(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 796 526**

(51) Int. Cl.:
F01D 5/14 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.11.2010** **E 10193067 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2020** **EP 2458149**

(54) Título: **Sistema de paletas para un motor de avión**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.11.2020

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

HÜBNER, NORBERT

(74) Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 796 526 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

Sistema de paletas para un motor de avión

La invención se refiere a un sistema de paletas para una turbina de gas de un motor de avión, de acuerdo con el concepto general de la reivindicación 1.

Al diseñar las paletas de turbina para los motores de avión, hay que tener en cuenta varios requisitos concurrentes. En particular, se debe lograr un alto grado de eficiencia con un bajo peso y una baja emisión de ruido. Los más diferentes parámetros del sistema de paletas a menudo se influyen mutuamente de manera no muy lineal, de modo que una optimización correspondiente resulta difícil desde el punto de vista analítico.

La patente europea núm. EP 0 937 862 A2 describe una red de paletas para una turbina de gas de flujo axial. La publicación muestra una relación de paso, que alcanza al menos 1,0.

La patente de los Estados Unidos núm. US 5,480,285 se refiere a palas del rotor para turbinas de vapor.

El objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de paletas mejorado.

Este objetivo se logra con un sistema de paletas que tiene las características de la reivindicación 1. Las mejoras ventajosas son objeto de las reivindicaciones dependientes.

En el sentido de la presente invención, se entiende por sistema de paletas, en particular, una disposición de palas del rotor y/o una disposición de paletas guía, en particular de una o más etapas. El sistema de paletas de acuerdo con la invención es adecuado en particular para las turbinas de gas de alta velocidad, en especial las turbinas de gas de baja presión de alta velocidad, en los motores de avión. En una modalidad preferida, el motor de un avión tiene un sistema de paletas de acuerdo con la invención.

Algunas o todas las paletas del sistema de paletas, es decir, en particular algunas o todas las paletas guía y/o palas del rotor de una o más etapas, tienen una relación de paso en una sección cercana a la punta que es de al menos 0,70 y en particular de al menos 0,9.

En esta descripción, una sección cercana a la punta se define en particular como una sección que se encuentra cerca de las puntas de las paletas, es decir, radialmente hacia afuera, o que forma la punta de la paleta como una sección TIP. Una sección cercana a la raíz de la paleta se define como una sección que está situada cercana a la raíz de la paleta, es decir, radialmente hacia adentro, o que define la raíz de la paleta. En particular, para los propósitos de la presente invención, una sección que se encuentra radialmente por encima de un centro de una altura de la paleta radial, y preferentemente una sección en el área entre 95 % y 100 % de la altura de la paleta, se denomina sección cercana a la punta, en correspondencia, una sección que se encuentra radialmente por debajo de este centro de altura de la paleta y preferentemente en el área entre 0 % y 5 % de la altura de la paleta, se denomina sección cercana a la raíz. Tanto en el caso de las palas del rotor como en el de las paletas guía, una sección cercana a la punta está en correspondencia más lejos radialmente del eje de rotación del rotor de la turbina que el centro de la altura de las paletas, que a su vez está radialmente más lejos del eje de rotación que una sección cercana a la raíz. Una sección en el sentido de la presente invención puede, en particular, estar a una altura radialmente constante o a lo largo de una línea de flujo, es decir, en el caso de canales de flujo convergentes o divergentes, puede correr radialmente hacia adentro o hacia afuera. En esta descripción, se denomina raíz de la paleta en particular el límite inferior de la paleta, la llamada plataforma, mientras no se tiene en cuenta un área de fijación posiblemente adyacente, que en ocasiones también es llamada raíz de la paleta, debido a que la presente invención trata de una optimización de la hoja de la paleta y del flujo influenciado de esta forma.

Por relación de paso se entiende usualmente en la técnica en particular el cociente del paso de una paleta, es decir, la distancia entre dos paletas en dirección circunferencial, dividida por la longitud de las cuerdas de las paletas entre los bordes anterior y posterior de la paleta.

La relación de paso en una sección cercana a la punta de algunas o todas las paletas del sistema de paletas, es decir, en particular algunas o todas las paletas guía y/o palas del rotor de una o más etapas, es como máximo de 0,97, en particular como máximo de 0,95. Estos límites superiores e inferiores preferidos para la relación de paso, junto con los parámetros relacionados con la invención que se explican a continuación, dan como resultado unos sistemas de paletas particularmente ligeros y/o de bajo ruido con alta eficiencia para los motores de avión.

De acuerdo con la presente invención, un ángulo de salida de algunas o todas las paletas del sistema de paletas, es decir, en particular algunas o todas las paletas guía y/o palas del rotor de una o más etapas, es como máximo de 167°, preferentemente como máximo de 165°, y como mínimo de 155°, preferentemente como mínimo de 160°.

El ángulo de salida suele entenderse como el mayor de los dos ángulos complementarios entre la velocidad teórica de salida o la tangente en el lado de succión o de presión en el borde de salida de la paleta, por un lado, y la circunferencia de los sistemas de paletas o un plano normal al eje de rotación de la turbina por el otro. Los límites superior e inferior de

acuerdo con la invención se refieren a la cantidad del ángulo de salida, es decir, sin tener en cuenta la orientación entre la dirección de rotación y la dirección de salida.

Si se resta 90° del ángulo de salida especificado de acuerdo con la invención, se obtiene el ángulo entre la velocidad teórica de salida o la tangente en el lado de succión o de presión en el borde de salida de la paleta por un lado y el eje de rotación de la turbina por el otro, que también se define ocasionalmente como ángulo de salida. De acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, este ángulo de salida definido de forma diferente es, en consecuencia, como máximo 77°, preferentemente como máximo 75°, y como mínimo 65°, preferentemente como mínimo 70°.

De acuerdo con la presente invención, una relación de aceleración es al menos 1,4 y en particular al menos 1,5. La relación de aceleración se entiende usualmente en la técnica como el cociente de la cantidad de la velocidad teórica de salida dividida por la cantidad de la velocidad teórica de entrada. Se puede estimar, por ejemplo, a partir de la condición de continuidad de masa para las secciones transversales de los conductos entre paletas adyacentes entre la entrada y la salida del conducto, es decir, la sección transversal más estrecha del conducto.

La relación de aceleración puede ser constante a lo largo de la altura radial de la paleta. Sin embargo, en una modalidad preferida, es al menos 1,4, en particular al menos 1,5, en una sección cercana a la raíz o en el cubo y es mayor en una sección cercana a la punta que en esta sección cercana a la raíz, aumenta en particular en la dirección hacia una sección cercana a la punta, preferentemente por un factor mayor o igual a 2.

La velocidad teórica de entrada o de salida resulta de la geometría de las paletas y de las condiciones límite reotécnicas, en particular de los puntos de funcionamiento de diseño, normales o de referencia. La velocidad teórica de entrada o de salida puede ser la velocidad vectorial, incluido un componente radial, o solo el componente axial y circunferencial de un flujo tridimensional, es decir, la velocidad teórica de entrada o de salida puede tener dos componentes (dirección axial, circunferencial) o tres componentes (dirección radial, axial y circunferencial).

Mediante la combinación de parámetros de acuerdo con la invención de los límites superior e inferior de la relación de paso, del ángulo de salida y de la relación de aceleración, se puede proporcionar un sistema de paletas igualmente ligero y/o de bajo ruido con alta eficiencia, especialmente en una (etapa de) turbina de alta velocidad y baja presión.

En una modalidad preferida, algunas o todas las palas del rotor de una o más etapas tienen un grosor máximo de perfil en una sección cercana a la punta que es como máximo de 2,5 mm y preferentemente como máximo de 2 mm si estas palas del rotor se construyen como palas sólidas. En el caso de las palas huecas, el grosor máximo del perfil en una sección cercana a la punta es preferentemente de al menos 4,5 mm y preferentemente de al menos 4 mm. Así pues, si se proporciona una resistencia suficiente, teniendo en cuenta la capacidad de carga del material de la paleta en función de la temperatura del material, se puede lograr un sistema de paletas ligero.

Preferentemente, algunas o todas las paletas guía de una o más etapas en una sección cercana a la punta tienen un grosor máximo de perfil de 10 mm como máximo y preferentemente de 9 mm como máximo. Ventajosamente, las paletas guía están diseñadas como paletas sólidas. La limitación del grosor máximo del perfil tiene en cuenta la fatiga térmica.

En una modalidad preferida, algunas o todas las palas del rotor de una o más etapas tienen al menos una punta de sellado, preferentemente dos o más puntas de sellado cada una. Resulta ventajoso colocar un revestimiento tope en la carcasa de la turbina, radialmente opuesto a las puntas.

Preferentemente, el grado de reacción de un sistema de paletas de acuerdo con la invención es al menos 0,35 y preferentemente al menos 0,4. Además o alternativamente, el grado de reacción es a lo sumo 0,6 y preferentemente a lo sumo 0,55. El grado de reacción puede definirse de la manera habitual, en particular la relación entre la entalpía convertida en energía de flujo y el trabajo mecánico en las palas del rotor de una etapa de turbina y el total, en particular la caída de la entalpía isoentrópica de la etapa de turbina. De forma similar, el grado de reacción en el sentido de la presente invención puede ser definido por el llamado grado de reacción de presión, que indica la proporción del trabajo de flujo específico en el rotor con respecto al trabajo de flujo específico entre la entrada y la salida de la etapa. En dependencia de la aproximación de un polítrópico o isotrópico e isobárico al cambio de estado estático, éste puede ser, en particular, el grado de reacción de la presión politrópica o isotrópica. Preferentemente, el grado de reacción se forma con las presiones estáticas y resulta como un cociente de la diferencia de la presión estática en la red de palas del rotor dividida por la diferencia de la presión estática en toda la etapa de la red de paletas guía y la red de palas del rotor.

En una modalidad preferida, las secciones del perfil se enroscan radialmente sobre el centro de gravedad, lo que da como resultado un sistema de paletas favorable en términos de diseño, de flujo y de mecánica estructural. Un ligero desplazamiento axial de las secciones de perfil, es decir, una paleta ligeramente inclinada axialmente, se entiende también como roscada radialmente sobre el centro de gravedad en el sentido de la presente invención.

Preferentemente una línea de flujo de punto muerto teórico en el área del radio del borde delantero se encuentra con el perfil de la paleta. La línea de flujo del punto muerto teórico se define en particular por la línea de flujo que termina en el punto muerto en un flujo de diseño teórico.

En una modalidad preferida, la frecuencia de rotación de las paletas del sistema de paletas en uno o más puntos de funcionamiento del ruido es de al menos 6000 Hz, en particular de al menos 6300 Hz. La velocidad nominal en un punto de funcionamiento del ruido y la frecuencia mínima de rotación dan como resultado el número mínimo de paletas necesarias para esa modalidad preferida. Un punto de funcionamiento del ruido para un motor de avión se puede definir de la forma usual en la técnica y, en particular, se puede especificar una altitud de vuelo, la velocidad y similares.

Otras características y ventajas resultan de las reivindicaciones dependientes y del ejemplo de modalidad. Para ello se muestra, en parte esquematizado:
En la Figura 1 una parte de una sección axial de un sistema de paletas de acuerdo con una modalidad de la presente invención;
En la Figura 2 una parte de la ejecución de las secciones de una pala del rotor de un sistema de paletas de acuerdo con una modalidad de la presente invención; y
En la Figura 3 una parte de la ejecución de las secciones de las paletas guía de un sistema de paletas de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

La Figura 1 muestra, en una sección axial a través de un eje de rotación indicado por líneas discontinuas, una parte de una paleta de rotor 10 con dos puntas de sellado 11, opuestas a un revestimiento de la carcasa de la turbina G, y una parte de una paleta guía 20 anterior. Se trata de una turbina de alta velocidad y baja presión de un motor de avión del que no se muestra nada más.

Las Figuras 2, 3 muestran una ejecución de secciones de palas del rotor (Figura 2) o paletas de guía (Figura 3) en dirección circunferencial. De nuevo la línea discontinua indica el eje de rotación de la turbina, la dirección circunferencial es correspondientemente vertical en las Figuras 2, 3.

En la Figura 2, se muestra el paso t, es decir, la distancia entre paletas adyacentes en la dirección circunferencial, la longitud de cuerda 1 entre el borde anterior y posterior de la paleta, así como el grosor máximo del perfil $d_{máx}$ tomando como ejemplo las paletas guía 20, en la Figura 3, se indican la velocidad teórica de entrada w_1, la velocidad de salida w_2 así como el ángulo de salida definido por ellas contra la dirección circunferencial tomando como ejemplo las palas del rotor 10. También puede tratare una sección cercana a la punta, especialmente una sección TIP (arriba en la Figura 1), o una sección cerca de la raíz.

En el ejemplo modalidad, las paletas guía y las palas del rotor 10, 20 tienen una relación de paso t/l de 0,92 en una sección cercana a la punta. El ángulo de salida α es como máximo de 162°, el grosor máximo del perfil $d_{máx}$ de las palas del rotor 10 es de dos milímetros, el de las paletas guía 20 nueve milímetros.

La relación de aceleración w_2/w_1 es de 1,5 en una sección cercana a la raíz y aumenta radialmente hacia la sección cercana a la punta antes mencionada.

El grado de reacción del sistema de paletas por encima de la altura de la paleta es de 0,5. Las secciones del perfil de las palas del rotor se enroscan radialmente por encima del centro de gravedad (no mostrado).

Lista de referencia de los dibujos

10 Pala del rotor
11 Punta de sellado
20 Paleta guía
G Carcasa
l Longitud de la cuerda
t Paso de paleta
w Velocidad del flujo
α Ángulo de salida

REIVINDICACIONES

1. Sistema de paletas (10; 20) para una turbina de gas de un motor de avión, en donde las paletas del sistema de paletas tienen una relación de paso (t/l) en una sección cercana a la punta que es al menos 0,70, en particular al menos 0,9, **caracterizado porque** la relación de paso (t/l) es como máximo 0,97, en particular como máximo 0,95, porque el ángulo de salida (α) es como máximo 167°, en particular como máximo 165°, y como mínimo 155°, en particular como mínimo 160°; y porque la relación de aceleración (w_2/ w_1) es como mínimo 1,4, en particular como mínimo 1,5.

2. Sistema de paletas de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** las palas del rotor (10) del sistema de paletas están diseñadas como palas sólidas y tienen un grosor máximo de perfil ($d_{máx}$) como máximo 2,5 mm, en particular como máximo 2 mm, en una sección cercana a la punta, o están diseñadas como palas huecas y tienen un grosor máximo de perfil ($d_{máx}$) de al menos 4,5 mm, en particular de al menos 4 mm, en una sección cercana a la punta.

3. Sistema de paletas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** las paletas guía (20) del sistema de paletas tienen un grosor de perfil máximo ($d_{máx}$) de como máximo 10 mm, en particular como máximo 9 mm, en una sección cercana a la punta.

4. Sistema de paletas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** una relación de aceleración (w_2/ w_1) es al menos 1,4, en particular al menos 1,5, en una sección cercana a la base, y es mayor en una sección cercana a la punta que en esta sección cercana a la raíz.

5. Sistema de paletas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** las palas del rotor (10) del sistema de paletas tienen cada una al menos una, en particular dos o más, puntas de sellado (11).

6. Sistema de paletas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** su grado de reacción es de al menos 0,35, en particular de al menos 0,4, y/o como máximo 0,6, en particular como máximo 0,55.

7. Sistema de paletas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** las secciones del perfil se enroscan radialmente sobre el centro de gravedad.

8. Sistema de paletas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** una línea de flujo de punto muerto en el borde delantero de la paleta se une al perfil de la paleta en área del radio del borde delantero.

9. Sistema de paletas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la frecuencia de rotación de las palas del rotor (10) del sistema de paletas en un punto de funcionamiento del ruido es de al menos 6000 Hz, en particular de al menos 6300 Hz.

10. Motor de avión que comprende el sistema de paletas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** las paletas se disponen en una turbina de alta velocidad y baja presión.

Fig. 1

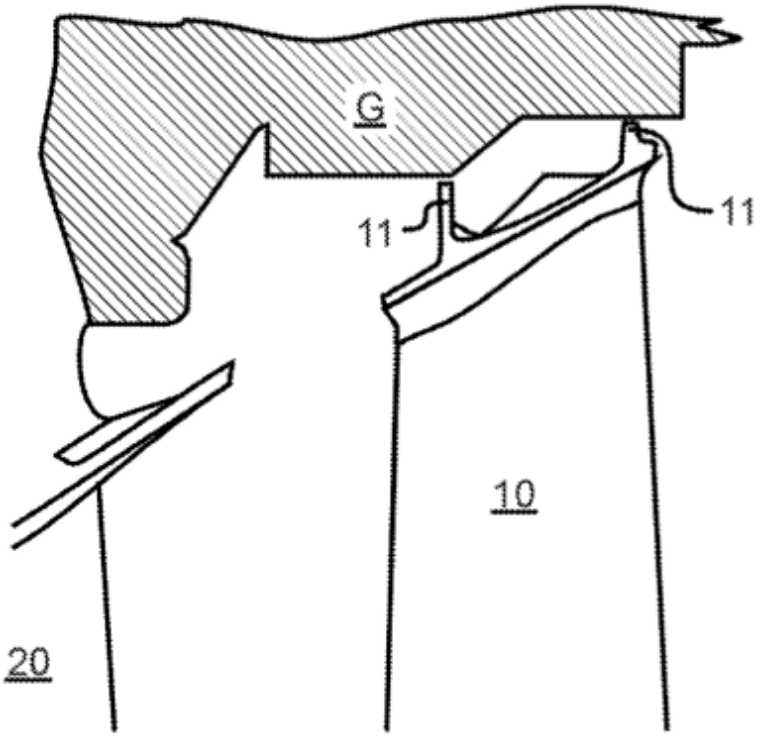

Fig. 2

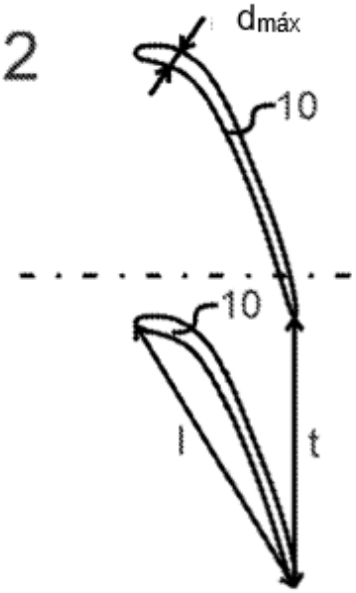
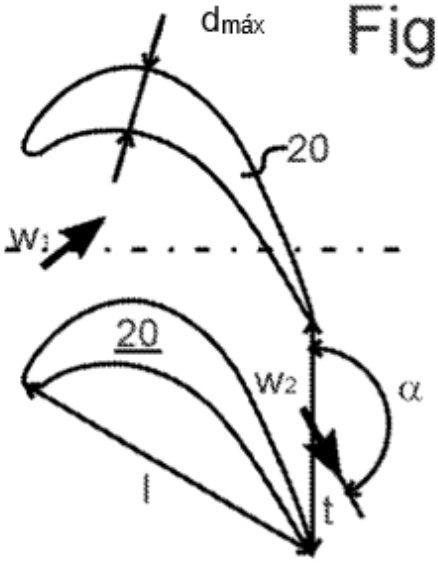
Fig. 3