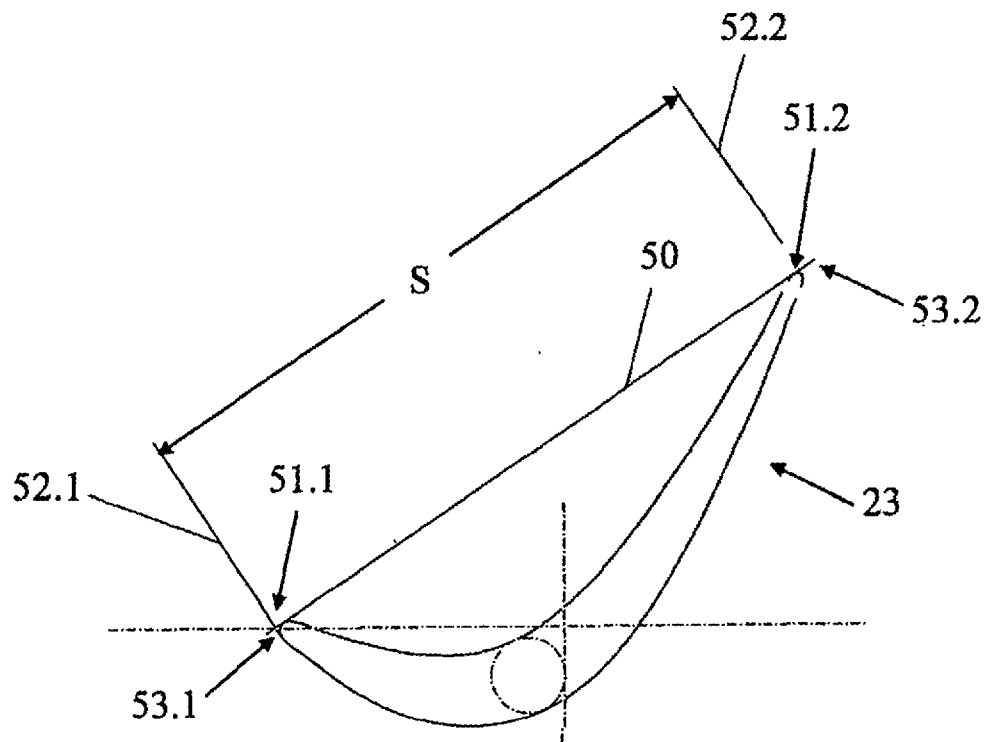


Figura 5