(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 622 075**

(51) Int. Cl.:

F01D 5/22	(2006.01)
F01D 5/26	(2006.01)
F01D 5/28	(2006.01)
F04D 29/02	(2006.01)
F04D 29/32	(2006.01)
F04D 29/54	(2006.01)
F04D 29/66	(2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.07.2014** **E 14178015 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.03.2017** **EP 2884050**

(54) Título: **Rejilla de alas perfiladas**

(30) Prioridad:

16.12.2013 DE 102013226015

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.07.2017

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

HARTUNG, ANDREAS;
STIEHLER, FRANK y
PERNLEITNER, MARTIN

(74) Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 622 075 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

Rejilla de alas perfiladas

Los trabajos, los cuales han conducido a esta invención fueron fomentados de acuerdo con la declaración de ayuda financiera nº CSJU-GAM-SAGE-2008-001 en el transcurso del Séptimo Programa Marco de la Unión Europea (FP7/2007-2013) para Clean Sky Joint Technology Initiative.

La presente invención se refiere a una rejilla de alas perfiladas para una turbomáquina, a una turbomáquina, en particular una turbina de gas, con una rejilla de alas perfiladas de este tipo, así como a un procedimiento para la producción de una rejilla de alas perfiladas de este tipo. Una rejilla de alas perfiladas según la cláusula precaracterizante de la reivindicación 1 es conocida por el documento EP 1 217 170 A2. En aras de la exhaustividad, además, también se apunta al documento EP 2 505 780 A1.

Por la práctica intraempresarial es conocido, en particular, producir álabes de expansión sometidos a grandes cargas termo-mecánicas de turbinas de gas a partir de materiales monocristalinos con orientación de cristales predeterminada.

En este caso, se verifica la orientación de cristales de los álabes producidos. Si ésta es suficiente para una tolerancia predeterminada, el álabe es reformado, si no, se desecha. Esto conduce a una distribución estocástica de las orientaciones de los cristales dentro de la rejilla de alas perfiladas.

Por una parte, es conocido por la práctica intraempresarial hacer concordar entre sí los álabes de una rejilla de alas perfiladas, en particular para mejorar el comportamiento vibratorio de la rejilla.

En particular, con respecto a esto, es conocido por la práctica intraempresarial alojar de forma móvil cuerpos en las rejillas. De la misma manera, es conocido por la práctica intraempresarial alojar de forma móvil cuerpos en las rejillas para atenuar disipativamente las vibraciones del álabe y/o para causar una concordancia precisa, de manera que se reduce la absorción de energía del álabe.

Una misión de una realización de la presente invención es poner a disposición una turbomáquina mejorada.

Este problema se resuelve mediante una rejilla de alas perfiladas con las características de la reivindicación 1. Las reivindicaciones 13, 14 protegen una turbomáquina con una correspondiente rejilla de alas perfiladas, o bien un procedimiento para la producción de una correspondiente rejilla de alas perfiladas. Formas de realización ventajosas de la invención son objeto de las reivindicaciones subordinadas.

Según un aspecto de la presente invención, la turbomáquina presenta al menos una rejilla de alas perfiladas. La turbomáquina es, en una realización, una turbina de gas, en particular una turbina de gas de motor de aeronave. La rejilla de alas perfiladas es, en una realización, una rejilla de circulación o conductora de una expansión o expansión compresora de la turbina de gas, en particular turbina de gas de motor de aeronave.

La rejilla de alas perfiladas presenta un cierto número de álabes, los cuales presentan un material monocristalino. En una realización, la rejilla de alas perfiladas se compone de este número de álabes o bien todos los álabes presentan un, preferiblemente el mismo, material monocristalino. En una realización uno o varios, en particular todos, los álabes se componen, al menos esencialmente, de un, en particular del mismo material monocristalino, en otra realización pueden también, por ejemplo, presentar sólo las hojas de pala de los álabes el material monocristalino, en particular se componen de éste. En una realización, el material monocristalino presenta una aleación de Ni, Fe, Ti, Co, Nb y/o Mo, en particular una superaleación, por ejemplo CMSX-2, CMSX-3, PWA 1426, PWA 1480, PWA 1484, René o CM 186 LC o similares, o se compone de ello.

Cada uno de los álabes presenta un valor de orientación de los cristales, el cual depende de una orientación de los cristales del material monocristalino de este álabe, en particular, la misma orientación de cristales. La orientación de los cristales del material monocristalino, en el sentido de la presente invención, puede depender, en particular, de una desviación de una, en particular la misma, dirección de cristal del material monocristalino de una, en particular la misma dirección de perfil de una hoja de pala del álabe, en particular puede describir éstas. La dirección de cristal puede, en particular, ser la dirección [001], la dirección [100], la dirección [110], la dirección [111], la dirección [112], la dirección [123] o similares, en donde la indicación "[XYZ]" describe los índices de Miller usuales en el sector, los cuales también son indicados como "<XYZ>". La dirección de perfil puede, en particular, ser la dirección radial, la dirección del así llamado eje de hebra, o bien de enhebrado, la dirección perimetral, la dirección de una fibra de perfil de la hoja de pala o similares. En particular, la orientación de cristales, en el sentido de la presente invención, puede por lo tanto depender de una desviación o bien un ángulo entre la dirección [001] del material monocristalino del álabe y el eje de hebra de apilamiento de la pala del álabe, en particular, describe(n) ésta, el cual también se designa como orientación de cristales primaria. De la misma manera, la orientación de los cristales puede depender de una desviación o bien un ángulo entre la dirección [100] del material monocristalino del álabe y de la cuerda perfilada de la hoja de la pala, en particular, describe ésta, la cual se designa también como orientación de cristales secundaria. El valor de orientación de los cristales de un álabe en el sentido de la presente invención puede depender de manera correspondiente en una realización de una desviación de este tipo, en particular su valor, en

particular, describe éste. En un perfeccionamiento el valor de orientación de los cristales comprende, en particular es, el/los correspondiente(s) ángulos o su valor. En adelante, para la representación más compacta del valor de orientación de los cristales se designará con $|\alpha|$, como esto es habitual, en particular, para la orientación primaria de los cristales.

Según una forma de realización preferida de la presente invención los álabes son, o bien se clasifican conforme a su orientación de los cristales, o bien su valor de orientación de los cristales y, a continuación, se disponen conforme a sus valores de orientación de los cristales en sectores de la rejilla de alas perfiladas. De esta manera, pueden ser, o bien estar reunidos, en particular de manera predeterminada o prevista, álabes con orientaciones similares de los cristales.

De manera sorprendente se ha demostrado que a causa de esto, en comparación con una distribución de las orientaciones de los cristales dentro de la rejilla puramente estocástica y, por lo tanto, estáticamente establecida, puede ser mejorado, en particular, su comportamiento vibratorio, en particular con respecto a resonancias y/o aleteo. Adicional o alternativamente, pueden ser admitidas tolerancias de esta magnitud en la orientación de los cristales, al no ser desechados álabes con grandes valores de orientación de los cristales, sino siendo reunidos en correspondientes sectores. Esto puede, en particular, reducir una tasa de productos defectuosos en la producción de álabes con material monocristalino y, de esta manera, sus costes.

La clasificación de los álabes conforme a su orientación de los cristales puede, en particular, comprender una determinación no destructiva de la orientación de los cristales, por ejemplo de la orientación de los cristales primaria, y una subsiguiente ordenación de los álabes de manera correspondiente a su orientación de los cristales, o bien de su valor de orientación de los cristales. De esta manera, la orientación de los cristales puede ser determinada, por ejemplo, por medio del método de Laue. La ordenación puede comprender una puesta en fila de los álabes según sus valores de orientación de los cristales, por ejemplo en orden ascendente, en particular ser de manera que para los álabes puestos en fila $i = 1, 2,...n$ aplica: $|\alpha_1| \leq |\alpha_2| \leq ... \leq |\alpha_n|$. De la misma manera, la ordenación en una realización puede comprender una clasificación de los álabes en clases A, B,... en particular ser de manera que para los álabes clasificados $i = 1, 2,...n$ aplica: $i \in A \leftrightarrow \alpha_{A0} \leq |\alpha_i| \leq \alpha_{A1}$, $i \in B \leftrightarrow \alpha_{B0} \leq |\alpha_i| \leq \alpha_{B1}$, con los límites de clase α_{A0}, α_{A1}, α_{B0}, α_{B1},... Dentro de un sector, los álabes, en particular puestos en fila, pueden ser dispuestos en su orden. De la misma manera, los álabes, en particular clasificados, pueden ser dispuestos también aleatoriamente dentro de un sector, en particular, para compensar o similar la rejilla de alas perfiladas.

Para la representación más compacta, a continuación sin limitación a la generalidad, rejillas de alas perfiladas, cuyo valor de orientación de los cristales es menor que un primer valor límite se designarán como primeros álabes, álabes de la rejilla de alas perfiladas, cuyo valor de orientación de los cristales es al menos igual que el primer valor límite, como segundos álabes.

Según una forma de realización de la presente invención, la rejilla de alas perfiladas presenta al menos, en particular exactamente uno o varios, primer(os) sector(es) el cual o bien los cuales se compone o bien componen de por lo menos tres, en particular por lo menos cuatro o por lo menos cinco, primeros álabes consecutivos, o bien contiguos en dirección perimetral. Adicionalmente, la rejilla de alas perfiladas presenta por lo menos uno, en particular exactamente uno o varios segundo(s) sector(es), el cual o bien los cuales se compone o bien componen de por lo menos tres, en particular por lo menos cuatro o por lo menos cinco primeros álabes consecutivos, o bien contiguos en dirección perimetral. Al ser o bien estar dispuestos en sectores los álabes ordenados conforme a sus valores de orientación de cristales, resultan correspondientemente uno o varios primeros y uno o vario segundos sector(es), en los cuales exclusivamente están dispuestos primeros o bien segundos álabes reunidos, o bien consecutivos en dirección perimetral. A causa de esto pueden/puede, como se ha explicado anteriormente, de manera sorprendente ser mejorado el comportamiento vibratorio de la rejilla de alas perfiladas y/o ser reducidos los costes.

En una realización, la rejilla de alas perfiladas puede estar compuesta por un primer sector y un segundo sector. Con otras palabras, la rejilla de alas perfiladas puede ser divida virtualmente en dos partes, cada una con por lo menos tres, en particular por lo menos cuatro o por lo menos cinco álabes consecutivos o bien contiguos, presentando todos los álabes de una parte valores de orientación de los cristales, los cuales son menores que un valor límite, mientras que todos los álabes de la otra parte complementaria presentan valores de orientación de los cristales los cuales por lo menos son iguales a ese valor límite. Como a continuación se explica aún más en detalle, pueden ser posibles varias particiones virtuales de este tipo.

De manera correspondiente, la rejilla de alas perfiladas puede estar compuesta por dos o tres primeros sectores, en particular separados uno de otro, y dos o tres segundos sectores, en particular separados uno de otro. Con otras palabras, la rejilla de alas perfiladas puede ser dividida, por ejemplo, en cuatro partes, cada una con por lo menos tres álabes consecutivos, o bien contiguos, presentando todos los álabes de dos partes separadas valores de orientación de los cristales, los cuales son menores que un valor límite, mientras que todos los álabes de las otras dos partes separadas presentan valores de orientación de los cristales, los cuales por lo menos son iguales a ese valor límite.

La reunión de álabes en sectores de al menos tres, en particular por lo menos cuatro o por lo menos cinco álabes consecutivos con orientación de cristales similares, pueden ser o bien estar diferenciada adicionalmente en una

realización. En particular, los segundos álabes pueden, conforme a su orientación de los cristales, ser subdivididos aún más en primeros segundos álabes, cuyo valor de orientación de los cristales es por lo menos igual al primer valor límite y al mismo tiempo menor que un segundo valor límite, y segundos segundos álabes, cuyo valor de orientación de los cristales es por lo menos igual al segundo valor límite. Para la representación más compacta, estos segundos segundos álabes de la rejilla de alas perfiladas se designan en lo sucesivo también de forma abreviada como terceros álabes. Primeros segundos álabes y segundos segundos álabes forman, por lo tanto, juntos los segundos álabes.

La rejilla de alas perfiladas presenta, correspondientemente, en una realización por lo menos uno, en particular exactamente uno o varios primer(os) segundo(s) sector(es), el cual o bien los cuales está compuesto o bien están compuestos por al menos tres, en particular cuatro o al menos cinco, primeros segundos álabes consecutivos en dirección perimetral, o bien contiguos, y al menos uno, en particular exactamente uno o varios, segundo(s) segundo(s) o bien tercer(os) sector(es), el cual o bien los cuales respectivamente está compuesto o bien están compuestos por al menos tres, en particular cuatro o al menos cinco segundos segundos o bien terceros álabes consecutivos en dirección perimetral, y en lo sucesivo también es, o bien son designados de forma abreviada como tercer(os) sector(es).

En una realización la rejilla de alas perfiladas puede estar compuesta por un primer sector, un primer segundo sector y un segundo segundo sector. Con otras palabras, la rejilla de alas perfiladas puede ser dividida virtualmente en tres partes, cada una con por lo menos tres, en particular por lo menos cuatro o por lo menos cinco álabes consecutivos en dirección perimetral, o bien contiguos, presentando todos los álabes de una de las partes valores de orientación de los cristales que son menores que el valor límite, todos los álabes de otra de las partes presentan valores de orientación de los cristales, los cuales son por lo menos iguales al valor límite y, al mismo tiempo, menores que otro valor límite, mientras que todos los álabes de la tercera parte presentan valores de orientación de los cristales, los cuales son por lo menos iguales que ese otro valor límite. De la misma manera, la rejilla de alas perfiladas, en lugar de uno, también puede presentar dos o tres primeros sectores, en lugar de uno, también puede presentar dos o tres primeros segundos sectores y/o en lugar de uno, también dos o tres segundos segundos sectores. Correspondientemente, la rejilla de alas perfiladas puede estar compuesta, en particular por dos o tres, en particular separados uno de otro, primeros sectores, dos o tres, en particular separados uno de otro, primeros segundos sectores y/o dos o tres, en particular separados uno de otro, segundos segundos sectores.

La clasificación puede tener lugar según uno o varios valores límites predeterminados, de manera que los álabes desde el principio pueden ser repartidos en determinados sectores. De la misma manera, por ejemplo, también al principio, los álabes pueden ser puestos en fila o clasificados, a continuación, se predeterminan uno o varios valores límite conforme a la distribución de frecuencias de los valores de orientación de los cristales y, a continuación, los álabes son repartidos conforme a estos valores límites en determinados sectores. Si, por ejemplo, de 90 álabes producidos 60 álabes presentan valores de orientación de los cristales $|\alpha_i| < x$, y de estos, de nuevo 30 álabes valores de orientación de los cristales $|\alpha_1| < x < y$, de esta manera y puede ser un primer valor límite, x un segundo valor límite, según el cual o bien los cuales los 90 álabes son repartidos en primeros segundos, o primeros y segundos segundos, sectores, o bien dispuestos en estos.

En particular, si se han predeterminado valores límite de antemano, en una realización, en particular un primer y/o segundo valor límite puede ascender por lo menos al 10%, en particular por lo menos al 25%, de un valor de orientación de los cristales máximo, en particular del valor de orientación de los cristales de aquel álabe de la rejilla de alas perfiladas con el mayor valor de orientación de los cristales entre todos los álabes de la rejilla de alas perfiladas o un valor de orientación de los cristales admisible máximo para la rejilla de orientación de los cristales. Adicional o alternativamente, en una realización el, en particular primer y/o segundo valor límite puede ascender como mucho al 90%, en particular como mucho al 75% del valor de orientación de los cristales máximo de la rejilla de alas perfiladas. Si, por ejemplo, el valor de orientación primaria de los cristales en la rejilla de alas perfiladas asciende como máximo a 15º o se ha predeterminado un límite superior de 15º para la orientación primaria de los cristales en la rejilla de alas perfiladas, de esta manera, en una realización un primer valor límite puede ascender a 8º = 15º · 53%, un segundo valor límite a 12º = 15º · 80%.

En particular, si se predeterminan valores límite conforme a la distribución de frecuencia de los valores de orientación de los cristales, en una realización pueden formar los álabes de un primer sector o de todos los primeros sectores, respectivamente o juntos por lo menos el 20%, en particular por lo menos el 35% del número de álabes de la rejilla de alas perfiladas. Adicional o alternativamente, los álabes del primer o bien de todos los primeros sectores, respectivamente o juntos pueden formar como mucho el 80%, en particular como mucho el 65% del número de álabes de la rejilla de alas perfiladas. Adicional o alternativamente, en una realización, los álabes de un segundo sector o de todos los segundos sectores, en particular del primer y/o segundo segundo sector, respectivamente o juntos pueden formar por lo menos el 20%, en particular por lo menos el 35%, y/o como mucho el 80%, en particular como mucho el 65% del número de álabes de la rejilla de alas perfiladas.

Dentro de un sector o de varios, en particular de todos los sectores de la rejilla de alas perfiladas, en una realización los valores de orientación de los cristales de los álabes pueden estar dispuestos regularmente, en particular en un orden monótono, en particular en la dirección de rotación ascendente o descendentemente monótono. En otra realización las orientaciones de los cristales están repartidas aleatoriamente, o bien los valores de orientación de los

cristales de los álabes de un sector o de varios, en particular de todos los sectores de la rejilla de alas perfiladas están dispuestos aleatoriamente. Esto puede ser ventajoso, en particular, para compensar la rejilla de alas perfiladas mediante correspondiente reordenación de los álabes dentro de los sectores.

Como se ha resaltado en la introducción, en una realización la rejilla de alas perfiladas está compuesta por los sectores explicados anteriormente, es decir, todos los álabes de la rejilla de alas perfiladas están reunidos en correspondientes sectores. En otra realización, la rejilla de alas perfiladas puede presentar, aparte de los sectores explicados anteriormente, aún otros álabes, los cuales en un perfeccionamiento, en particular individualmente o por parejas, pueden estar dispuestos entre primeros y segundos sectores y/o entre primeros y segundos segundos sectores, cada uno con por lo menos tres, en particular por lo menos cuatro o por lo menos cinco álabes con orientación de los cristales parecida. También a causa de esto, aún se pueden lograr, por lo menos parcialmente, las ventajas explicadas anteriormente, pudiendo por otro lado aumentarse de manera ventajosa la flexibilidad en la disposición de los álabes.

De acuerdo con la invención, dos o más de los álabes, en particular todos los álabes de la serie presentan respectivamente una disposición de cuerpo cada uno con uno o varios cuerpos alojados de forma móvil en los álabes.

Uno o varios de estos cuerpos, en particular todos estos cuerpos, en una realización, puede o bien pueden estar o ser apoyados de forma móvil en plataformas de álabe de los álabes de la rejilla de alas perfiladas, dispuestas radialmente en el interior de hojas de pala de los álabes, en particular en uno o en varios huecos en las plataformas de álabe y/o pueden estar o ser alojados en huecos, los cuales están o son configurados entre plataformas de álabe contiguas.

De la misma manera, uno o varios de estos cuerpos puede o bien pueden estar o ser apoyados de forma móvil en anillos de refuerzo exteriores de los álabes de la rejilla de alas perfiladas, dispuestos radialmente en el exterior de hojas de pala de los álabes, en particular en uno o varios huecos en los anillos de refuerzo exteriores y/o pueden estar o ser alojados en huecos, los cuales están configurados entre anillos de refuerzo exteriores contiguos.

En un hueco pueden estar dispuestos o bien alojados en cada caso sólo uno o también varios cuerpos apoyados de forma móvil, en particular con holgura, o bien con un grado de libertad de movimiento en una o varias direcciones. En particular, dentro de un álabe pueden estar configurados en cada caso uno o varios huecos de este tipo.

De acuerdo con la invención están previstas diferentes disposiciones de cuerpo, en particular primeras disposiciones de cuerpo, cada una con uno o varios primeros cuerpos apoyados de forma móvil y segundas disposiciones de cuerpo, diferentes de las primeras, cada una con uno o varios segundos cuerpos apoyados de forma móvil.

Primeras y segundas disposiciones de cuerpo diferentes de las mismas pueden, en particular, diferenciarse en el número de cuerpos, los cuales están apoyados de forma móvil en el correspondiente álabe, en particular están alojados en huecos. De esta manera, por ejemplo, primeras disposiciones de cuerpo pueden presentar todas como mucho un número máximo predeterminado de primeros cuerpos apoyados de forma móvil y segundas disposiciones de cuerpo, todas presentan más segundos cuerpos apoyados de forma móvil que este número máximo predeterminado o al revés, segundas disposiciones de cuerpo presentan todas como mucho un número máximo predeterminado de segundos cuerpos apoyados de forma móvil y primeras disposiciones de cuerpo, todas presentan más primeros cuerpos apoyados de forma móvil que este número máximo predeterminado.

Adicional o alternativamente, primeras y segundas disposiciones de cuerpo diferentes de ellas pueden diferenciarse, en particular en el tamaño, la masa, la distribución de masa y/o forma de uno o varios, en particular todos sus cuerpos apoyados de forma móvil.

De esta manera, por ejemplo, uno o varios, en particular todos los primeros cuerpos de las primeras disposiciones de cuerpo pueden ser más grandes o más pequeños y/o más pesados o ligeros que uno o varios, en particular todos los segundos cuerpos de las segundas disposiciones de cuerpo. Adicional o alternativamente, uno o varios, en particular todos los primeros cuerpos de las primeras disposiciones de cuerpo pueden presentar otra distribución de masa y/o forma distinta que uno o varios, en particular todos los segundos cuerpos de las segundas disposiciones de cuerpo.

Adicional o alternativamente, primeras y diferentes segundas disposiciones de cuerpo diferentes de ellas pueden diferenciarse, en particular en la orientación de uno o varios, en particular todos sus cuerpos apoyados de forma móvil, con relación a un hueco alojado en este cuerpo. En particular, en una realización, primeros y segundos cuerpos, por lo menos esencialmente de estructura idéntica y en orientación distinta, en particular de simetría complementaria, pueden estar o ser alojados, en particular conducidos, en el correspondiente hueco. Por ejemplo, si primeros y segundos cuerpos son cilíndricos con una sección con un diámetro mayor y una subsiguiente sección con un diámetro menor en un hueco cilíndrico con el diámetro mayor, apoyado de forma móvil en su dirección longitudinal, de esta manera, los primeros cuerpos con la sección con el diámetro mayor y los segundos cuerpos con la sección con el diámetro menor pueden ser o estar dispuestos en o contra una dirección de circulación del álabe en el hueco.

Adicional o alternativamente, primeros y segundas disposiciones de cuerpo diferentes de ellas se pueden diferenciar, en particular en el apoyo de uno o varios, en particular de todos sus cuerpos apoyados de forma móvil en el hueco que aloja a este cuerpo, en particular en un coeficiente de rozamiento y/o una holgura o bien medida de tolerancia del emparejamiento en superficie entre cuerpo y hueco. En particular, uno o varios, en particular todos los primeros cuerpos de las primeras disposiciones de cuerpo, y los huecos que alojan a estos cuerpos presentan un coeficiente de rozamiento mayor o menor y/o una holgura mayor o menor en una conducción que uno o varios, en particular todos los segundos cuerpos de las segundas disposiciones de cuerpo.

De acuerdo con la invención, uno o varios primeros álabes presentan entonces, respectivamente, una de las primeras disposiciones de cuerpo y uno o varios segundos álabes, respectivamente, una segunda disposición de cuerpo diferente de la anterior.

De manera sorprendente, se ha demostrado que mediante una asignación prevista o bien predeterminada de diferentes disposiciones de cuerpo a álabes con diferente orientación de los cristales, en función de su orientación de los cristales, tanto en comparación con disposiciones de cuerpo iguales para álabes con diferente orientación de los cristales, como también en comparación con una asignación de diferentes disposiciones de cuerpo a álabes independientemente de su orientación de los cristales, se puede mejorar, en particular, el comportamiento vibratorio de la rejilla de alas perfiladas, en particular con respecto a resonancias y/o aleteo.

En una realización, cada uno de los primeros cuerpos está apoyado de forma móvil en un primer álabe y/o cada uno de los segundos cuerpos está apoyado de forma móvil en un segundo álabe. Adicional o alternativamente, en una realización, en cada uno de los primeros álabes está apoyado de forma móvil por lo menos un primer cuerpo y/o en cada uno de los segundos álabes está apoyado de forma móvil por lo menos un segundo cuerpo. Si un cuerpo es, o bien está apoyado de forma móvil entre un primer y un segundo álabe, en particular, alojado en un hueco entre el primer y el segundo álabe, éste puede ser opcionalmente un primer, un segundo o un tercer cuerpo diferentes de los anteriores.

Como se ha explicado anteriormente, los aspectos previamente mencionados pueden ser combinados de manera ventajosa unos con otros, es decir, los álabes pueden ser dispuestos conforme a su orientación de los cristales en sectores y la disposición de cuerpo puede ser configurada conforme a la orientación de los cristales de los álabes, de manera que en una realización dentro de uno o varios, en particular todos los primeros sectores, en particular exclusivamente primeras disposiciones de cuerpo y dentro de uno o varios, en particular todos los segundos sectores, están o bien son previstas, en particular exclusivamente, segundas disposiciones de cuerpo diferentes de las anteriores, pudiendo opcionalmente no estar previstas primeras, segundos o terceras disposiciones de cuerpo diferentes de éstas.

Si los segundos álabes son o bien están subdivididos conforme a su orientación de los cristales aún más en primeros segundos álabes, cuyo valor de orientación de los cristales es por lo menos igual al primer valor límite y, al mismo tiempo, menor que el segundo valor límite, y segundos segundos o bien terceros álabes, cuyo valor de orientación de los cristales es por lo menos igual al segundo valor límite, en una realización, uno o varios, en particular todos los segundos segundos, o bien terceros álabes diferentes de estos pueden presentar segundas segundas disposiciones de cuerpo, pudiendo primeras y segundas segundas disposiciones de cuerpo ser diferenciadas unas de otras de la misma manera que primeras y segundas disposiciones de cuerpo, por lo tanto, en particular, pueden presentar un número diferente de cuerpos y/o cuerpos de diferente tamaño, masa, distribución de masa, forma, orientación y/o apoyo. De la misma manera, puede estar previsto que sólo los primeros segundos álabes o, alternativamente, sólo los segundos segundos álabes presenten segundas disposiciones de cuerpo.

Como se ha explicado anteriormente con respecto al aspecto de la distribución de los álabes en sectores, en una realización, también con respecto a la asignación de diferentes disposiciones de cuerpo en función de la orientación de los cristales, en particular primer y/o segundo valor límite del valor de orientación de los cristales puede ascender por lo menos al 10%, en particular por lo menos al 25% de un valor de orientación de los cristales máximo de la rejilla de alas perfiladas, en particular del valor de orientación de los cristales de aquellos álabes con el valor de orientación de cristales mayor entre todos los álabes de la rejilla de alas perfiladas o de un valor de orientación de cristales máximo admisible para la rejilla de alas perfiladas. Adicional o alternativamente, en una realización, en particular, el primer o segundo valor límite puede ascender como mucho al 90%, en particular como mucho al 75% del valor de orientación de los cristales de la rejilla de alas perfiladas.

Otros perfeccionamientos ventajosos de la presente invención resultan de las reivindicaciones subordinadas y de la siguiente descripción de realizaciones preferidas. Para ello, muestra esquemáticamente de manera parcial:

la Fig. 1, un procedimiento para la producción de la rejilla de alas perfiladas de la Fig. 2;

la Fig. 2, una rejilla de alas perfiladas de una turbomáquina;

la Fig. 3, partes de dos álabes de una rejilla de alas perfiladas de una turbomáquina según una realización de la presente invención en una vista en perspectiva; y

la Fig. 4, una vista desde radialmente dentro sobre los álabes de la Fig. 3.

La Fig. 2 muestra una rejilla de alas perfiladas de una turbomáquina en una vista axial, la Fig. 1, en particular en vista conjunta con la Fig. 2, un procedimiento para la producción de esta rejilla de alas perfiladas.

En un primer paso indicado en la Fig. 1a), se producen álabes a partir de un material monocristalino. Para los álabes producidos se determina, a continuación, en un paso indicado en la Fig. 1b) el valor de su orientación de los cristales primaria como valor de orientación de los cristales $|\alpha|$. A continuación, los álabes son clasificados en un paso indicado en la Fig. 1c) conforme a su orientación de los cristales, o bien valor de orientación de los cristales: por ejemplo, si su orientación de los cristales primaria se encuentra por debajo de 8º, entonces los álabes se asignan a una primera clase, la cual en el ejemplo contiene los álabes 11, 12 y 13. Si su orientación de los cristales primaria asciende a por lo menos 8º, sin embargo, se encuentra, por ejemplo, por debajo de 12º, entonces los álabes se asignan a una segunda clase, la cual en el ejemplo contiene los álabes 21, 22, 23. Si su orientación de cristales primaria asciende a por lo menos 12º y, por ejemplo, como mucho a 15º, entonces los álabes se asignan a una tercera clase, la cual en el ejemplo contiene los álabes 31, 32 y 33. Si su orientación de cristales primaria se encuentra por encima de 15º, entonces los álabes son rechazados como desecho. En particular, este paso representa una ordenación de álabes conforme a su orientación de los cristales.

Para fines explicativos aplica para los álabes 11, ..., 14, 21, ..., 25, 31, ..., 37, de los cuales se compone la rejilla de alas perfiladas de la Fig. 2: $|\alpha_{11}| \leq |\alpha_{12}| \leq |\alpha_{13}| \leq |\alpha_{14}| < 8º \leq |\alpha_{21}| \leq |\alpha_{22}| \leq |\alpha_{23}| \leq |\alpha_{24}| \leq |\alpha_{25}| < 12º \leq |\alpha_{31}| \leq |\alpha_{32}| \leq |\alpha_{33}| \leq |\alpha_{34}| \leq |\alpha_{35}| \leq |\alpha_{36}| \leq |\alpha_{37}| \leq 15º$.

Los álabes clasificados de esta manera son dispuestos conforme a sus valores de orientación de cristales en tres sectores 1, 2, 3, de los cuales está compuesta la rejilla de alas perfiladas. En este caso, todos los primeros álabes 11, ..., 14, cuyos valores de orientación de cristales $|\alpha_{1i}|$, i = 1, ..., 4 son menores que un primer valor límite de 8º, son dispuestos en el primer sector 1 todos los primeros segundos álabes 21,..., 25, cuyos valores de orientación de cristales $|\alpha_{2i}|$, i = 1, ..., 5 son por lo menos iguales al primer valor límite y, al mismo tiempo, menores que un segundo valor límite de 12º, son dispuestos en el segundo sector 2, y todos los terceros álabes 31,..., 37, cuyos valores de orientación de cristales $|\alpha_{3i}|$, i = 1, ..., 7 son por lo menos iguales que el segundo valor límite, son dispuestos en el segundo segundo, o bien abreviado tercer sector 3.

Dentro de estos sectores, los álabes pueden ser o bien estar dispuestos arbitrariamente, en particular para compensar la rejilla de alas perfiladas. De manera correspondiente, los valores de orientación de los cristales de los álabes están dispuestos aleatoriamente dentro de los sectores, tal como se indica en la Fig. 2 por el orden {14, 12, 11, 13; 22, 21, 23, 24, 25; 31, 34, 36, 37, 33, 32, 35} de los álabes en dirección perimetral.

De manera correspondiente, la rejilla de alas perfiladas producida de la Fig. 2 está compuesta por un número de 16 álabes 14, 12, 11, 13; 22, 21, 23, 24, 25; 31, 34, 36, 37, 33, 32, 35 a base de un material monocristalino, presentando cada uno de los álabes un valor de orientación de los cristales $|\alpha|$, el cual depende de su orientación de los cristales primaria. En este caso, los valores de orientación de los cristales de los primeros álabes 11, ..., 14 son menores que el primer valor límite de 8º, y los valores de orientación de los cristales de los segundos álabes 21, ..., 25, 31, ..., 37 son por lo menos iguales a este primer valor límite, siendo los valores de orientación de los cristales de los primeros segundos álabes 21, ..., 25 menores que el segundo valor límite de 12º y los valores de orientación de los cristales de los segundos segundos álabes 31, ..., 37 por lo menos iguales a este segundo valor límite.

La rejilla de alas perfiladas está compuesta, por lo tanto, por un primer sector 1, el cual está compuesto por los cuatro primeros álabes 14, 12, 11 y 13 consecutivos, y un segundo sector 2 + 3, el cual está compuesto por los 12 segundos álabes 22, 21, 23, 24, 25; 31, 34, 36, 37, 33, 32 y 35. Por su parte, el segundo sector está compuesto por un primer segundo sector 2, el cual está compuesto por cinco primeros segundo álabes 22, 21, 23, 24 y 25 consecutivos, y un segundo segundo sector 3, el cual está compuesto por siete segundos segundos álabes 31, 34, 36, 37, 33, 32 y 35 consecutivos.

El primer valor límite de 8º asciende al 53% del valor de orientación de los cristales máximo de la rejilla de alas perfiladas de 15º, por lo tanto, por lo menos al 25% y como mucho al 75%. El segundo valor límite de 12º asciende al 80% del valor de orientación de los cristales máximo de la rejilla de alas perfiladas de 15º, por lo tanto, igualmente por lo menos al 25%, pero sólo como mucho al 90% del valor de orientación de los cristales máximo de la rejilla de alas perfiladas de 15º.

Los cuatro álabes 14, 12, 11 y 13 del primer sector 1 forman el 25% del número de 16 álabes de la rejilla de alas perfiladas, los cinco álabes 22, 21, 23, 24 y 25 del primer segundo sector 2 forman el 31% del número de 16, y los siete álabes 31, 34, 36, 37, 33, 32 y 35 del segundo segundo sector 3 forman el 43% del número de 16.

Aunque en la anterior descripción se explicaron realizaciones a modo de ejemplo, cabe señalar que es posible una multitud de variaciones.

Se reconoce, por ejemplo, que la rejilla de alas perfiladas también puede ser dividida virtualmente en otros sectores, cada uno con por lo menos tres álabes consecutivos o bien contiguos. De esta manera, por ejemplo, puede tener lugar virtualmente también una división en un primer sector 1 = {14, 12, 11, 13}, otro primer segundo sector 2' = {22, 21, 23} y otro segundo segundo sector 3' = {24, 25, 31, 34, 36, 37, 33, 32, 35} o, de la misma manera, virtualmente también una división en un primer sector 1 = {14, 12, 11, 13}, de nuevo otro primer segundo sector 2" = {22, 21, 23,

24, 25, 31} y de nuevo otro segundo segundo sector 3" = {34, 36, 37, 33, 32, 35}, presentando cada uno de estos sectores por lo menos tres álabes consecutivos, cuya orientación de los cristales o bien valor de orientación de los cristales es menor que otros primeros valores límite, o bien por lo menos iguales que estos y, al mismo tiempo, menores que un segundo valor límite. No obstante, respectivamente, se representa una agrupación suficiente de por los menos tres álabes cada uno de orientación de los cristales parecida. Para la realización de las características previamente explicadas es suficiente, en el sentido de la presente invención, si es posible por lo menos una correspondiente división virtual, para la cual se cumple con las respectivas características, en particular en cuanto al número, tamaño y/o distribución de álabes, valores límite y/o sectores.

La Fig. 3 muestra partes de dos álabes 14, 35 contiguas en dirección perimetral de una rejilla de alas perfiladas de una turbomáquina según una realización de la presente invención en una vista en perspectiva, la Fig. 4 una vista radialmente desde dentro sobre los álabes de la Fig. 3.

La realización de las Fig. 3, 4 corresponde a la realización de la Fig. 2, excepto por las diferencias explicadas a continuación, de manera que se remite a éstas y, a continuación, sólo se abordarán las diferencias.

En la realización de las Fig. 3, 4, todos los álabes 11, ..., 14, 21, ..., 25, 31, ..., 37 presentan en cada caso una plataforma 50 de álabe y una disposición de cuerpo con un primer cuerpo 100 o segundo cuerpo 200, el cual está alojado en cada caso en un hueco con holgura de rozamiento, móvil esencialmente en dirección axial, el cual está configurado, o bien dispuesto entre la plataforma de álabe del respectivo álabe y la plataforma de álabe del álabe contiguo en su dirección perimetral.

Los primeros y segundos cuerpos son estructuralmente idénticos, sin embargo, están dispuestos con orientación opuesta en el respectivo hueco: en el caso del primer cuerpo 100 está dispuesta aguas abajo, como se puede reconocer en particular en la vista radialmente desde dentro de la Fig. 4, un apéndice 110, en el caso del segundo cuerpo 200 introducido girado en 180º, el apéndice 210 está dispuesto correspondientemente contra la corriente.

En la realización de las Fig. 3, 4, en todos los álabes 11, ..., 14 están dispuestos primeros cuerpos 100 y en todos los álabes 21, ..., 25, 31, ..., 37 están dispuestos segundos cuerpos 200, pudiendo estar dispuesto entre los cuerpos 13 y 22, así como 14 y 35, opcionalmente un primer o segundo cuerpo. En otra realización, en todos los álabes 11, ..., 14, 21, ..., 25 están dispuestos primeros cuerpos 100 y en todos los álabes 31, ..., 37 segundos cuerpos 200, pudiendo estar dispuesto entre los cuerpos 25 y 31, así como 14 y 35, opcionalmente, un primer o segundo cuerpo.

Lista de símbolos de referencia

1	primer sector
2; 2', 2"	primer segundo sector
3; 3'; 3"	segundo segundo sector
11, ..., 14	primer álabe
21, ..., 25	primer segundo álabe
31, ..., 37	segundo segundo álabe
50	plataforma de álabe
100	primer cuerpo
200	segundo cuerpo
110, 210	apéndice

REIVINDICACIONES

1. Rejilla de alas perfiladas para una turbomáquina con un número de álabes (11, ..., 14, 21, ..., 25, 31, ..., 37), los cuales presentan un material monocristalino, en donde cada uno de los álabes presenta un valor de orientación de los cristales (|α|) que depende de una orientación de los cristales del material monocristalino del álabe; y en donde los valores de orientación de los cristales de primeros álabes (11, ..., 14) son menores que un primer valor límite y los valores de orientación de cristales de segundos álabes (21, ..., 25; 31, ..., 37) son por lo menos iguales al primer valor límite; caracterizada por que por lo menos un primer álabe presenta una primera disposición de cuerpo con por lo menos un primer cuerpo apoyado de forma móvil en el primer álabe; y por lo menos un segundo álabe presenta una disposición de cuerpo diferente de la anterior, con por lo menos un segundo cuerpo apoyado móvil en el segundo álabe.

2. Rejilla de alas perfiladas según la reivindicación anterior, caracterizada por que cada uno de los primeros cuerpos está apoyado de forma móvil en un primer álabe; y/o cada uno de los segundos cuerpos está apoyado de forma móvil en un segundo álabe; y/o en cada uno de los segundos álabes está apoyado móvil por lo menos un segundo cuerpo.

3. Rejilla de alas perfiladas según una de las dos reivindicaciones anteriores, caracterizada por que primeras y segundas disposiciones de cuerpo presentan un número distinto de cuerpos y/o cuerpos de distinto tamaño, masa, distribución de masa, forma, orientación y/o apoyo.

4. Rejilla de alas perfiladas según una de las tres reivindicaciones anteriores, caracterizada por que por lo menos uno de los cuerpos está apoyado de forma móvil en una plataforma de álabe o un anillo de refuerzo exterior de un álabe.

5. Rejilla de alas perfiladas según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la rejilla de alas perfiladas está compuesta por como mínimo un primer sector (1), el cual está compuesto por lo menos por tres primeros álabes (14, 12, 11, 13) consecutivos y presenta por lo menos un segundo sector (2 + 3; 2' + 3'; 2'' + 3 ''), el cual está compuesto por como mínimo tres segundos álabes (22, 21 ,23, 24, 25; 31, 34, 36, 37, 33, 32, 35) consecutivos.

6. Rejilla de alas perfiladas según la reivindicación 5, caracterizada por que la rejilla de alas perfiladas está compuesta por uno, dos o tres primeros sectores y uno, dos o tres segundos sectores.

7. Rejilla de alas perfiladas según la reivindicación 5, caracterizada por que los valores de orientación de los cristales de primeros segundos álabes (21, ..., 25) son menores que un segundo valor límite y los valores de orientación de los cristales de segundos segundos álabes (31, ..., 37) son por lo menos iguales que el segundo valor límite; y por que la rejilla de alas perfiladas presenta un primer segundo sector (2; 2'; 2''), el cual está compuesto por lo menos por tres primeros segundos álabes (22, 21, 23, 24, 25) consecutivos, y presenta un segundo segundo sector (3; 3'; 3''), el cual está compuesto por lo menos por tres segundos segundos álabes (31, 34, 36, 37, 33, 32, 35) consecutivos.

8. Rejilla de alas perfiladas según la reivindicación anterior, caracterizada por que la rejilla de alas perfiladas está compuesta por uno, dos o tres primeros sectores, uno, dos o tres primeros segundos sectores y uno, dos o tres segundos segundos sectores.

9. Rejilla de alas perfiladas según una de las cuatro reivindicaciones anteriores, caracterizada por que un valor límite asciende por lo menos al 10%, en particular por lo menos al 25%, y/o como mucho al 90%, en particular como mucho al 75%, de un valor de orientación de los cristales máximo de la rejilla de alas perfiladas.

10. Rejilla de alas perfiladas según una de las cinco reivindicaciones anteriores, caracterizada por que los álabes de un sector forman por lo menos el 20%, en particular por lo menos el 35%, y/o como mucho el 80%, en particular como mucho el 65% del número de álabes de la rejilla de alas perfiladas.

11. Rejilla de alas perfiladas según una de las seis reivindicaciones anteriores, caracterizada por que los valores de orientación de los cristales de los álabes de un sector están dispuestos regularmente, en particular en un orden monótono, o irregularmente.

12. Rejilla de alas perfiladas según una de las siete reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la orientación de los cristales del material monocristalino depende de una desviación de una dirección del cristal, en particular de la dirección [001] o dirección [100], del material monocristalino de una dirección de perfil, en particular un eje de apilamiento o cuerda perfilada de una hoja de pala del álabe.

13. Turbomáquina, en particular turbina de gas, con por los menos una rejilla de alas perfiladas, en particular una rejilla de circulación o conductora, de una expansión o expansión compresora según una de las reivindicaciones anteriores.

14. Procedimiento para la producción de una rejilla de alas perfiladas según una de las reivindicaciones anteriores, con el paso:

apoyo móvil de por lo menos un primer cuerpo de una primera disposición de cuerpo en por lo menos un primer álabe y por lo menos un segundo cuerpo de una segunda disposición de cuerpo diferente de ésta en por lo menos un segundo álabe.

15. Procedimiento según la reivindicación anterior, además comprende los pasos:

clasificación de álabes conforme a su orientación de los cristales; y agrupación de los álabes ordenados en sectores conforme a sus valores de orientación de los cristales.

Fig. 1

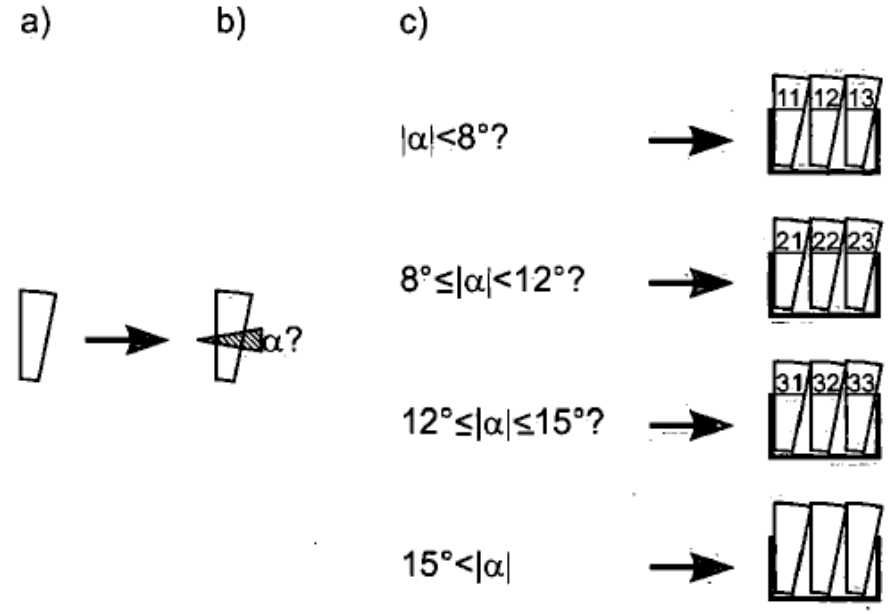
a)
b)
c)
α?
|α|<8°?
11
12
13
8°≤|α|<12°?
21
22
23
12°≤|α|≤15°?
31
32
33
15°<|α|

Fig. 2

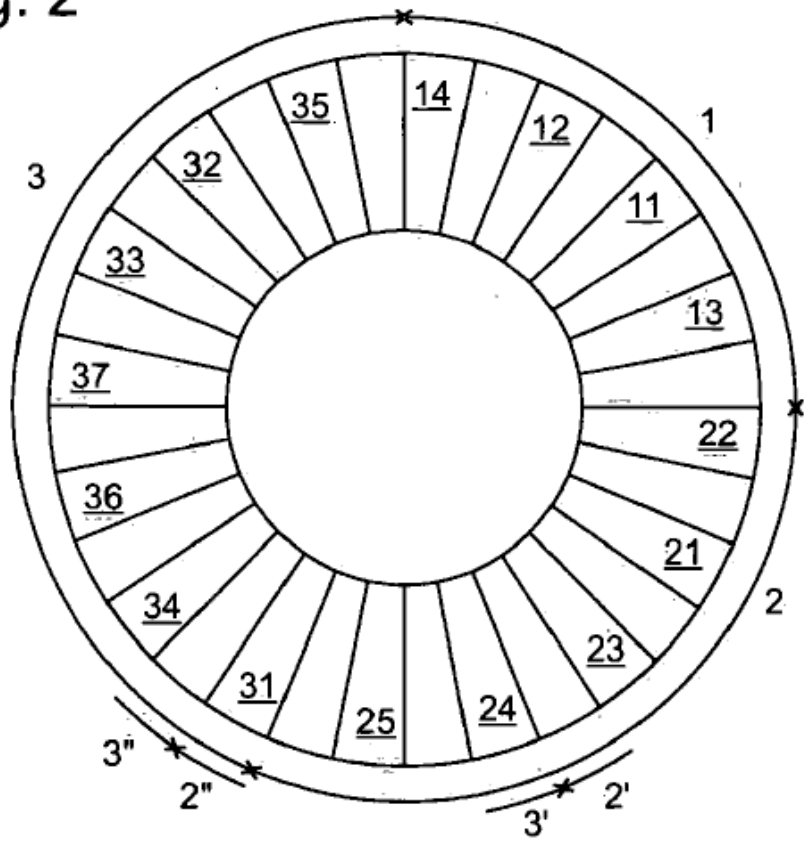
1
2
2'
2"
3
3'
3"
11
12
13
14
21
22
23
24
25
31
32
33
34
35
36
37

Fig. 3

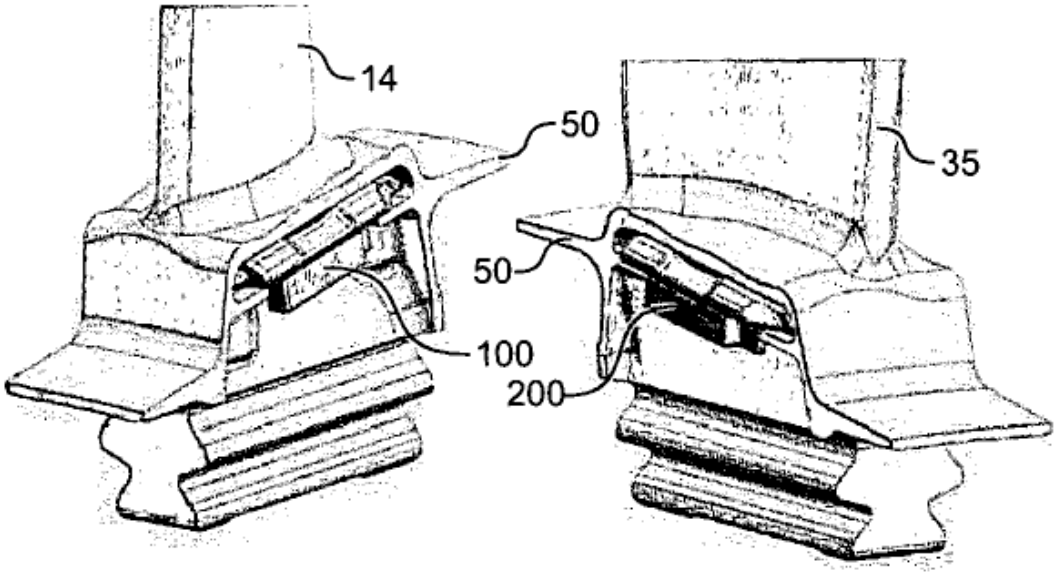
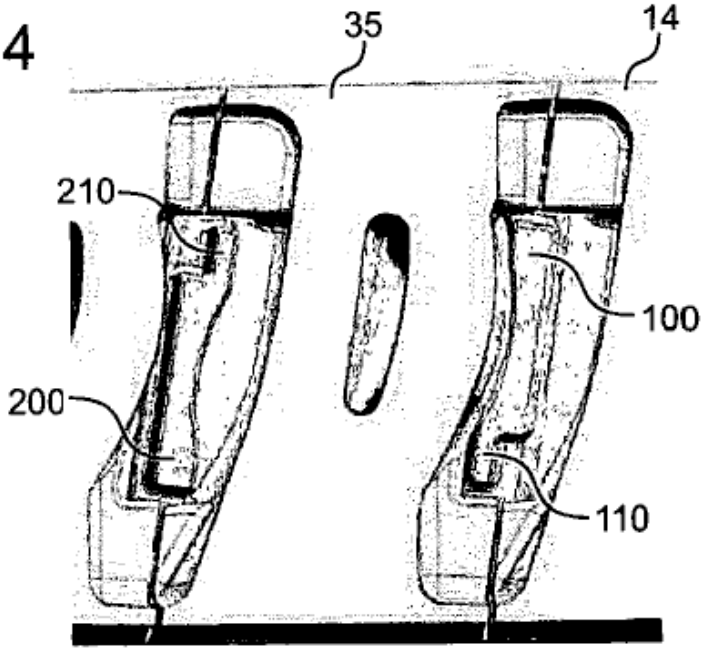
Fig. 4