

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 551 171**

51 Int. Cl.:

F01D 5/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.05.2011 E 11752087 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.09.2015 EP 2576987**

54 Título: **Álabe de una turbomáquina con control pasivo de la capa límite**

30 Prioridad:

28.05.2010 DE 102010021925

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

16.11.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HÜBNER, NORBERT y
FRANKE, MATTHIAS**

74 Agente/Representante:

COBO DE LA TORRE, María Victoria

ES 2 551 171 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 de una turbomáquina con control pasivo de la capa límite

5 (0001) La invención hace referencia a un álabe de una turbomáquina con control pasivo de la capa límite según el concepto general de la reivindicación 1ª, como se conoce por el documento EP 0 132 638 A2.

(0002) Álabas con control pasivo de la capa límite son empleados, por ejemplo, en rotores de turbinas de baja presión de un motor de aviación para el aumento de la eficiencia. La capa límite forma la zona de transición entre el flujo exterior prácticamente sin fricción del fluido y de la superficie de álabe, en la que la fricción del fluido a lo largo de la superficie determina un perfil de velocidad vertical respecto a la superficie. Para pequeños números de Reynolds es laminar y para suficientemente grandes números de Reynolds es turbulenta, aumentando su espesor en dirección del flujo. La transición de la capa límite laminar en la capa límite turbulenta se denomina zona de transición y depende de diversas magnitudes influyentes como de la rugosidad de la superficie, defectos de la velocidad o de la presión del flujo exterior, así como del número de Reynolds local. En la zona de transición, que se muestra en la Fig. 1, se encuentra corriente abajo de un punto estrecho del canal (2) entre dos álaves contiguos u hojas de álaves (4, 6), se forma una burbuja de separación (8), que conlleva que la corriente directa (10) de la superficie del álabe (12) no pueda continuar. Con un número de Reynolds que disminuye, crece la separación en su longitud y espesor cada vez más, hasta que se extiende corriente abajo sobre un borde posterior de perfil o un borde de separación (14), de manera que las partículas de fluido del contorno de perfil no pueden continuar. La corriente se separa. Esto conlleva pérdidas notablemente mayores y varía el ángulo de separación de la cascada. Esto conlleva en una unión de cascada, por ejemplo, en una turbina de varios escalones que haya flujos defectuosos, y con ello, se causen más pérdidas en las cascadas que están corriente abajo.

25 (0003) Del documento EP 2 019 186 A1 es conocido un álabe con un control pasivo de la capa límite en el lado de la succión. Con ello, el control pasivo de la capa límite está configurado como un escalón sobresaliente hacia el exterior, que está dispuesto corriente arriba del máximo de la velocidad.

(0004) Para controlar el comportamiento de separación de la corriente a lo largo de un perfil y la pérdida de perfil positiva, en el estado de la técnica se emplean distintas propuestas de solución para la disposición de turbuladores fijos, o bien, variaciones de contorno, mediante las cuales la capa límite laminar debe cambiar en una capa límite turbulenta corriente arriba en el perfil, de manera que la capa límite sea más rica en energía y que el contorno de perfil pueda continuar con más facilidad. Dos ejemplos de semejantes turbuladores están representados en la Figura 2 adjunta. Según la misma existe la posibilidad de conformar un turbulador mediante un borde de obstáculo (16) lineal en el lado de la succión del perfil (12) o mediante un escalón de retroceso (18) lineal en el lado de la succión del perfil (12), para enriquecer la capa límite (10) de una energía adicional. Igualmente, según el documento EP 0 132 638 A1 es conocido que el borde de obstáculo se perfila en una superficie tangencial respecto al lado de la succión del perfil en forma de dientes de sierra. Además, del documento EP 1 081 332 A1 es conocido que la rugosidad de la superficie del lado de la succión del perfil se aumente parcialmente en una zona de la superficie. También, en el documento DE 10 2008 033 861 A1 de la solicitante se muestra que en el lado de la succión del perfil en una zona se dispone un contorno de onda que se extiende en dirección de la corriente. Con ello, es desventajoso que la posición del turbulador respectivo esté sólo optimizada para una zona de funcionamiento estrecha. Por ejemplo, el borde de obstáculo lineal habitualmente se dispone con una distancia del borde delantero de perfil, que corresponde a un 75% de una longitud de cuerda axial del perfil. En el documento DE 10 2008 033 861 A1 se propone, en cambio, conformar el contorno de onda en una distancia del borde delantero de perfil, que corresponde al 40% hasta el 90% de la longitud de cuerda axial. En el documento EP 1 081 332 A1 se propone, en cambio, el disponer la rugosidad de la superficie en una distancia del borde delantero de perfil que corresponde al 70% hasta el 80% de la longitud de cuerda, lo cual, sin embargo, no se puede convertir a la longitud de cuerda axial sin conocimiento del perfil.

50 (0005) La invención presente tiene el objetivo de conseguir un álabe de una turbomáquina con un control pasivo de la capa límite, que elimine las desventajas anteriormente descritas y que presente una posición óptima de una variante de contorno.

55 (0006) Este objetivo se cumple mediante un álabe con las características de la reivindicación 1ª de la patente.

(0007) Un álabe conforme a la invención de una turbomáquina, especialmente, un álabe de turbina de un motor de avión, para desviar una corriente tiene un borde delantero de perfil, un borde trasero de perfil y un lado de succión del perfil y un lado de la presión del perfil que se extiende entre el borde delantero del perfil y el borde trasero del perfil. Para el control pasivo de la capa límite, el álabe presenta una variación de contorno, que conforme a la invención se encuentra directamente corriente debajo de un máximo de velocidad del perfil de álabe original. Mediante la disposición de la variación de contorno en esta zona puede llevarse a cabo un control óptimo de la capa límite sobre una zona de funcionamiento grande con distintos números de Reynolds, de tal modo que dependiendo de la geometría de la variación de contorno se produce una transición de la capa límite laminar o la capa límite se desestabiliza antes de tiempo, esto último causando una transición avanzada. Con ello, es ventajoso que el álabe se pueda producir fácilmente, o bien, que se pueda colocar posteriormente.

(0008) Bajo el concepto “directamente”, en un ejemplo de ejecución se entiende una zona del borde delantero del perfil, que corresponda aprox. al 50% hasta el 85% de una longitud de cuerda axial del álabe.

(0009) Un control especialmente beneficioso de la capa límite se observa, cuando la variación del contorno se encuentra en una distancia del borde delantero de perfil que corresponde aproximadamente al 65% de la longitud de cuerda axial.

(0010) Conforme a la invención, además la variación del contorno está configurado como un escalón negativo observado en dirección de la corriente. Este escalón ha demostrado ser especialmente efectivo en una ancha banda de números de Reynolds, y se puede producir de forma sencilla y precisa, tanto en álabes fundidos como también en álabes producidos generativamente.

(0011) En motores de aviones para aviones de pasajeros se presentan habitualmente números de Reynolds, en los que la burbuja de separación se forma en el lado de la succión del perfil. Con ello se observa un efecto de la variación del contorno, conforme a la invención, que disminuye las pérdidas, cuando el escalón presenta una superficie de escalón que se extiende verticalmente respecto al contorno original del lado de la succión del perfil desde el perfil de álabe original hacia el exterior, así como una superficie tangencial que partiendo desde un borde de escalón que está fuera del perfil de álabe original, se aproxima corriente arriba tangencialmente al contorno original del lado de la succión del perfil.

(0012) Preferiblemente, el escalón tiene una altura de escalón (k) en el ámbito de 0,1 mm hasta 0,4 mm. La altura del escalón se orienta, entre otros, según el espesor de desplazamiento (δ) local y el número de Reynolds (Re2) en la corriente abajo, mientras que resultados especialmente óptimos se consiguen, por ejemplo, con una altura de escalón de $k=0,17$ mm ó $k=15$ mm con número de Reynolds de $Re_{2th} \leq 120.000$ ó $Re_{2th} = 90.000$. Preferiblemente, con números de Reynolds de $Re_{2th} \leq 120.000$ es válida la proporción de k/δ^* de $k/\delta^* = 47$ entre la altura de escalón (k) y un espesor de desplazamiento local (δ^*). En un número de Reynolds de $Re_{2th} = 90.000$ con $\delta^*=0,37$ mm, ó de $Re_{2th}= 120.000$ con $\delta^* = 0,32$ mm se fijan con ello alturas de escalón (k) de esa magnitud.

(0013) Otros ejemplos de ejecuciones ventajosos de la presente invención son objeto de las siguientes reivindicaciones.

(0014) A continuación se detalla un ejemplo de ejecución preferible de la presente invención en base a los dibujos esquemáticos. Se muestran:

Figura 1 una conocida cascada de álabe,

Figura 2 variaciones de contorno conocidas para el control pasivo de la capa límite, y

Figura 3 un álabe con una variación de contorno conforme a la invención.

(0015) Conforme a la representación en la Figura 3, el álabe (20) conforme a la invención de un álabe de motor de avión, por ejemplo, tiene en la zona de la turbina de baja presión, un perfil (22) con un borde delantero de perfil (24), con un borde trasero de perfil (26) y un lado de la succión del perfil (28) fundamentalmente cóncavo que se extiende entre el borde delantero de perfil (24) y el borde trasero de perfil (26) y un lado de la presión del perfil (30) fundamentalmente convexo que se extiende entre el borde delantero de perfil (24) y el borde trasero de perfil (26). Para el control pasivo de la capa límite en la zona del lado de la succión del perfil (28), el álabe (20) presenta un turbulador, o bien una variación de contorno (32 y 32'). El primer turbulador (32) es una primera forma de ejecución para una variación de contorno. Con ello, se ha aplicado material sobre el perfil original.

(0016) La segunda ejecución de la variación de contorno se refleja en el segundo turbulador (32). Con ello, se ha retirado material del perfil original. Una combinación de estas dos formas de ejecución es posible.

(0017) El turbulador (32) está dispuesto directamente corriente abajo del máximo de velocidad del perfil original (22) a $x/lax \approx 0,65$ ó 65%, siendo lax la longitud de cuerda axial. El turbulador (32, 32') puede extenderse sobre toda la anchura del álabe, ó de la hoja de álabe ortogonalmente respecto a la superficie de la señal y está conformado como un escalón negativo observado desde la dirección de la corriente. El turbulador (32, 32') tiene una superficie de escalón (34) plana que se extiende verticalmente respecto al contorno original y, partiendo de un borde de escalón (36) relativamente de canto vivo, tiene una superficie tangencial (38) que se extiende corriente arriba, que se convierte tangencialmente en el contorno original. La geometría continúa sobre la altura de escalón completa. El turbulador (32, 32') tiene una altura de escalón (k) de $k= 0,17$ mm, lo cual corresponde a una altura de escalón (k) óptima con un número de Reynolds (Re2th) de $Re_{2th} = 120.000$.

(0018) El turbulador (32, 32') favorece una transición acelerada mediante el intercambio de impulso aumentado en la corriente cercana a la pared. Especialmente, el turbulador del tipo de escalón (32, 32') causa corriente abajo del borde de escalón (36) una subida a modo de salto del corte transversal de la corriente, lo cual conlleva una fuerte aceleración de la corriente en el borde de escalón (36) y una desestabilización antes de tiempo de la capa límite laminar y con ello una transición adelantada en el lado de la succión del perfil (28). Una directa transición de la capa límite en el turbulador (32) no tiene lugar, sino un desplazamiento de la transición natural corriente arriba.

- 5 (0019) El efecto positivo reductor de la pérdida del turbulador (32) se mantiene partiendo de números de Reynolds bajos hasta altos números de Reynolds, que fundamentalmente están caracterizados por un potencial que disminuye para la mejora del comportamiento de separación del lado de la succión. Así, aún con un número de Reynold de $Re_{2th} = 200.000$ se observa un claro efecto de corriente arriba respecto a la transición a causa del turbulador (32). Incluso con números de Reynolds de $Re_{2th} > 200.000$ se consigue una transición antes de tiempo y, con ello, un efecto reductor de la pérdida.
- 10 (0020) Se ha manifestado un álabe de una turbomáquina, especialmente un álabe de turbina de un motor de avión, para desviar una corriente, con una variación de contorno a un control pasivo de la capa límite, estando dispuesta la variación de contorno directamente corriente abajo en la zona del máximo de velocidad del perfil original.

REIVINDICACIONES

- 5 1ª.- Álabes (20) de una turbomáquina, especialmente un álabe de turbina de un motor de avión, para desviar una corriente, que presenta un borde delantero de perfil (24), un borde trasero de perfil (26), un lado de la succión del perfil (28) que se extiende entre el borde delantero de perfil (24) y el borde trasero de perfil (26), un lado de la presión del perfil (30) y una variación de contorno (32) para el control pasivo de la capa límite, y la variación de contorno (32) presenta un escalón negativo observado desde la dirección de la corriente, que se caracteriza por que el escalón presenta una superficie de escalón (34) que se extiende verticalmente respecto al contorno original del lado de la succión de perfil (28) desde el perfil de álabe (22) original hacia fuera, y la variación de contorno (32) presenta una superficie tangencial (38) que se aproxima corriente arriba tangencialmente respecto al contorno original del lado de la succión de perfil (28), partiendo de un borde de escalón (36) que está por el exterior del perfil de álabe (22) original.
- 15 2ª.- Álabe según la reivindicación 1ª, en la que la variación de contorno (32) está distanciada en un ámbito del borde delantero del perfil (24), que corresponde aproximadamente al 50% hasta el 85% de una longitud de cuerda axial (lax) del álabe (20).
- 20 3ª.- Álabe según la reivindicación 2ª, en la que la variación de contorno (32) está dispuesta en una distancia del borde delantero del perfil (24), que corresponde aproximadamente al 65% de la longitud de cuerda axial (lax).
- 4ª.- Álabe según al menos una de las reivindicaciones 1ª, teniendo el escalón una altura de escalón (k) en el ámbito de $k = 0,1$ mm hasta 0,4 mm.
- 25 5ª.- Álabe según al menos una de las reivindicaciones 1ª ó 4ª, presentando el escalón una altura de escalón de $k = 0,17$ mm.
- 6ª.- Álabe según al menos una de las reivindicaciones 1ª, 4ª hasta 5ª, presentando el escalón una altura de escalón de $k = 0,15$ mm.
- 30 7ª.- Álabe según al menos una de las reivindicaciones anteriores, obteniéndose la variación de contorno (32) del perfil original mediante la aplicación de material y/o la retirada de material.

35

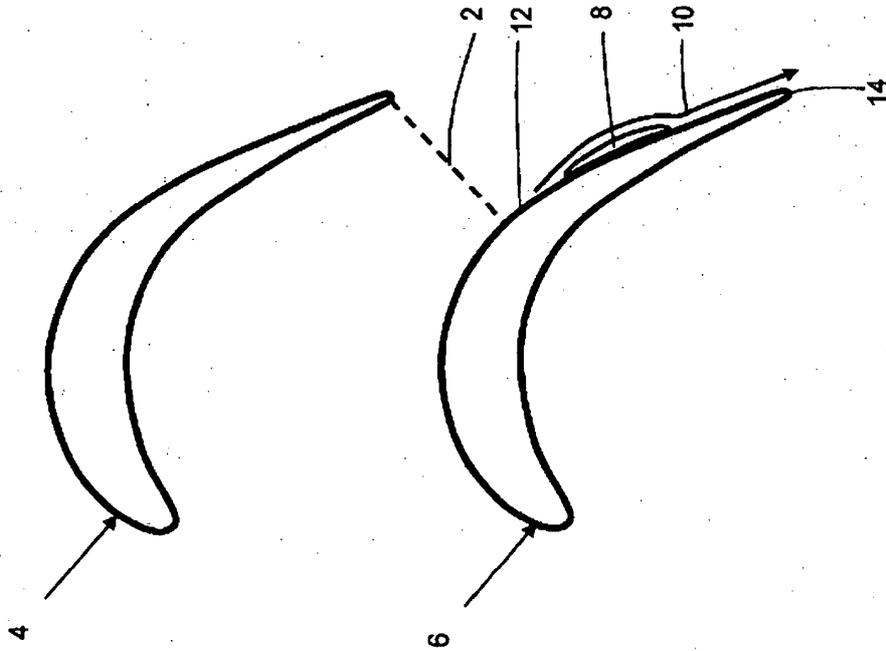
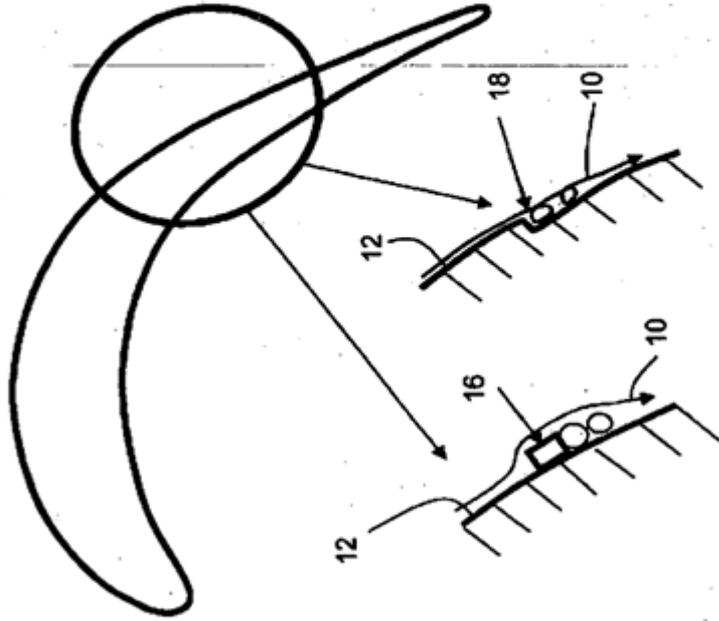


Fig. 1

6



Estado de la técnica Fig. 2

