(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 537 006**

(51) Int. CI.:

F01D 5/30 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.07.2012 E 12734898 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2015 EP 2670953**

(54) Título: **Raíz de pala, pala correspondiente, disco de rotor y conjunto de turbomáquina**

(30) Prioridad:

14.07.2011 EP 11174019

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.06.2015

(73) Titular/es:

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Wittelsbacherplatz 2
80333 München , DE

(72) Inventor/es:

BLUCK, RICHARD

(74) Agente/Representante:

PÉREZ BARQUÍN, Eliana

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).

RAÍZ DE PALA, PALA CORRESPONDIENTE, DISCO DE ROTOR Y CONJUNTO DE TURBOMÁQUINA

DESCRIPCIÓN

Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a un diseño de pala de turbomaquinaria y, más específicamente, a un perfil optimizado de una raíz de pala y/o de un disco de rotor.

Antecedentes de la invención

Una sección de turbina de una turbina de gas normalmente tiene una pluralidad de filas de álabes estacionarios y palas rotatorias. Las palas de una fila habitualmente son idénticas entre sí e incluyen una parte de perfil aerodinámico, una parte de plataforma y una parte de raíz. Algunas filas de palas pueden incluir adicionalmente una parte de cubierta que evita que escapen gases calientes por la punta de pala. La parte de raíz es la sección hacia el interior más radial de la pala y se usa para montar la pala en una hendidura o ranura de montaje prevista en un disco de rotor. Normalmente, para cada pala de rotor se proporciona una hendidura de montaje correspondiente. Las palas se montan particularmente deslizando axialmente cada parte de raíz al interior de la hendidura correspondiente.

Se conocen palas de turbina que se ajustan a discos de turbina por medio de perfiles en forma de abeto que actúan conjuntamente. Tales métodos de fijación proporcionan una ubicación exacta de la pala con respecto al disco. Los perfiles en forma de abeto son suficientemente fuertes como para resistir las fuerzas radialmente hacia el exterior (centrífugas) impuestas sobre la pala durante la rotación del disco y sus palas unidas en el funcionamiento del motor de turbina en el que está instalado. En funcionamiento, flancos de los perfiles en forma de abeto de las palas que están orientados en sentido opuesto (de manera oblicua) con respecto a un eje de motor y que están en contacto con perfiles en forma de abeto opuestos de las hendiduras, soportan las palas frente al movimiento radialmente hacia el exterior, y pueden considerarse flancos cargados. Los flancos orientados en sentido opuesto a los perfiles pueden considerarse flancos no cargados, puesto que no soportan ninguna fuerza radial significativa en funcionamiento.

La conformación convencional de una raíz en forma de abeto de pala de turbina se define usando líneas rectas y arcos circulares únicamente, cuando se considera una vista en sección de la raíz de pala, definiéndose la vista en sección mediante un plano perpendicular al eje de rotor de la turbina. Una conformación de este tipo está optimizada frente a varias restricciones geométricas y mecánicas.

Los flancos de los perfiles están interconectados mediante regiones de transición que son superficies alternativamente convexas, que habitualmente son arqueadas pero no siempre y se denominan entrantes o cuellos, y superficies cóncavas, que habitualmente son arqueadas pero no siembre y se conocen como esquinas o lóbulos o dientes u orejetas. Los entrantes normalmente son regiones de alta concentración de tensión.

Convencionalmente, pueden formarse perfiles en forma de abeto en raíces de pala de turbina en un procedimiento de rectificado.

La configuración de raíz en forma de abeto básica contiene múltiples trayectorias de carga potenciales, dependiendo la magnitud de las tensiones resultantes en ella de la precisión del ajuste inicial entre la raíz de pala y la hendidura correspondiente en el disco. Estas tensiones se producen durante el funcionamiento producidas por fuerzas centrífugas que afectan a las palas (siendo dependiente la carga centrífuga de la masa de toda la pala) y son especialmente preocupantes en caso de un posible fallo tal como agrietamiento por corrosión por fatiga o tensión. Puede limitarse la vida útil o el número de ciclos de funcionamiento de la pala.

Una raíz puede ser simétrica especularmente de manera sustancial. La raíz comprende un par de cuellos o entrantes más superiores simétricos que se extienden hacia abajo desde una superficie inferior de una plataforma y forman un rebaje en dirección circunferencial, un par de orejetas o lóbulos más superiores que se extienden hacia abajo desde los cuellos más superiores y forman un saliente en dirección circunferencial. Una pluralidad de pares de de cuellos y lóbulos simétricos pueden seguir hacia abajo en orden alternante. La parte de raíz terminará a través de un par de cuellos más inferiores simétricos seguidos por un par de lóbulos más inferiores simétricos. Las superficies del par de lóbulos más inferiores convergirán y se unirán en una ubicación más hacia abajo a través de una superficie arqueada o plana, la base de raíz.

Las publicaciones de patente EP 0431766, GB 2343225, EP 0478234, JP 59113206, DE 3236021, EP 1048821, GB 2380770, EP 0889202, US 5554005, US 2008/0298972, entre otras, muestran diferentes tipos de perfiles de raíz de pala, centrándose sustancialmente todas ellas en las tensiones en diferentes zonas de la raíz de pala, dirigiéndose todas ellas a optimizar la raíz de pala para diferentes tipos de máquinas, para diferentes tamaños de palas y/o para diferentes velocidades de funcionamiento. Todavía es un objetivo reducir el alto nivel de tensiones en los puntos de contacto entre la pala y un disco correspondiente en el que se monta la pala.

Sumario de la invención

Este objetivo se logra mediante las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes describen desarrollos y modificaciones ventajosos de la invención.

Según la invención se proporciona una raíz de pala que comprende una pluralidad de lóbulos y entrantes y flancos entremedias, en la que se proporciona un resalte suave entre los flancos y los entrantes para aumentar la distancia hasta un lóbulo correspondiente de un disco de rotor, en el que se inserta una pala con una raíz de pala de este tipo. La invención también se refiere a una pala de rotor que tiene una raíz de pala de este tipo. Además esta característica también puede aplicarse alternativa o adicionalmente a una ranura de disco de rotor de un disco de rotor, de manera que un flanco de la ranura de disco de rotor se fusiona con un entrante del disco de rotor a través de un resalte suave para aumentar la distancia hasta un lóbulo correspondiente de una raíz de pala.

El efecto de un resalte de este tipo (comprendiendo el resalte un radio interno y externo del entrante adyacentes entre sí), actuando una carga centrífuga de una pala durante el funcionamiento sobre sus radios de entrante interno y externo adyacentes, es inducir una tensión de compresión en el radio externo al final del contacto. Esto ayuda a anular tensiones de tracción que se establecerían por fricción en esta superficie de contacto.

Para definir la invención en más detalle, un aspecto de la invención se refiere a una raíz de pala, particularmente de una pala de turbina, que comprende una pluralidad de pares opuestos de lóbulos, una pluralidad de pares opuestos de entrantes, una base de la raíz de pala y una pluralidad de flancos, en los que los lóbulos y los entrantes están dispuestos en orden alternante y cada uno de los flancos está dispuesto entre uno de los lóbulos y uno de los entrantes. Cada uno del par de lóbulos está dispuesto simétrico especularmente de manera sustancial y cada lóbulo comprende una sección de superficie de lóbulo convexa. Cada uno del par de entrantes está dispuesto simétrico especularmente de manera sustancial y cada entrante comprende una sección de superficie de entrante cóncava. Un primer flanco de la pluralidad de flancos orientados en sentido opuesto a la base tiene una primera sección de superficie plana (es decir una superficie plana, incluso bajo carga cero, y sin protuberancias o hendiduras). Según la invención, esta primera sección de superficie plana es adyacente a (y/o se transforma en) una sección de superficie convexa. La primera sección de superficie plana es la parte de la raíz de pala que estará en contacto con un flanco de ranura de disco correspondiente durante el funcionamiento debido a la carga centrífuga. La primera sección de superficie plana está ubicada en un primer plano (ficticio). La sección de superficie de lóbulo convexa es adyacente a (y/o se transforma en) la primera sección de superficie plana. La sección de superficie de entrante cóncava es adyacente a (y/o se transforma en) la sección de superficie convexa. Según la invención, la sección de superficie convexa y una región de la sección de superficie de entrante cóncava contigua a la sección de superficie convexa forman un rebaje local (es decir una muesca, una depresión) respecto al primer plano.

En otras palabras, la sección de superficie convexa y una región de la sección de superficie de entrante cóncava contigua a la sección de superficie convexa forman un destalonado. El destalonado está dispuesto de manera que la distancia hasta una superficie opuesta correspondiente de un disco de rotor, cuando está montado, aumenta rápidamente debido a la sección de superficie convexa. Se forma un hueco entre las dos superficies mencionadas de la raíz de pala y el disco de rotor en la región de los entrantes de la raíz de pala.

Con el término par de lóbulos “opuestos” se quiere decir dos lóbulos que son simétricos especularmente entre sí y definen superficies orientadas en direcciones diametrales. Por consiguiente, esto mismo se aplica a un par de entrantes, de flancos, etc., opuestos.

Tal como se ha dicho, los flancos, particularmente el primer flanco, pueden ser superficies en ángulo, orientándose cada superficie sustancialmente en sentido opuesto a la base de la raíz de pala y pueden definir un área de superficie de contacto o de apoyo en la que una superficie correspondiente de un disco de rotor (particularmente, un disco de turbina) está en contacto durante el funcionamiento de la máquina rotatoria en la que está equipada la pala con su raíz de pala. Los flancos pueden ser particularmente flancos radialmente exteriores con respecto a un eje de rotación si la raíz de pala se inserta en un disco de rotor que puede rotar alrededor del eje.

En una primera realización, la extensión de la superficie de apoyo puede aumentar para los flancos que están más próximos a la base de la raíz. Esto es beneficioso ya que la carga se distribuye lo que puede reducir el nivel de tensión durante el funcionamiento en la zona de contacto entre la raíz de pala y el disco en el que está equipada la pala. La vida útil de la raíz de pala aumentará, particularmente la vida útil frente a la fatiga de ciclo bajo.

La invención puede referirse preferiblemente a una disposición con tres pares de lóbulos, tres pares de entrantes y tres pares de flancos entremedias.

Si se considera que el segundo flanco es el flanco intermedio y un tercer flanco es el más próximo a la base, entonces la extensión plana del segundo flanco y el tercer flanco pueden ser idénticas. Alternativamente, una tercera extensión plana del tercer flanco puede ser mayor que la segunda extensión plana del segundo flanco. Particularmente, la segunda extensión plana puede ser un 25%-50% mayor que la primera extensión plana. En una

realización muy preferida, la segunda extensión plana puede ser sustancialmente un 33% mayor que la primera extensión plana.

Las superficies de los entrantes pueden ser sustancialmente secciones de cilindros, posiblemente incluso cilindros elípticos. Un radio del cilindro puede denominarse radio de entrante. Un entrante puede estar definido por una sección de un cilindro. Alternativamente, son posibles estructuras de superficie más complejas en las que pueden estar definidas varias partes de superficies, para las que cada parte de la superficie está definida por un radio de entrante. Según una realización preferida de la invención, un radio de primer entrante de un primer entrante de la pluralidad de entrantes puede estar dispuesto en la posición más distante con respecto a la base de la raíz de pala, un radio de segundo entrante de un segundo entrante de la pluralidad de entrantes puede estar dispuesto en una posición más próxima (por ejemplo intermedia o inferior) con respecto a la base de la raíz de pala, y el radio de primer entrante puede ser sustancialmente igual al radio de segundo entrante. Preferiblemente todos los radios de entrante de los entrantes pueden ser idénticos, ya que esto puede reducir los puntos de tensión.

El rebaje local inventivo puede formarse particularmente de manera que la sección de superficie convexa aumenta una distancia ortogonal hasta el primer plano (es decir la distancia hasta el plano ficticio si la distancia se mide en perpendicular al primer plano) en sentido desde su primer extremo en el que la sección de superficie convexa se fusiona con la primera sección de superficie plana hasta su segundo extremo en el que la sección de superficie convexa se fusiona con la sección de superficie de entrante cóncava. Por tanto, se forma un hueco y se ensancha entre las superficies correspondientes de la raíz de pala y el disco de rotor mediante la configuración específica de tipo silla de montar de la combinación de la sección de superficie convexa y la sección adyacente de la sección de superficie de entrante cóncava.

En una realización adicional, la sección de superficie convexa puede fusionarse con la primera sección de superficie plana con una transición suave, en particular mediante un resalte suave, es decir sin ningún reborde o sin ningún pliegue o doblez marcado. Lo mismo se aplica para la sección de superficie convexa en la ubicación en la que se fusiona con la sección de superficie de entrante cóncava.

En otra realización, la forma de abeto se estrecha en anchura desde una región de plataforma hasta la base de la raíz de pala. Particularmente, suponiendo que cada uno del par de lóbulos comprende secciones de superficie más distales que definen la distancia más ancha entre superficies opuestas del par de lóbulos, entonces la distancia más ancha entre superficies opuestas del par de lóbulos puede ser la más corta para el par de lóbulos más próximos a la base de la raíz de pala y aumenta para cada par de lóbulos con una distancia más grande hasta la base. Adicional o alternativamente, suponiendo que cada uno del par de entrantes comprende secciones de superficie distante mínimas que definen la distancia más estrecha entre superficies opuestas del par de entrantes, entonces la distancia más estrecha entre superficies opuestas del par de entrantes puede ser la más corta para el par de entrantes más próximos a la base y aumenta para cada par de entrantes con una distancia más grande hasta la base.

Según una realización adicional, los dos entrantes más próximos a la base pueden estar configurados sustancialmente similares entre sí. Se considera que un radio de primer entrante de un primer entrante de la pluralidad de entrantes está dispuesto en una primera posición más próxima con respecto a la base de la raíz de pala y que un radio de segundo entrante de un segundo entrante de la pluralidad de entrantes está dispuesto en una segunda posición más distante con respecto a la base de la raíz de pala en comparación con la primera posición. Entonces, el radio de primer entrante puede ser sustancialmente igual al radio de segundo entrante.

Generalmente, una raíz de pala puede tener una sección transversal particular y puede tener una sección transversal idéntica por toda la longitud de la raíz de pala. A lo largo de su longitud, la raíz de pala puede ser recta o puede seguir una curva continua, teniendo la curva un diseño que puede insertarse en una ranura correspondiente sin inclinación. Las caras de extremo de la raíz de pala pueden parecerse a la sección transversal. Las caras laterales de la raíz de pala están formadas por los lóbulos, entrantes, flancos y la base de la raíz de pala, tal como se explicó antes. Particularmente, la pluralidad de pares opuestos de lóbulos y la pluralidad de pares opuestos de entrantes pueden formar sustancialmente dos superficies sin bordes onduladas, siendo las superficies particularmente simétricas a un plano de simetría y progresando particularmente de forma continua alejándose de la base libre de voladizos y libre de superficies perpendiculares al plano de simetría, como escalones o ápices.

Aún en otra realización, la configuración comentada anteriormente puede mostrarse mediante la raíz de pala una vez fabricada o bajo carga cero. Adicionalmente, esta configuración también está presente cuando se produce carga durante el funcionamiento. Particularmente, la primera sección de superficie plana puede ser una superficie plana sin carga.

La forma de las superficies durante el funcionamiento puede depender del material usado. Particularmente, el material que puede usarse es un material no deformable, no elástico, un material rígido. Puede ser no deformable en relación con las fuerzas que se espera que estén actuando sobre la superficie durante el funcionamiento.

Además, la invención también se refiere a una pala que puede proporcionarse para una máquina rotatoria, como una turbomáquina, por ejemplo particularmente una pala de turbina para una turbina de gas o vapor. La pala comprende

un perfil aerodinámico, una plataforma desde la que el perfil aerodinámico se extiende hacia arriba y una raíz de pala que se extiende hacia abajo, la raíz de pala para unir la pala a un rotor en una hendidura o ranura del rotor, por ejemplo un disco de rotor. La raíz de pala está configurada según cualquiera de las realizaciones tal como se comentó previamente antes.

Además, la invención también se refiere a un conjunto de turbomáquina, particularmente para una turbina, por ejemplo una turbina de gas o vapor, que comprende un disco con una pluralidad de ranuras y una pluralidad de palas con raíces de pala tal como se definió anteriormente, insertada cada una en la pluralidad de ranuras. Las ranuras y las palas están dispuestas de manera que durante el funcionamiento, las zonas de contacto (superficies de apoyo) entre una superficie de las ranuras y una superficie de las palas están limitadas a la pluralidad de secciones de superficie sustancialmente plana de las raíces de pala.

El concepto de esta invención también puede aplicarse adicional o alternativamente a ranuras de un disco de rotor. En lo que sigue se define y se explica en más detalle un disco de rotor. Aun cuando no se comente con todo detalle como antes con respecto a la pala de rotor, todas las realizaciones explicadas anteriormente para la raíz de pala también pueden aplicarse por consiguiente para la ranura de un disco de rotor.

Según un aspecto de la invención, un disco de rotor, particularmente para montar palas de turbina, comprende una pluralidad de ranuras de disco, comprendiendo adicionalmente cada una de la pluralidad de ranuras de disco:

- una pluralidad de pares opuestos de lóbulos de ranura, estando dispuesto cada uno del par de lóbulos de ranura simétrico especularmente de manera sustancial y comprendiendo cada lóbulo de ranura una sección de superficie de lóbulo de ranura convexa;

- una pluralidad de pares opuestos de entrantes de ranura, estando dispuesto cada uno del par de entrantes de ranura simétrico especularmente de manera sustancial y comprendiendo cada entrante de ranura una sección de superficie de entrante de ranura cóncava;

- una pluralidad de flancos de ranura, en los que los lóbulos de ranura y los entrantes de ranura están dispuestos en orden alternante y cada uno de los flancos de ranura está dispuesto entre uno de los lóbulos de ranura y uno de los entrantes de ranura;

- una base de la ranura de disco;

en el que un primer flanco de ranura de la pluralidad de flancos de ranura que se orienta sustancialmente hacia la base tiene una segunda sección de superficie plana, que es adyacente a una sección de superficie de transición convexa, estando ubicada la segunda sección de superficie plana en un primer plano (que es sustancialmente idéntico al primer plano definido anteriormente para la raíz de pala); y

en el que la sección de superficie de lóbulo de ranura convexa es adyacente a la segunda sección de superficie plana; y

en el que la sección de superficie de entrante de ranura cóncava es adyacente a la sección de superficie de transición convexa; y en el que la sección de superficie de transición convexa y una región de la sección de superficie de entrante de ranura cóncava contigua a la sección de superficie de transición convexa forman un rebaje local respecto al primer plano.

El rebaje local forma particularmente una traslación paralela de la primera sección de superficie plana, como un escalón que conduce a una desviación.

La invención también se refiere a un conjunto de turbomáquina, que comprende un disco de rotor con una pluralidad de ranuras de disco y una pluralidad de palas equipadas en las ranuras. El conjunto de turbomáquina puede comprender palas con raíces de pala inventivas tal como se comentó antes. Las ranuras de disco de rotor pueden no tener un rebaje local en una realización. La primera sección de superficie plana puede ser la superficie de apoyo cuando está en funcionamiento. Alternativamente, las ranuras de disco de rotor pueden tener un rebaje local en otra realización tal como se comentó anteriormente pero las raíces de pala no muestran una característica de este tipo. La segunda sección de superficie plana puede ser la superficie de apoyo cuando está en funcionamiento.

Como última configuración, tanto las ranuras de disco de rotor como las raíces de pala pueden mostrar ambas rebajes locales tal como se comentó anteriormente. Preferiblemente, la primera sección de superficie plana y la segunda sección de superficie plana serán superficies de coincidencia sustancialmente perfecta y son superficies de apoyo durante el funcionamiento.

Tal como se dijo anteriormente, esta invención se refiere a piezas de montaje destinadas a rotar alrededor de un eje de una pieza que porta la pieza montada. Esto se aplica por ejemplo a palas de rotor en turbinas de vapor o turbinas de gas. La invención también puede usarse en principio en otras máquinas rotatorias, como motores o compresores.

Además, la raíz de pala inventiva también puede usarse para montar álabes de estator no rotatorios, aun cuando no existe el problema de las fuerzas centrífugas para los dispositivos no rotatorios.

Ha de observarse que las realizaciones de la invención se han descrito con referencia a diferentes contenidos. En particular, algunas realizaciones se han descrito con referencia a reivindicaciones de tipo aparato, mientras que otras realizaciones se han descrito con referencia a métodos. Sin embargo, un experto en la técnica deducirá a partir de la descripción anterior y de la que sigue que, a menos que se notifique otra cosa, además de cualquier combinación de características que pertenecen a un tipo de contenido también se considera que se da a conocer con esta solicitud de patente cualquier combinación entre características relacionadas con diferentes contenidos, en particular entre características de diferentes reivindicaciones de tipo aparato o entre características de realizaciones de tipo aparato y realizaciones que se refieren a métodos.

Los aspectos definidos anteriormente y aspectos adicionales de la presente invención son evidentes a partir de los ejemplos de realización que van a describirse a continuación en el presente documento y se explican con referencia a los ejemplos de realización.

Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirán las realizaciones de la invención, a modo de ejemplo únicamente, con referencia a los dibujos adjuntos, de los que:

figura 1: muestra esquemáticamente una parte de una sección de turbina de una turbina de gas en una vista en sección transversal;

figura 2: ilustra discos de rotor en una vista en perspectiva;

figura 3: muestra una raíz con forma de abeto de una pala de la técnica anterior en una vista en sección transversal;

figura 4: muestra una raíz con forma de abeto de una pala inventiva y un disco correspondiente en una vista en sección transversal;

figura 5: muestra una zona ampliada de la pala inventiva de la figura 4;

figura 6: muestra una zona ampliada de un disco inventivo alternativo;

figura 7: muestra una zona ampliada de una realización alternativa de una combinación de una pala inventiva y un disco inventivo;

figura 8: ilustra una pala inventiva en una vista en perspectiva.

La ilustración en los dibujos es esquemática. Se observa que para elementos similares o idénticos en diferentes figuras, se usarán los mismos signos de referencia.

Algunas de las características y especialmente las ventajas se explicarán para una turbina de gas montada, pero obviamente las características pueden aplicarse también a los componentes individuales de la turbina de gas, aunque sólo pueden mostrarse las ventajas una vez montados y durante el funcionamiento. Sin embargo, cuando se explican por medio de una turbina de gas durante el funcionamiento, ninguno de los detalles debe limitarse a una turbina de gas mientras está en funcionamiento. En general, la invención puede aplicarse a otros tipos de máquinas que proporcionan un movimiento rotacional alrededor un eje de rotación y en las que es necesario conectar las piezas rotatorias con un elemento portador, ejecutando éste un movimiento rotacional alrededor del eje, de modo que las fuerzas centrífugas afectan a las piezas rotatorias. Particularmente, esta tecnología puede aplicarse a motores de turbinas de gas o motores de turbinas de vapor. Con respecto a los motores de turbina de gas, la invención puede aplicarse a palas de rotor dentro de una sección de turbina y/o dentro de una sección de compresor.

Descripción detallada de la invención

Con referencia ahora a la figura 1, una parte de una sección de turbina de una turbina de gas se representa en una vista en sección transversal a lo largo de un eje de rotación. Se muestran dos álabes de estator y dos palas de rotor alternantes. La pala 2 de rotor comprende un perfil 4 aerodinámico, una plataforma 2 y una raíz 1 de pala. La pala 2 de rotor se inserta a través de su raíz 1 de pala en una ranura de un disco 5 de rotor. La ranura y el disco 5 de rotor están formados correspondientemente de manera que la pala 2 de rotor y las palas de rotor adicionales se mantienen en su sitio durante la rotación del disco 5 de rotor. Particularmente es importante que la pala 2 de rotor se mantenga en su sitio cuando resulta afectada por fuerzas centrífugas debido a las altas velocidades de rotación del disco 5 de rotor.

Para retener la pala 2 de rotor en su sitio, las ranuras serán normalmente acanaladas, tal como puede observarse en la figura 2.

En todo este documento, se define una dirección axial a lo largo de un eje de rotación de un rotor. En la figura 1, la dirección axial será en un plano del dibujo y será de izquierda a derecha. Una dirección radial también será en el plano del dibujo y será ortogonal a la dirección axial, por ejemplo desde la raíz 1 de pala, hasta una plataforma 3 de pala y adicionalmente hasta el perfil 4 aerodinámico. Ortogonal a la dirección radial y la axial, puede definirse una dirección circunferencial.

Según la figura 2, se muestran parcialmente dos discos 5 de rotor desde una vista en perspectiva sin sus palas correspondientes. Se muestran una pluralidad de ranuras 6 en una región radialmente exterior de los discos 5. Cada ranura está diseñada de manera que tiene forma de abeto para proporcionar una pala con una raíz con forma de abeto.

Las características y la terminología de una raíz con forma de abeto de una pala de la técnica anterior se explican con referencia a la figura 3, que muestra una vista en sección transversal de una raíz de pala conocida. La sección transversal se facilita en un plano radial del disco de rotor, que muestra particularmente el diseño en forma de abeto de la raíz de pala y el diseño en forma de abeto correspondiente del disco de rotor.

Con referencia a la figura 3, puede describirse la forma bidimensional de una raíz de pala en una vista en sección transversal tal como puede observarse desde una dirección axial usando un conjunto de líneas rectas y arcos circulares. El cuerpo tridimensional completo puede ser sustancialmente una proyección axial de esta forma en sección transversal bidimensional.

Una raíz 1 de una pala incluye en orden descendente radialmente hacia el interior (tal como se observa desde un extremo radial hacia el exterior de la raíz que se dirige a una plataforma de la pala) un cuello o entrante 21 de raíz más superior, al menos un cuello o entrante 22 intermedio y un cuello o entrante 23 más inferior. Cada entrante está formado simétricamente alrededor de una línea central de raíz RCL por un par de superficies curvas en imagen especular que tienen una forma única que se describirá en más detalle más adelante. Cada punto distante mínimo de un par de entrantes simétricos especularmente se indica como secciones 25, 26, 27 de superficie distante mínimas con sus secciones 25', 26', 27' de superficie distante mínimas simétricas. La distancia entre un par de secciones 25-25', 26-26' y 27-27' de superficie distante mínimas tiene una anchura indicada por las líneas D15, D16 y D17 horizontales para el entrante 21 más superior, el entrante 22 intermedio y el entrante 23 más inferior, respectivamente.

La sección de superficie distante mínima también puede denominarse base o valle. La distancia se medirá en perpendicular al plano de simetría.

Una orejeta o lóbulo 11 más superior está formado por debajo del entrante 21 más superior y también está dispuesto simétricamente alrededor de la línea central de raíz RCL. Una orejeta o lóbulo 12 intermedio está dispuesto por debajo del entrante 22 intermedio. Una orejeta o lóbulo 13 más inferior está dispuesto por debajo del entrante 23 más inferior.

Cada punto distante máximo de un par de lóbulos simétricos especularmente está indicado como secciones 15, 16, 17 de superficie más distales con sus secciones 15', 16', 17' de superficie más distales simétricas. La distancia entre un par de secciones 15-15', 16-16' y 17-17' de superficie más distales tiene una anchura indicada por las líneas D10, D11 y D12 horizontales para el lóbulo 11 más superior, el lóbulo 12 intermedio y el lóbulo 13 más inferior, respectivamente.

La sección de superficie más distal también puede denominarse pico, cúspide o cresta. La distancia se medirá en perpendicular al plano de simetría.

El entrante 21 más superior, a cada lado de la línea central de raíz RCL, tiene un radio compuesto en el que un primer radio R1 tiene un centro R1C de pivote para definir una superficie que se extiende desde la parte 3 de plataforma hasta un punto 134 de transición. En el punto 134, se usa un segundo radio R2 para completar la superficie de entrante trazando una curva desde un centro R1C de pivote separado hacia el interior del centro R1C de pivote.

El centro R1C de pivote se sitúa sobre una línea TN que es tangente a las superficies radiales exteriores de los lóbulos 11, 12 y 13 de raíz. El punto 134 de transición desde el primer radio hasta el segundo radio se selecciona trazando una línea PL perpendicular desde la tangente TN y que pasa a través de un punto PI de intersección en la línea central de raíz RCL en el que los planos PB que incluyen las superficies de apoyo del lóbulo más superior se cortan entre sí y con la línea central de raíz RCL.

Cada lóbulo de la raíz de pala tiene una superficie de apoyo superior, plana, de manera que el lóbulo 11 tiene una superficie 28a de apoyo, el lóbulo 12 tiene una superficie 30a de apoyo y el lóbulo 13 has una superficie 32a de

apoyo. En el lóbulo 11 más superior, las superficies de apoyo en lados opuestos de la línea central de raíz RCL se cortan en la RCL y por tanto proporcionan un punto de referencia para la línea PL perpendicular que proporciona el punto 134 de transición entre los radios primero y segundo del entrante 21 más superior.

Para los lóbulos y entrantes restantes, puede usarse un único radio en centros de pivote escalonados. Por ejemplo, la extensión radial exterior del lóbulo 11 puede formarse mediante dos segmentos de radio del radio R3 y R4. R3 y R4 pueden ser iguales entre sí, pero posiblemente los centros R3C y R4C de pivote están escalonados verticalmente para producir una parte de superficie aplanada entre las dos partes de radio formadas por los dos radios de igual longitud.

También puede haber una superficie 28b aplanada que se orienta de manera sustancialmente radial hacia el interior que se extiende desde el lóbulo 11 hasta el entrante 22. Puede estar presente una superficie 30b aplanada adicional entre el lóbulo 12 y el entrante 23.

Según el dibujo, el lóbulo 13 más inferior tiene una superficie inferior plana. La base se indica mediante el número de referencia 10.

Basándose en esta terminología introducida, se describen las realizaciones de la invención con referencia a las siguientes figuras.

Según la figura 4, se muestra una raíz 1 de pala en forma de abeto de una pala inventiva en una vista en sección transversal que incluye una sección de una forma de abeto de un disco 5 de rotor que muestra una ranura, en la que se inserta la pala. La sección transversal se facilita en un plano radial del disco 5 de rotor o tal como podría observarse cuando que se orienta hacia el disco 5 de rotor desde una vista axial, considerando que el disco 5 de rotor rotará alrededor de un eje durante el funcionamiento.

Puesto que la figura 4 muestra un diseño similar a la raíz 1 de pala mostrada en la figura 3, todavía se aplica la mayoría de los números de referencia para la figura 4 sin modificación. Puede que no se repitan de nuevo los elementos ya introducidos, puesto que también puede aplicarse a la figura 4 lo dicho anteriormente.

Antes de entrar en detalles, una diferencia principal entre la figura 4 y la figura 3 es que en las regiones de los entrantes 21, 22, 23, 21', 22', 23' de la raíz 1 de pala, la superficie puede no estar en contacto de apoyo con los lóbulos correspondientes del disco de rotor. De esta manera, puede reducirse la tensión y puede prolongarse la vida útil de la pala.

Respecto a la explicación que sigue, "superior" o "hacia arriba" puede indicar una posición de la raíz 1 de pala más próxima a la plataforma 3 de pala o más próxima al perfil 4 aerodinámico. "Inferior", "hacia abajo" o "descendente" significa el sentido opuesto, en sentido opuesto a la plataforma 3 de pala a lo largo de la raíz 1 de pala hasta una base 10 de la raíz 1 de pala. La parte más inferior de la raíz 1 se denominará base 10 en todo este documento. Una vez montada en el disco 5 que puede rotar alrededor de un eje de rotación, la línea central de raíz RCL (tal como se indica en la figura 3) de la raíz 1 de pala se dirige en una dirección radial. La base 10 está más próxima al eje de rotación que las otras partes de la raíz 1 de pala. Por tanto, "radialmente hacia el exterior" corresponde al sentido "hacia arriba", "radialmente hacia el interior" define el sentido opuesto.

La raíz 1 de pala representada es simétrica especularmente a un plano que puede indicarse mediante la línea central de raíz RCL (tal como se muestra en la figura 3). Los elementos simétricos especularmente normalmente se mencionarán con el mismo número de referencia seguido por un apóstrofo (').

La raíz 1 de pala comprende una base 10, una pluralidad de pares opuestos de lóbulos y una pluralidad de pares opuestos de entrantes. Comenzando en un extremo hacia arriba de la raíz 1 cerca la plataforma y luego siguiendo hacia abajo, la superficie en un lado de la raíz está formada por un primer entrante 21, seguido por un primer lóbulo 11, adicionalmente un segundo entrante 22 (entrante intermedio), continuando con un segundo lóbulo 12, seguido por un tercer entrante 23 y un tercer lóbulo 13 (que forma parte de un extremo de raíz de tipo bulbo inferior y que se fusiona con la base 10). Finalmente la superficie comentada se encuentra con la superficie opuesta en la base 10.

La superficie opuesta está formada de manera idéntica, puesto que es simétrica a la superficie que acaba de definirse. Se aplica el mismo orden a esta superficie opuesta, es decir un primer entrante 21' cerca de la plataforma, seguido por un primer lóbulo 11', un segundo entrante 22', un segundo lóbulo 12', un tercer entrante 23' y un tercer lóbulo 13'. Ambas superficies estarán cerradas en la base 10.

Puede tomarse una distancia entre puntos simétricos especularmente en las superficies opuestas. La distancia más grande entre áreas de superficie del par de primeros lóbulos 11, 11' opuestos viene dada por una primera anchura D10 (véase la figura 3). Las áreas de superficie con la distancia más grande se indican como secciones 15, 15' de superficie más distales (véase la figura 3). De manera similar, las secciones 16, 16' de superficie más distales (véase la figura 3) definen la distancia más grande de superficie (segunda anchura D11 (véase la figura 3)) entre el par de segundos lóbulos 12, 12' opuestos. Además, se indica una tercera anchura D12 (véase la figura 3) entre las

secciones 17, 17’ de superficie más distales (véase la figura 3), que tienen la distancia más ancha entre las dos superficies en la zona de los lóbulos 13, 13’.

Tal como puede observarse en la figura 4 en cuanto a la anchura entre los lóbulos 11, 11’, 12, 12’, 13, 13’ de la raíz 1 de pala, la primera anchura D10 es más ancha que la segunda anchura D11. La anchura más pequeña es la tercera anchura D12.

De manera similar a los lóbulos 11, 11’, 12, 12’, 13, 13’ también pueden definirse las distancias entre los entrantes 21, 21’, 22, 22’, 23, 23’. De nuevo, algunos de los detalles se explicarán según la figura 4, pero los signos de referencia sólo pueden observarse en la figura 3. La distancia más corta entre áreas de superficie del par de primeros entrantes 21, 21’ opuestos se indica como la primera anchura D15. Las áreas de superficie con la distancia más corta se indican como secciones 25, 25’ de superficie distante mínimas. De manera similar, las secciones 26, 26’ de superficie distante mínimas definen la distancia de superficie más corta (segunda anchura D16) entre el par de segundos entrantes 22, 22’ opuestos. Además, se indica una tercera anchura D17 entre las secciones 27, 27’ de superficie distante mínimas, que tienen la distancia más corta entre las dos superficies en la zona de las secciones 23, 23’ de superficie distante mínimas.

Tal como puede observarse en la figura 3 (y de manera similar en la figura 4 aun cuando no se muestran los signos de referencia en la figura 4) en cuanto a la anchura entre secciones de superficie distante mínimas, la primera anchura D15 es más ancha que la segunda anchura D16. La anchura más pequeña es la tercera anchura D17.

Aplicable a las realizaciones de la figura 3 y/o la figura 4, todas las secciones 25, 26, 27 de superficie distante mínimas de un lado de superficie pueden situarse dentro de un único plano ficticio plano. Los mismo se aplica a la figura 4, aun cuando no se mencionan los signos 25, 26, 27 de referencia en la figura para las secciones de superficie mínima para los entrantes 21, 21’, 22, 22’, 23, 23’. Obviamente, lo mismo se aplica para las superficies simétricas especularmente de la forma de abeto. Además, todas las secciones 15, 16, 17 de superficie más distales de un lado de superficie pueden situarse dentro de un único plano ficticio plano adicional. De nuevo, lo mismo se aplica a la figura 4, aun cuando no se mencionan los signos 15, 16, 17 de referencia en la figura para las secciones de superficie más distales para los lóbulos 11, 11’, 12, 12’, 13, 13’.

Puede construirse una tangente a un lado de las superficies de raíz en la que pueden situarse todas las superficies de lóbulo de un lado de raíz (véase la tangente TN en la figura 3). Adicionalmente, también podría construirse una tangente a un lado de las superficies de raíz en la pueden situarse todas o al menos dos superficies de entrante de un lado de raíz (véase la tangente TNN en la figura 3).

La raíz 1 de pala puede definirse adicionalmente de manera que las secciones 25, 25’ de superficie distante mínimas tienen una distancia hasta la base 10 que es mayor que la distancia de las secciones 26, 26’ de superficie distante mínimas, que de nuevo es mayor que la distancia de las secciones 27, 27’ de superficie distante mínimas.

Tal como puede observarse, los lóbulos 11, 11’, 12, 12’, 13, 13’ y los entrantes 21, 21’, 22, 22’, 23, 23’ están dispuestos de manera alternante. Hay zonas de transición entremedias. Las zonas de transición de la superficie de raíz de pala que se orientan inclinadas en dirección a la plataforma de pala y se orientan en sentido opuesto a la base 10 de la raíz 1 y que estarán en contacto con una superficie correspondiente de la ranura 6 del disco 5 se indican como el flanco 31, 31’, 32, 32’, 33, 33’. Los flancos 31, 31’, 32, 32’, 33, 33’ son sustancialmente planos y son superficies de apoyo. En sentido hacia abajo comenzando desde la plataforma y centrándose sólo en un lado de superficie, el primer entrante 21 va seguido por un primer flanco 31, que entonces se fusiona con el primer lóbulo 11. El segundo entrante 22 se fusiona a través de un segundo flanco 32 con el segundo lóbulo 12. Finalmente, el tercer flanco 33 define una zona de transición entre el tercer entrante 23 y el tercer lóbulo 13. Lo mismo se aplica a la superficie simétrica que muestra los flancos 31’, 32’, 33’ opuestos a los flancos 31, 32, 33.

El primer flanco 31 comprende una primera sección PS1 de superficie plana con una primera extensión plana. La primera extensión plana tiene sustancialmente forma de un rectángulo con una dimensión que puede observarse en la vista en sección transversal de la figura 4 y la otra dimensión que es la longitud axial de la raíz 1 de pala.

Los otros flancos también tienen cada uno una sección de superficie plana con una extensión plana, pero en lo que sigue todas las explicaciones se facilitan para el primer flanco 31.

Según la realización, la extensión plana del flanco 33 más hacia abajo puede ser mayor que la extensión plana del flanco 32 medio, que de nuevo puede ser mayor que la extensión plana del flanco 31 más hacia arriba. Alternativamente, la extensión plana de los dos flancos 32, 33 más inferiores puede ser idéntica.

Puesto que la extensión plana indica las superficies de apoyo, se entiende que a través del segundo flanco 32 que tiene una extensión más grande que el primer flanco 31, puede producirse menos tensión en la raíz.

Las fuerzas centrífugas durante el funcionamiento se retienen a través de los flancos 31, 31’, 32, 32’, 33, 33’. Otras superficies pueden estar en contacto directo con la ranura 6 del disco 5 pero puede que no se consideren una

superficie de apoyo. Adicionalmente, en algunas partes puede haber incluso un hueco entre una superficie de la ranura 6 y una superficie de la raíz 1 de pala.

En la figura 4 también se indican los radios de entrante como R11 y R12. Puede considerarse una simplificación que los entrantes sólo sigan una sección de cilindro circular o de un cilindro elíptico. El entrante puede estar compuesto por varias secciones que pueden definirse a través de radios de entrante, tal como se muestra en la figura 3. No obstante, en una realización preferida, los dos radios R11 de entrante mencionados para el entrante 22, 22' medio y R12 para el entrante 23, 23' inferior de todos los entrantes son sustancialmente idénticos.

En referencia a la figura 4, la zona indicada con A se destaca en más detalle en la figura 5. Todo lo dicho anteriormente se aplicará no sólo para el lóbulo 11, el primer flanco 31 y el entrante 21, tal como se muestra en la figura 5, sino que puede aplicarse por consiguiente a los otros lóbulos, entrantes y flancos.

Según la figura 5, en el sentido hacia arriba, la raíz 1 de pala comprende el lóbulo 11 con una sección 65 de superficie de lóbulo convexa, un primer flanco 31 con una primera sección PS1 de superficie plana y el entrante 21 con una sección 75 de superficie de entrante cóncava. Según una realización de la invención, la sección 6 de superficie de lóbulo convexa es directamente adyacente a y se fusiona con la primera sección PS1 de superficie plana, mientras que una sección de transición está ubicada entre la primera sección PS1 de superficie plana y la sección 75 de superficie de entrante cóncava. Esta sección de transición comprende un rebaje (o destalonado) UC local, que se crea por una sección CS1 de superficie convexa y una región de extremo hacia abajo de la sección 75 de superficie de entrante cóncava.

De hecho, la primera sección PS1 de superficie plana gira suavemente en sentido opuesto a un primer plano PL1 en el que está ubicada la primera sección PS1 de superficie plana, de manera que se forma la sección CS1 de superficie convexa. Desde un primer extremo E1 de la sección CS1 de superficie convexa en sentido hacia arriba, la superficie de la raíz 1 de pala aumentará la distancia hasta el primer plano PL1. La sección CS1 de superficie convexa se aplanará y se fusionará con la sección 75 de superficie de entrante cóncava en un segundo extremo E2 (una línea de inflexión) de la sección CS1 de superficie convexa.

La extensión de la sección CS1 de superficie convexa es particularmente sólo una fracción de la extensión de la sección 75 de superficie de entrante cóncava, la primera sección PS1 de superficie plana o la sección 65 de superficie de lóbulo convexa. El radio de un cilindro que define la sección CS1 de superficie convexa es igual o mayor que los radios de la sección 75 de superficie de entrante cóncava o la sección 65 de superficie de lóbulo convexa.

Mediante estas características de superficie de la raíz 1 de pala, se crea un perfil invertido global, de modo que se aumenta una distancia hasta una superficie de disco de rotor correspondiente. Un resalte está definido por la sección CS1 de superficie convexa a partir de la cual (en sentido hacia arriba) las superficies correspondientes de la raíz 1 de pala y el disco 5 de rotor no estarán en contacto de apoyo. El apoyo está limitado a la primera sección PS1 de superficie plana.

Según esta realización, una ranura de un disco 5 de rotor puede tener un perfil sencillo, en el que una superficie de entrante cóncava va seguida por una superficie plana y de nuevo por una superficie de lóbulo convexa. La superficie de la ranura no tiene un rebaje local ni un resalte como la raíz 1 de pala (véase el destalonado UC).

La carga centrífuga de la pala que actúa radialmente hacia fuera de una superficie de contacto de apoyo según la técnica anterior normalmente produciría una alta tensión local que va a establecerse en el borde de la superficie de contacto, o la restricción, denominado tensión de borde de asiento. Se sabe que esta tensión produce roturas por fatiga de raíces de pala en las que es evidente el agrietamiento normal a la cara de flanco de raíz y la emanación desde el borde contacto. Según el diseño mejorado tal como se explicó anteriormente, el efecto de la carga centrífuga de la pala que actúa sobre los radios de entrante interno y externo adyacentes es inducir una tensión de compresión en la forma de radio externo en el borde de contacto (cerca del primer extremo E1 de la sección CS1 de superficie convexa). Esto ayuda a anular tensiones de tracción que se establecerían por fricción. Esto puede tener el efecto secundario de aumentar las tensiones de tracción en el radio de entrante interno, pero éstas pueden tender a ser significativamente inferiores a la tensión de borde de asiento.

De nuevo, el diseño facilitado tiene la ventaja de que es posible fabricar este perfil usando métodos convencionales, por ejemplo un procedimiento de rectificado plano de profundidad de gran rendimiento o brochado.

La idea inventiva de las figuras 4 y 5 también puede aplicarse a discos de rotor de manera que se optimiza una ranura 6 de un disco 5 de rotor. En una realización de este tipo (explicada adicionalmente con referencia a la figura 6) podría decirse en líneas generales que las características se aplican simétricamente por puntos (cuando se observa en una vista en sección transversal) en comparación con la realización anterior, de manera que ahora la superficie de ranura comprende un resalte para formar un rebaje local y que la raíz 1 de pala no forma un rebaje local de este tipo.

Según la figura 6, la raíz 1 de pala tiene un diseño más sencillo que antes, de manera que la sección 65 de superficie de lóbulo convexa va seguida por la primera sección PS1 de superficie plana y de nuevo directamente por la sección 75 de superficie de entrante cóncava. La superficie de la raíz 1 de pala no tiene la sección CS1 de superficie convexa, el rebaje local ni el resalte como la raíz 1 de pala de la realización anterior de las figuras 4 y 5.

El disco 5 de rotor comprende una pluralidad de ranuras 6 de disco para montar palas de turbina, comprendiendo cada ranura 6 de disco una pluralidad de pares opuestos de lóbulos de ranura y una pluralidad de pares opuestos de entrantes de ranura. En lo que sigue sólo se comenta un lóbulo 100 de ranura específico y un entrante 101 de ranura específico con referencia a la figura 6. Las características que van a comentarse podrían aplicarse por ejemplo para la región destacada mediante el signo A de referencia en la figura 4. El lóbulo 100 de ranura define una sección 102 de superficie de lóbulo de ranura convexa que se fusiona con una segunda sección PS2 de superficie plana de un primer flanco 104' de ranura. El flanco 104' que se comenta es una superficie de apoyo y está orientado sustancialmente hacia una base 105 (véase la figura 4) de la ranura 6 de disco. Según la invención, la segunda sección PS2 de superficie plana se fusiona con una sección 103 de superficie de entrante de ranura cóncava del entrante 101 de ranura a través de una parte de transición que forma un rebaje (o destalonado) UC local en la superficie de la ranura 6 de disco. En particular, en el sentido hacia abajo, la segunda sección PS2 de superficie plana va seguida por una sección CS2 de superficie de transición convexa, en la que esta última se fusiona suavemente con la sección 103 de superficie de entrante de ranura cóncava.

Considerando que la segunda sección PS2 de superficie plana está ubicada en un primer plano PL1, la combinación de la sección CS2 de superficie de transición convexa y una región de la sección 103 de superficie de entrante de ranura cóncava contigua a la sección CS2 de superficie de transición convexa forma un rebaje (o destalonado) UC local respecto al primer plano PL1. De hecho, se logra un desplazamiento transversal de la superficie mediante esta configuración. Con el término rebaje local no quiere decirse una cavidad de manera que la superficie volverá a aumentar de nuevo en el mismo nivel en que comenzó. Sólo quiere decirse un descenso de la superficie, similar a un perfil que se alcanzará si el perfil de superficie sigue una función matemática de arcocotangente, es decir arccot(x).

Con referencia a la figura 7, se muestra una realización adicional en la que la superficie de la raíz 1 de pala y la superficie de la ranura 6 de disco tienen cada una un rebaje local tal como se explicó anteriormente. La raíz 1 de pala está configurada tal como se comentó con referencia a las figuras 4 y 5. La ranura 6 de disco está configurada tal como se comentó con referencia a la figura 6. La raíz de pala muestra ahora un destalonado que se denomina primer destalonado UC1 y la ranura de disco muestra un destalonado que se denomina segundo destalonado UC2.

Como configuración preferida, el primer destalonado UC1 estará en un extremo opuesto de una zona de contacto de la primera sección PS1 de superficie plana y la segunda sección PS2 de superficie plana en comparación con el segundo destalonado UC2. Por tanto, la superficie de pala aumenta la distancia hasta el primer plano PL1 en el que se ubican la primera sección PS1 de superficie plana y la segunda sección PS2 de superficie plana debido a la sección CS1 de superficie convexa de la pala, mientras que la superficie de ranura aumenta la distancia hasta el primer plano PL1 debido a la sección CS2 de superficie de transición convexa del disco.

Mostrando las realizaciones de las figuras 4, 5 ó 7 desde un ángulo diferente, la primera sección PS1 de superficie plana y las secciones de superficie plana adicionales de los lóbulos adicionales de la raíz 1 de pala también pueden observarse en la figura 8 que muestra una pala 2 de turbina inventiva en una vista en perspectiva. La primera sección PS1 de superficie plana (que define una primera extensión A10 plana) para los flancos 31, 31' más hacia arriba está destacada y representa la zona de contacto con la superficie correspondiente de la ranura 6 del disco 5, que no se muestra en la figura 8. La primera sección PS1 de superficie plana es sustancialmente plana y rectangular, tal como se indica mediante la primera extensión A10 plana.

Además, se muestra una segunda extensión A11 plana de un lóbulo medio, que preferiblemente es mayor que la primera extensión A10 plana. Particularmente, la segunda extensión A11 plana puede estar aumentada en un 30% en comparación con la primera extensión A10 plana.

Finalmente, también se facilita en la figura 8 una tercera extensión A12 plana de un lóbulo inferior, que preferiblemente es mayor que la primera extensión A10 plana y puede ser igual a o mayor que la segunda extensión A11 plana. La extensión de la tercera extensión A12 plana se define por una longitud L12 del flanco 33 y la longitud axial de la raíz 1 de pala.

La forma de la superficie entre los lóbulos 13, 13' inferiores y la base 10 puede no modificarse a lo largo de la longitud axial. Alternativamente, tal como se muestra en la figura, una sección media puede tener un rebaje, que puede usarse para formar una entrada para aire de enfriamiento que debe guiarse hacia el interior de la pala.

En la figura 8 también se indican los radios de entrante como R10, R11 y R12. Puede considerarse una simplificación que los entrantes sólo sigan una sección de un cilindro circular o de un cilindro elíptico. El entrante puede estar compuesto por varias secciones que pueden definirse a través de una pluralidad de radios de entrante, tal como se muestra en la figura 3. No obstante, debe entenderse que todos los lóbulos y entrantes pueden tener

generalmente un perfil similar o el mismo perfil, de modo que aunque sólo se muestran un lóbulo y un entrante en las figuras 5-7, pueden implementarse de hecho todos o al menos varios de los otros lóbulos y entrantes de manera similar con los destalonados UC1 y/o UC2 inventivos.

Las realizaciones tal como se han introducido antes pueden tener un beneficio sustancial con respecto a la vida útil de una pala. Pueden evitarse las tensiones que podrían dar como resultado grietas.

Ha de observarse que puede ser ventajoso si pueden estar presentes exactamente tres pares de lóbulos y tres pares de entrantes en la raíz de pala. Posiblemente también pueden ser posibles otras configuraciones.

Además, ha de observase que las realizaciones mostradas se aplicarán en situaciones de no funcionamiento así como durante el funcionamiento.

REIVINDICACIONES

1. Raíz (1) de pala, particularmente de una pala (2) de turbina, que comprende:

- una pluralidad de pares opuestos de lóbulos (11, 11', 12, 12', 13, 13'), estando dispuesto cada uno del par de lóbulos (11, 11', 12, 12', 13, 13') simétrico especularmente de manera sustancial y comprendiendo cada lóbulo (11, 11', 12, 12', 13, 13') una sección (65, 65', 66, 66', 67, 67') de superficie de lóbulo convexa;

- una pluralidad de pares opuestos de entrantes (21, 21', 22, 22', 23, 23'), estando dispuesto cada uno del par de entrantes (21, 21', 22, 22', 23, 23') simétrico especularmente de manera sustancial y comprendiendo cada entrante (21, 21', 22, 22', 23, 23') una sección (75, 75', 76, 76', 77, 77') de superficie de entrante cóncava;

- una pluralidad de flancos (31, 31', 32, 32', 33, 33'), en los que los lóbulos (11, 11', 12, 12', 13, 13') y los entrantes (21, 21', 22, 22', 23, 23') están dispuestos en orden alternante y cada uno de los flancos (31, 31', 32, 32', 33, 33') está dispuesto entre uno de los lóbulos (11, 11', 12, 12', 13, 13') y uno de los entrantes (21, 21', 22, 22', 23, 23');

- una base (10) de la raíz (1) de pala;

en la que un primer flanco (31) de la pluralidad de flancos (31, 31', 32, 32', 33, 33') orientados en sentido opuesto a la base (10) tiene una primera sección (PS1) de superficie plana, estando ubicada la primera sección (PS1) de superficie plana en un primer plano (PL1); y

en la que la sección (65, 65', 66, 66', 67, 67') de superficie de lóbulo convexa es adyacente a la primera sección (PS1) de superficie plana;

caracterizada porque la primera sección (PS1) de superficie plana es adyacente a una sección (CS1) de superficie convexa y

la sección (75, 75', 76, 76', 77, 77') de superficie de entrante cóncava es adyacente a la sección (CS1) de superficie convexa; y

la sección (CS1) de superficie convexa y una región de la sección (75, 75', 76, 76', 77, 77') de superficie de entrante cóncava contigua a la sección (CS1) de superficie convexa forman un rebaje (UC) local respecto al primer plano (PL1).

2. Raíz (1) de pala según la reivindicación 1, caracterizada porque

el rebaje (UC) local está formado de manera que la sección (CS1) de superficie convexa aumenta una distancia ortogonal hasta el primer plano (PL1) en sentido desde su primer extremo (E1) en el que la sección (CS1) de superficie convexa se fusiona con la primera sección (PS1) de superficie plana hasta su segundo extremo (E2) en el que la sección (CS1) de superficie convexa se fusiona con la sección (75, 75', 76, 76', 77, 77') de superficie de entrante cóncava.

3. Raíz (1) de pala según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque

la sección (CS1) de superficie convexa se fusiona con la primera sección (PS1) de superficie plana con una transición suave y/o

la sección (CS1) de superficie convexa se fusiona con la sección (75, 75', 76, 76', 77, 77') de superficie de entrante cóncava con una transición suave.

4. Raíz (1) de pala según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque

- cada uno del par de lóbulos (11, 11', 12, 12', 13, 13') comprende secciones (40, 43, 44) de superficie más distales que definen la distancia (d1, d2) más ancha entre superficies opuestas del par de lóbulos (11, 11', 12, 12', 13, 13'), y

- la distancia (d1, d2) más ancha entre superficies opuestas del par de lóbulos (11, 11', 12, 12', 13, 13') es la más corta para el par de lóbulos (11, 11', 12, 12', 13, 13') más próximos a la base (10) y aumenta para cada par de lóbulos (11, 11', 12, 12', 13, 13') con una distancia más grande hasta la base (10).

5. Raíz (1) de pala según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque

- cada uno del par de entrantes (21, 21', 22, 22', 23, 23') comprende secciones (41) de superficie distante

mínimas que definen la distancia más estrecha entre superficies opuestas del par de entrantes (21, 21', 22, 22', 23, 23'), y

- la distancia más estrecha entre superficies opuestas del par de entrantes (21, 21', 22, 22', 23, 23') es la más corta para el par de entrantes (21, 21', 22, 22', 23, 23') más próximos a la base (10) y aumenta para cada par de entrantes (21, 21', 22, 22', 23, 23') con una distancia más grande hasta la base (10).

6. Raíz (1) de pala según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque

un radio (R12) de primer entrante de un primer entrante (23) de la pluralidad de entrantes (21, 21', 22, 22', 23, 23') está dispuesto en una primera posición más próxima con respecto a la base (10) de la raíz (1) de pala,

un radio (R11) de segundo entrante de un segundo entrante (22) de la pluralidad de entrantes (21, 21', 22, 22', 23, 23') está dispuesto en una segunda posición más distante con respecto a la base (10) de la raíz (1) de pala en comparación con la primera posición,

siendo el radio (R12) de primer entrante sustancialmente igual al radio (R11) de segundo entrante.

7. Raíz (1) de pala según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque

la pluralidad de pares opuestos de lóbulos (11, 11', 12, 12', 13, 13') y la pluralidad de pares opuestos de entrantes (21, 21', 22, 22', 23, 23') forman sustancialmente dos superficies sin bordes onduladas, siendo las superficies particularmente simétricas a un plano de simetría y progresando particularmente de forma continua alejándose de la base (10) libre de voladizos y libre de superficies perpendiculares al plano de simetría.

8. Raíz (1) de pala según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque

la primera sección (PS1) de superficie plana es plana bajo carga cero y durante el funcionamiento.

9. Pala (2), particularmente de una turbina, que comprende:

- un perfil (4) aerodinámico;

- una plataforma (3) desde la que el perfil (4) aerodinámico se extiende hacia arriba; y

- una raíz (1) de pala configurada según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, extendiéndose la raíz (1) de pala hacia abajo desde la plataforma (3).

10. Disco (5) de rotor, particularmente para montar palas (2) de turbina, que comprende una pluralidad de ranuras (6) de disco, comprendiendo adicionalmente cada una de la pluralidad de ranuras (6) de disco:

- una pluralidad de pares opuestos de lóbulos (100) de ranura, estando dispuesto cada uno del par de lóbulos (100) de ranura simétrico especularmente de manera sustancial y comprendiendo cada lóbulo (100) de ranura una sección (102) de superficie de lóbulo de ranura convexa;

- una pluralidad de pares opuestos de entrantes (101) de ranura, estando dispuesto cada uno del par de entrantes (101) de ranura simétrico especularmente de manera sustancial y comprendiendo cada entrante (101) de ranura una sección (103) de superficie de entrante de ranura cóncava;

- una pluralidad de flancos (104) de ranura, en los que los lóbulos (100) de ranura y los entrantes (101) de ranura están dispuestos en orden alternante y cada uno de los flancos (104) de ranura está dispuesto entre uno de los lóbulos (100) de ranura y uno de los entrantes (101) de ranura;

- una base (105) de la ranura (6) de disco;

en el que un primer flanco (104') de ranura de la pluralidad de flancos (104) de ranura que se orienta sustancialmente hacia la base (105) tiene una segunda sección (PS2) de superficie plana, estando ubicada la segunda sección (PS2) de superficie plana en un primer plano (PL1); y

en el que la sección (102) de superficie de lóbulo de ranura convexa es adyacente a la segunda sección (PS2) de superficie plana;

caracterizado porque la segunda sección (PS2) de superficie plana es adyacente a una sección (CS2) de superficie de transición convexa y la sección (103) de superficie de entrante de ranura cóncava es

adyacente a la sección (CS2) de superficie de transición convexa; y

la sección (CS2) de superficie de transición convexa y una región de la sección (103) de superficie de entrante de ranura cóncava contigua a la sección (CS2) de superficie de transición convexa forman un rebaje (UC) local respecto al primer plano (PL1).

11. Conjunto de turbomáquina, particularmente para una turbina, que comprende:

- un disco (5) de rotor con una pluralidad de ranuras (6) de disco;

- una pluralidad de palas (2) según la reivindicación 9, insertada cada una en la pluralidad de ranuras (6) de disco;

en el que las ranuras (6) de disco y las palas (2) están dispuestas de manera que durante el funcionamiento, las zonas de contacto entre una superficie de las ranuras (6) de disco y una superficie de las palas (2) están limitadas a la primera sección (PS1) de superficie plana del primer flanco (31) y a secciones (PS11, PS111) de superficie plana adicionales de otros de la pluralidad de flancos (31, 31', 32, 32', 33, 33') de la raíz (1) de pala.

12. Conjunto de turbomáquina, particularmente para una turbina, que comprende:

- un disco (5) de rotor según la reivindicación 10 con una pluralidad de ranuras (6) de disco;

- una pluralidad de palas (2), insertada cada una en la pluralidad de ranuras (6) de disco;

en el que las ranuras (6) de disco y las palas (2) están dispuestas de manera que durante el funcionamiento, las zonas de contacto entre una superficie de las ranuras (6) de disco y una superficie de las palas (2) están limitadas a la segunda sección (PS2) de superficie plana del primer flanco (104') de ranura y a secciones de superficie plana adicionales de otros de la pluralidad de flancos (104) de ranura de la ranura (6) de disco.

13. Conjunto de turbomáquina, particularmente para una turbina, que comprende:

- un disco (5) de rotor según la reivindicación 10 con una pluralidad de ranuras (6) de disco;

- una pluralidad de palas (2) según la reivindicación 9, insertada cada una en la pluralidad de ranuras (6) de disco;

en el que las ranuras (6) de disco y las palas (2) están dispuestas de manera que durante el funcionamiento, las zonas de contacto entre una superficie de las ranuras (6) de disco y una superficie de las palas (2) están limitadas a la primera sección (PS1) de superficie plana del primer flanco (31), estando en contacto de apoyo con la segunda sección (PS2) de superficie plana del primer flanco (104') de ranura y limitadas a las secciones (PS11, PS111) de superficie plana adicionales de otros de la pluralidad de flancos (31, 31', 32, 32', 33, 33') de la raíz (1) de pala y de otros de la pluralidad de flancos (104) de ranura de la ranura (6) de disco.

FIG 1

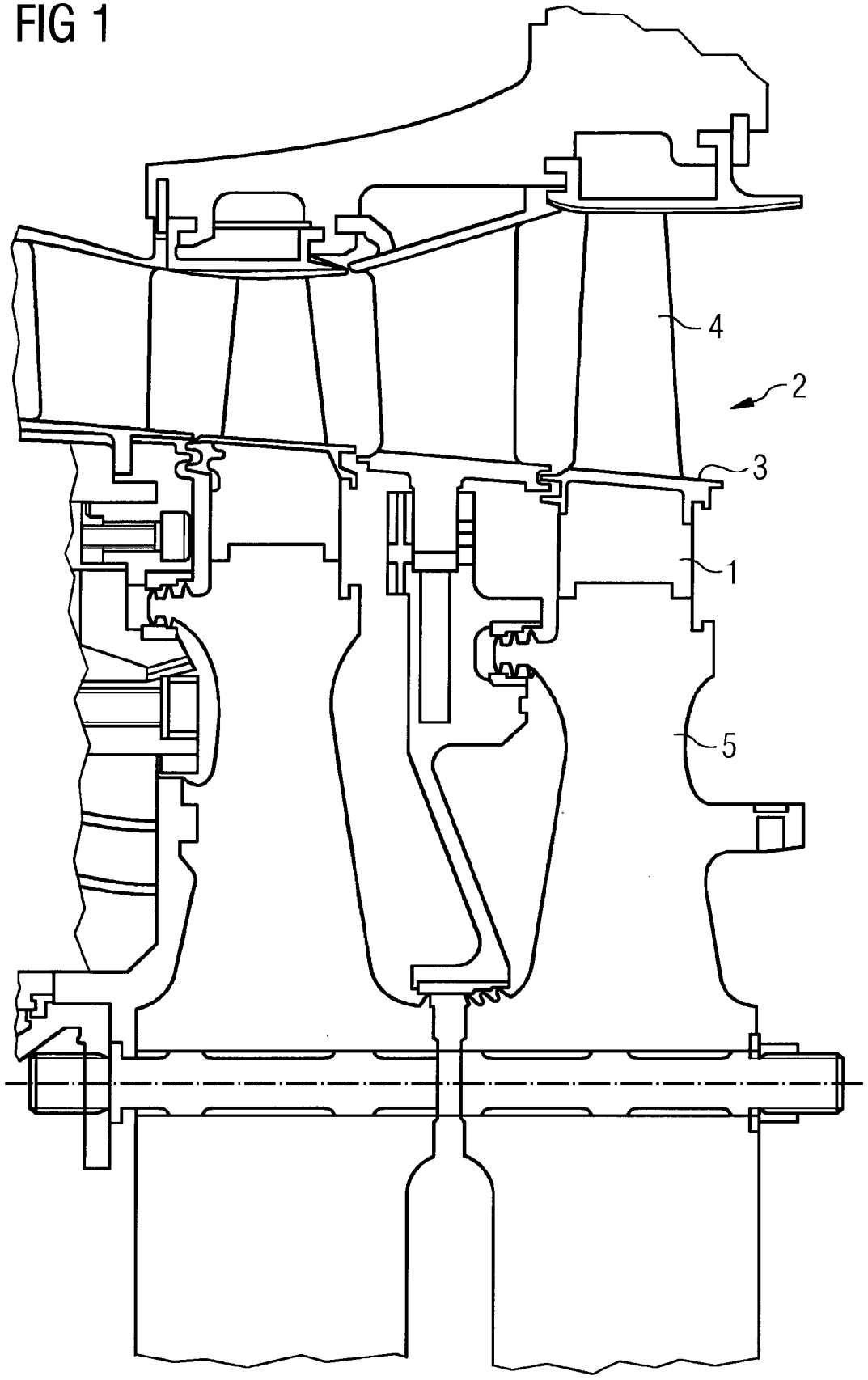

FIG 2

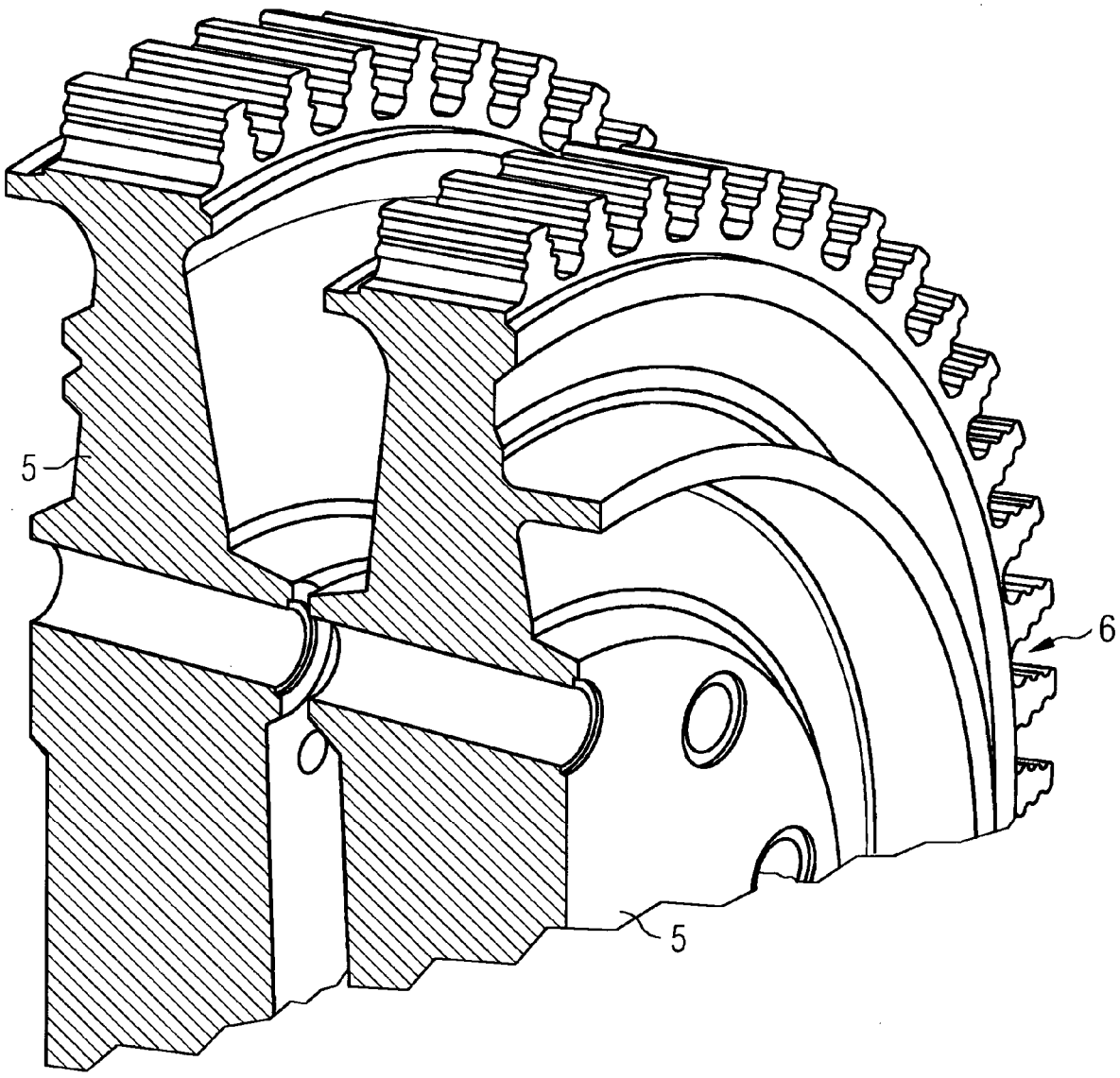

FIG 3

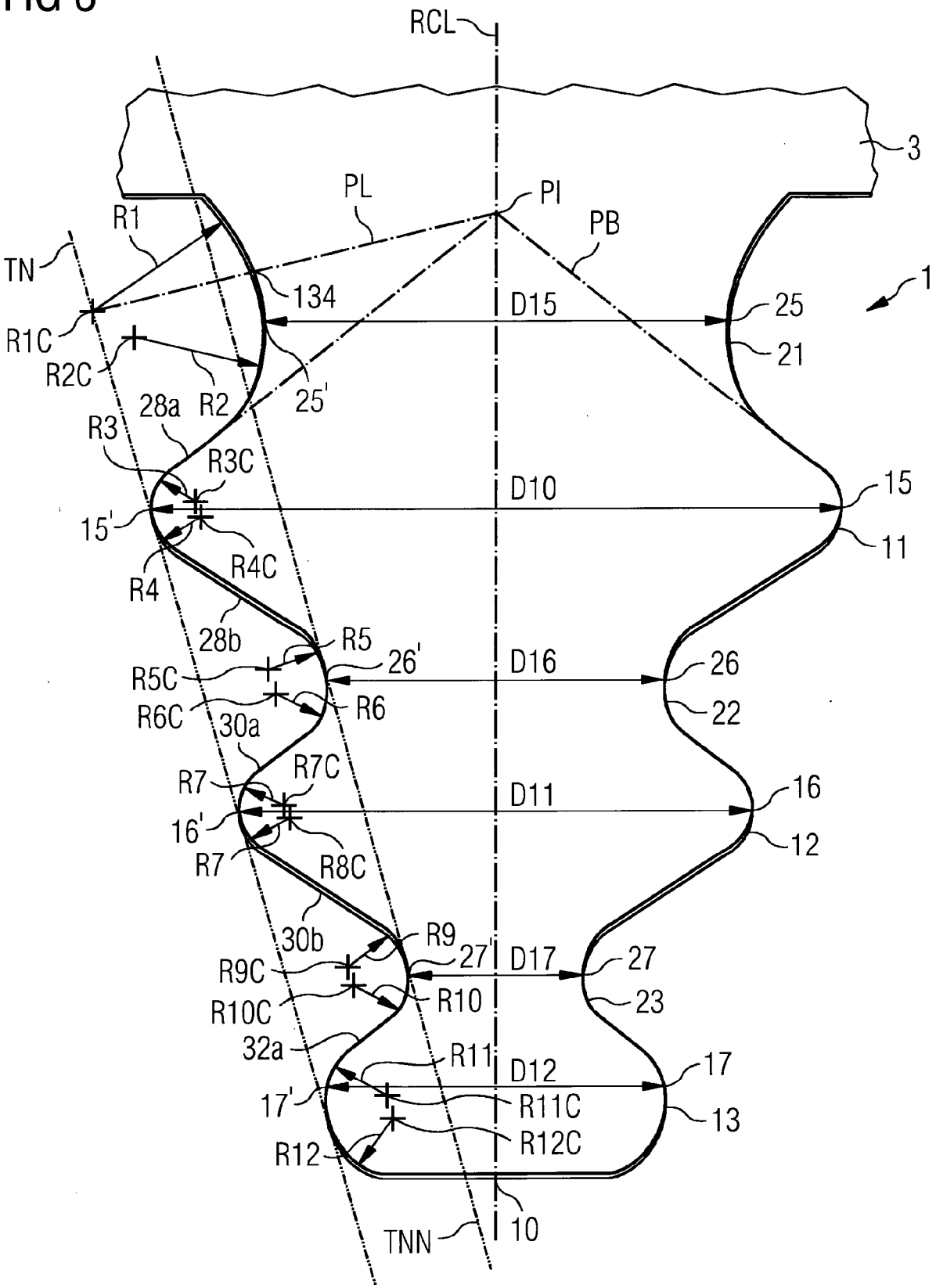
RCL
3
PL
PI
PB
R1
TN
134
D15
25
1
R1C
R2C
R2
25'
21
28a
R3
R3C
D10
15
15'
11
R4C
R4
28b
R5
26'
D16
26
R5C
R6C
R6
22
30a
R7
R7C
D11
16
16'
12
R7
R8C
30b
R9
27'
D17
27
R9C
R10C
R10
23
32a
R11
D12
17
17'
R11C
13
R12C
R12
10
TNN

FIG 4

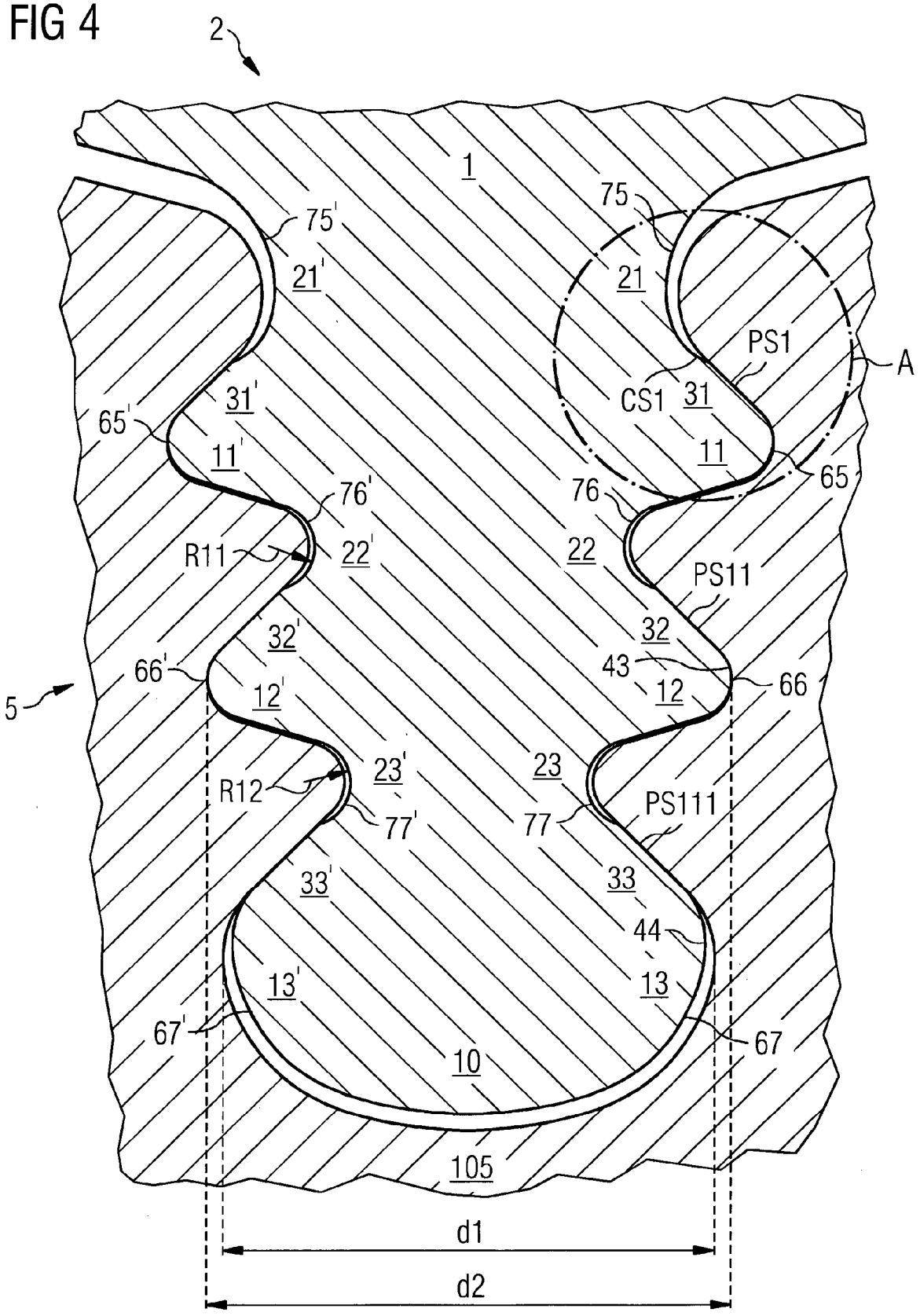
2
1
75'
21'
75
21
PS1
A
CS1
31
31'
65'
11'
11
65
76'
76
R11
22'
22
PS11
32'
32
66'
43
66
5
12'
12
23'
23
R12
77'
77
PS111
33'
33
44
13'
13
67'
67
10
105
d1
d2

FIG 5

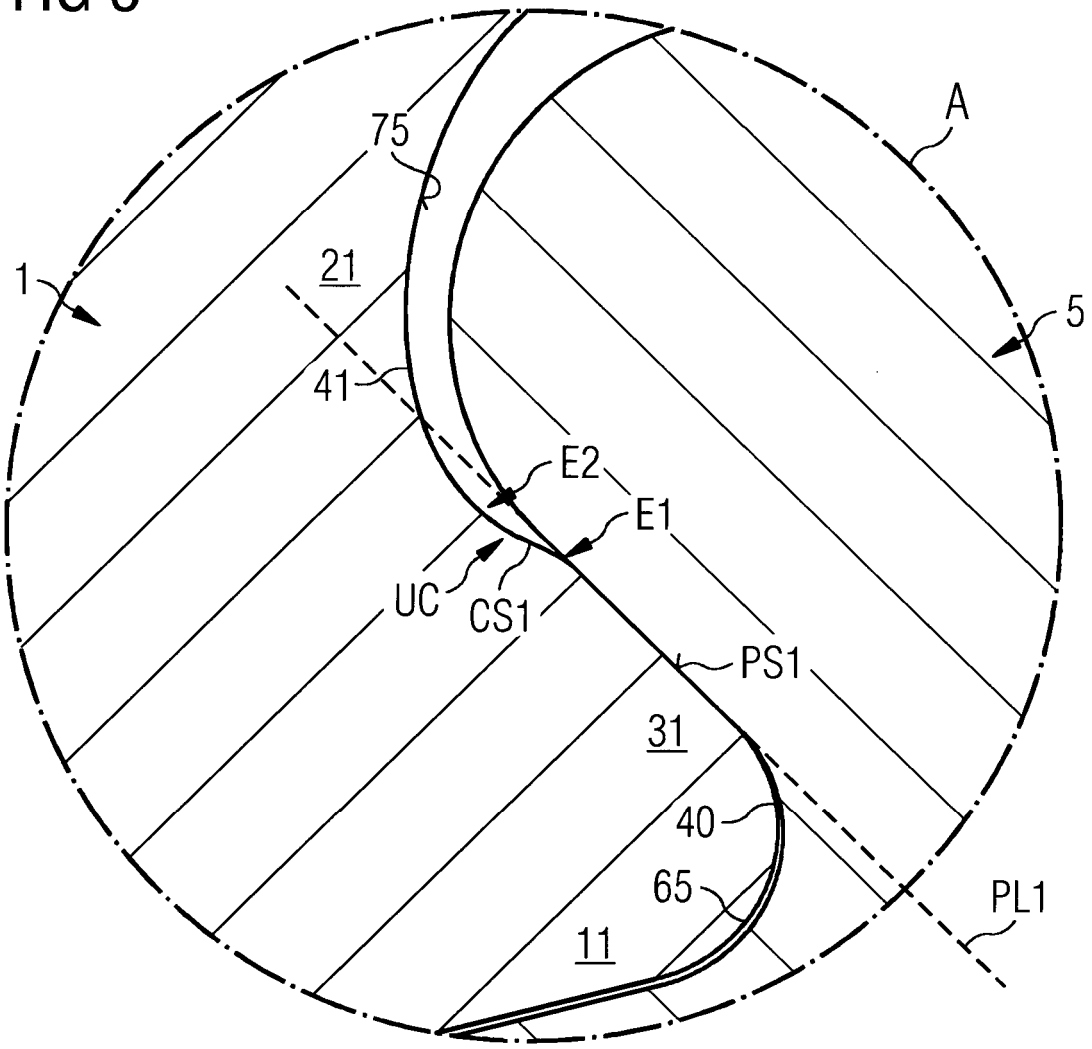

FIG 6

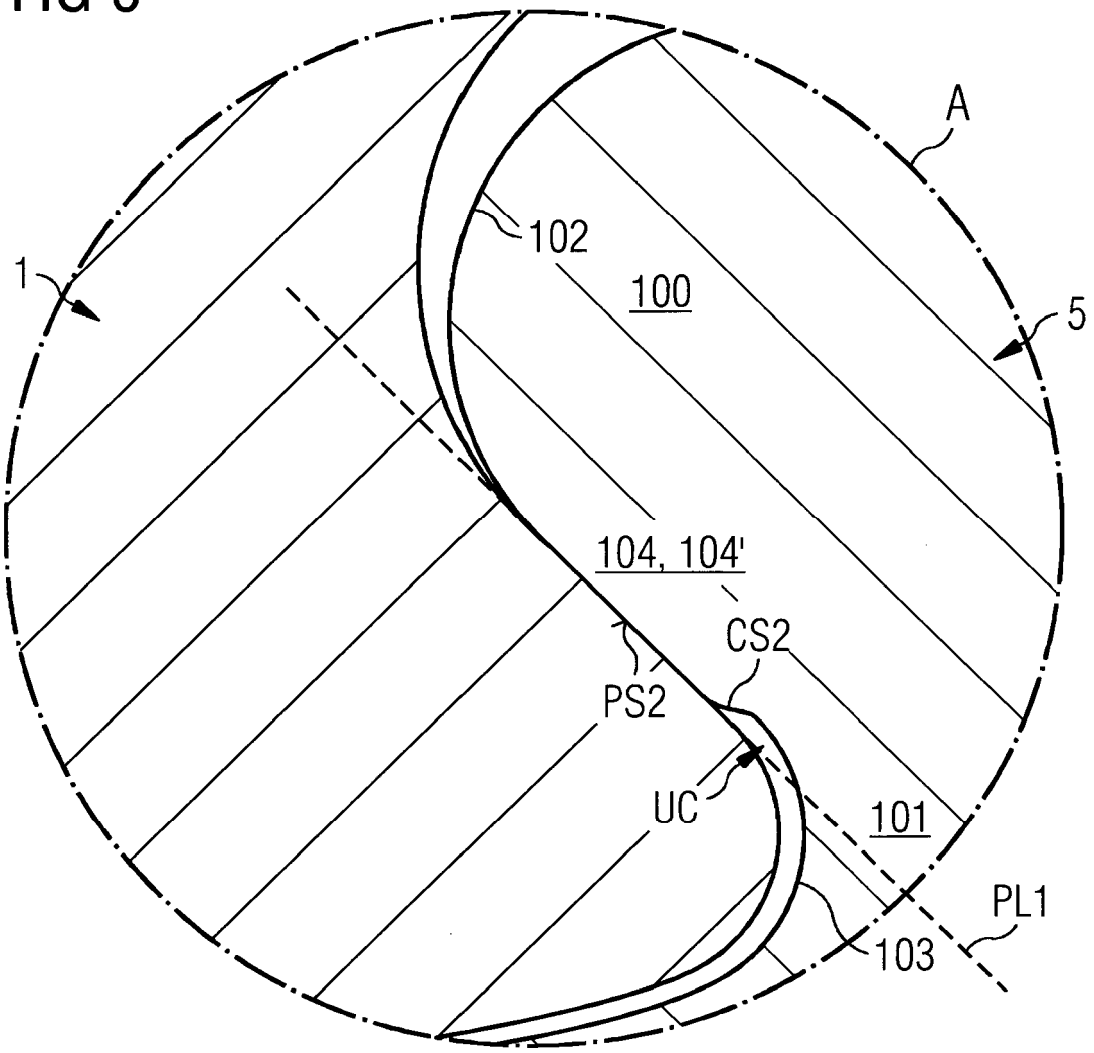

FIG 7

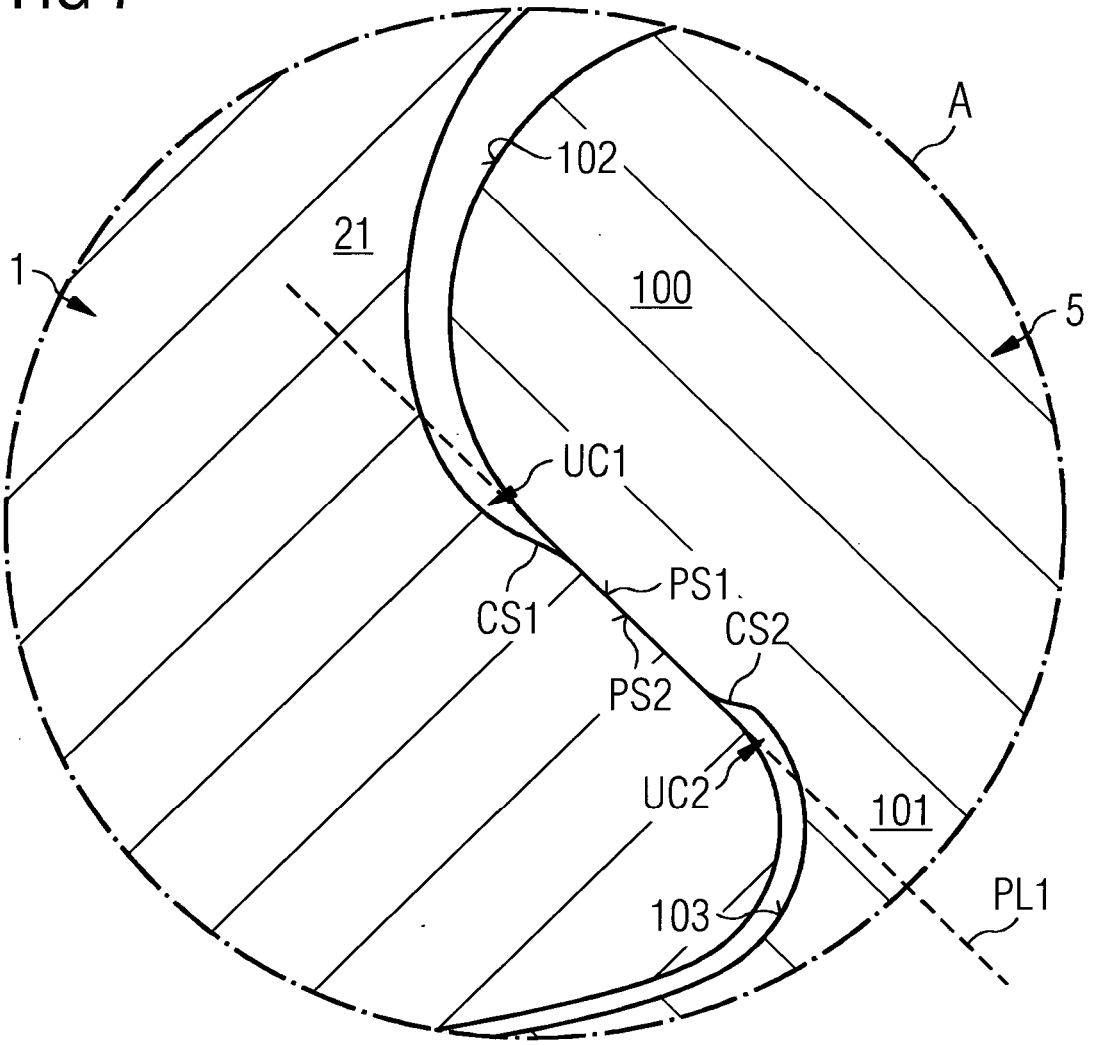
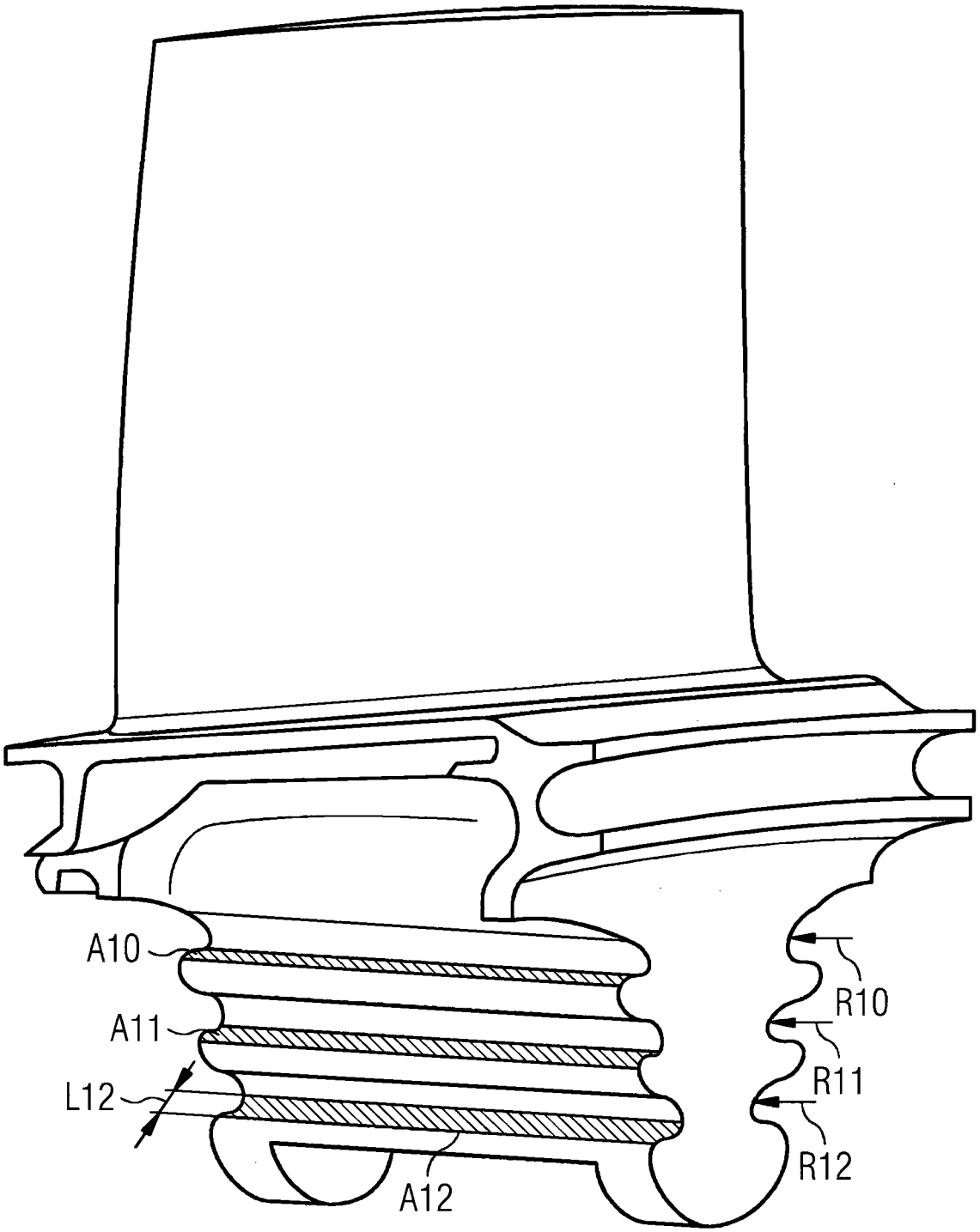
FIG 8