

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 987 264**

51 Int. Cl.:

F01D 5/08 (2006.01)
B22F 5/00 (2006.01)
B22F 7/08 (2006.01)
B22F 7/06 (2006.01)
B22F 10/00 (2011.01)
B33Y 10/00 (2015.01)
B33Y 80/00 (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2020** **E 20166705 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2024** **EP 3889390**

54 Título: **Disco forjado rotatorio para una rueda de rotor con palas y método para fabricar el mismo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.11.2024

73 Titular/es:

ITP ENGINES UK LTD (100.0%)
Whittle Estate, Cambridge Rd
Whetstone LE8 6LH, GB

72 Inventor/es:

BALANDIER, QUENTIN LUC y
KAKADE, VINOD

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 987 264 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

Disco forjado rotatorio para una rueda de rotor con palas y método para fabricar el mismo

Campo técnico de la invención

5 La presente invención pertenece al campo de los motores de turbina de gas y se refiere a una rueda de rotor con palas para motores de turbina de gas. Más particularmente, la presente invención se refiere a una nueva disposición de disco forjado para una rueda de rotor con palas y tiene como objetivo mejorar el enfriamiento de este disco.

10 Específicamente, la presente invención proporciona un disco forjado para una rueda de rotor con palas con características que están impresas en 3D en el disco forjado y un motor de turbina de gas para una aeronave que comprende tales discos. Además, en la presente divulgación también se proporciona un método para fabricar el disco forjado mencionado para una rueda de rotor con palas.

Antecedentes de la invención

15 Un motor de turbina de gas, como puede ser un motor de turbina de aeronave, está destinado a generar potencia mecánica. Un motor de turbina de gas comprende principalmente un sistema de admisión de aire, un compresor, una cámara de combustión y una turbina. El aire se captura a través del sistema de admisión. El compresor aumenta su presión. Después de esto, el aire comprimido se mezcla con combustible y esta mezcla se quema en la cámara de combustión. Los gases de combustión calientes se expanden entonces a través de la turbina, donde la expansión de gases se convierte en potencia mecánica en forma de rotación del árbol. Las disposiciones de palas y discos de la turbina llevan a cabo esta conversión de la expansión de gases en potencia mecánica.

20 El funcionamiento de las palas y los discos de turbina es especialmente difícil ya que están expuestos a las condiciones de altas temperaturas y altas presiones de la sección de turbina. Las palas y los discos también rotan a altas velocidades generando altas cargas centrífugas. Por ejemplo, la turbina de primera etapa de los motores aeronáuticos recientes funciona con una temperatura de entrada de turbina de hasta 1900 K (temperatura del aire) y una velocidad de rotación del árbol de hasta 12500 RPM.

25 Para mitigar las altas temperaturas en las secciones de turbina, parte del aire que proviene del compresor se alimenta a los componentes de la turbina a través de un sistema de aire secundario que evita la trayectoria del gas primario. Por ejemplo, la última etapa del compresor habitualmente alimenta un sistema de aire secundario para enfriar la turbina de primera etapa. El aire secundario normalmente sigue una trayectoria axial dentro de la sección de combustor del motor sin quemarse. Luego se desplaza desde uno o varios diámetros internos de la estructura interna de la sección de combustión y diámetros internos adyacentes del disco hasta los diámetros exteriores del disco. Entonces alcanza las palas y álabes de la turbina.

30 Los discos de turbina están clasificados como partes críticas. Un fallo de esos discos conduciría a la liberación de residuos de alta energía, que no pueden contenerse por los cárteres del motor. Por tanto, debido a los requisitos de alta resistencia mecánica y larga vida útil combinados con los requisitos de capacidad de alta temperatura, los discos de turbina generalmente se realizan a partir de piezas forjadas de aleaciones a base de níquel y que posteriormente se mecanizan.

Debido al procedimiento de forjado inicial, que requiere herramientas relativamente sencillas, y debido al requisito de mantener el coste de las operaciones de mecanizado posteriores al forjado lo más bajo posible, las caras principales de los discos de turbina mecanizados finales son esencialmente superficies lisas y planas simples.

35 Las inspecciones no destructivas de las piezas forjadas (por ejemplo, tales como inspecciones ultrasónicas o magnetoscópicas) con probabilidad de detección (POD) conocida garantizan que las piezas forjadas tengan una probabilidad muy baja de contener un defecto de material. Un defecto presente en el disco de turbina en una zona sometida a altas tensiones podría conducir el inicio de grietas, a la propagación de las grietas y luego a la rotura del disco durante el funcionamiento. Hoy en día, debido a las constantes mejoras y a la monitorización de los procedimientos de forjado y mecanizado tras el forjado, los discos de turbina realizados a partir de piezas forjadas de aleaciones a base de níquel tienen una probabilidad extremadamente baja de contener una anomalía en el material.

40 Además, como el aumento de la temperatura de entrada de turbina (TET) es beneficioso para mejorar la eficiencia, recientemente se han desarrollado de altas calidades de material de aleación a base de níquel, realizada a partir de procedimientos de forjado complejos, tales como prensado isostático en caliente de forma neta de aleaciones en polvo, y ahora se usan en producción. Tales aleaciones complejas tienen una capacidad de temperatura superior a las generaciones anteriores de aleaciones a base de níquel.

45 Sin embargo, estos desarrollos de materiales para aumentar la capacidad de temperatura de los rotores de turbina han llegado a un punto muerto y no son suficientes para aumentar adicionalmente la temperatura de entrada de turbina y/o reducir el consumo de aire de enfriamiento de la turbina. Por tanto, existe la necesidad de desarrollar nuevas soluciones para mejorar el enfriamiento de los discos de turbina, sin comprometer sus características

originales de seguridad y fiabilidad.

El documento US4830575 da a conocer acanaladuras en espiral en un rotor de turbina.

El documento US2019/0169991A1 da a conocer un disco de rotor de turbomotor.

El documento EP3150798A1 da a conocer un disco de turbina de gas.

5 El documento US5906096 da a conocer un compresor para turbina y turbina de gas.

El documento US2017/0067636A1 da a conocer un artículo y un método de formación de un artículo.

El documento EP2975351A1 da a conocer un acabado de superficie mediante fabricación aditiva.

El documento EP1050663A2 da a conocer un artículo que tiene protuberancias para crear un flujo turbulento y un método para proporcionar protuberancias en un artículo.

10 Sumario de la invención

La presente invención proporciona una solución para los problemas mencionados anteriormente, proporcionando una rueda de rotor con palas para un motor de turbina de gas según la reivindicación 1, un motor de turbina de gas según la reivindicación 16 y un método para fabricar un disco forjado rotatorio según la reivindicación 17. En reivindicaciones dependientes, se definen realizaciones preferidas de la invención.

15 La presente invención pretende proporcionar una nueva solución para el enfriamiento de los discos de turbina que se basa en la disposición de discos forjados rotatorios con salientes impresos en 3D que sobresalen hacia fuera desde las superficies de esos discos, y también se basa en el método para fabricar el disco forjado rotatorio mencionado con salientes impresos en 3D.

20 En un primer aspecto inventivo, la presente invención proporciona una rueda de rotor con palas para un motor de turbina de gas que comprende al menos un disco forjado rotatorio, comprendiendo el disco forjado rotatorio:

- una superficie delantera y una superficie trasera,

- al menos una superficie de reborde, y

- una pluralidad de salientes ubicados en al menos una porción de al menos una de las superficie delantera o trasera y/o en la superficie de reborde,

25 en la que

los salientes son características impresas en 3D que sobresalen hacia fuera desde la superficie delantera, trasera y/o de reborde,

los salientes están dispuestos formando un patrón de modo que se crea una capacidad de transferencia de calor en la superficie delantera, trasera y/o de reborde; y

30 la razón de la distancia entre los salientes y el radio externo del disco forjado es inferior a 0,15.

La presente rueda de rotor comprende al menos un disco rotatorio en cuya periferia exterior están montadas una pluralidad de palas. En particular, este disco está configurado para rotar alrededor de un árbol del motor de turbina de gas y está realizado de un material de metal forjado. En una realización más particular, la rueda de rotor con palas comprende una pluralidad de discos forjados rotatorios según esta invención, pudiendo rotar todos estos
35 discos forjados alrededor del mismo eje o árbol.

El disco forjado rotatorio comprende dos superficies, que se identifican como superficies delantera y trasera según la dirección que sigue el flujo de aire a través del motor de turbina de gas, es decir, desde la admisión hasta el escape del motor. En particular, la superficie delantera del disco corresponde a la superficie del disco que está orientada hacia el flujo de aire de admisión y la superficie trasera del disco corresponde a la superficie opuesta. Las superficies
40 delantera y trasera pueden ser superficies compuestas (es decir realizadas de varias superficies adyacentes).

El presente disco forjado rotatorio comprende además al menos una superficie de reborde. Esta superficie de reborde está comprendida en una porción de reborde del disco que está formada en la periferia exterior del disco. La porción de reborde del disco se define como la superficie de contacto del disco, donde las palas se acoplan al disco. Un atributo caracterizador de la porción de reborde es el radio externo del disco. En una realización, el reborde está
45 realizado de una pluralidad de superficies de reborde, obtenidas a través de operaciones de mecanizado complejas, tales como escariado.

Específicamente, se pretende que el presente disco forjado rotatorio se ubique en la sección de turbina de un motor

de turbina de gas, es decir, en la sección en la que se expande el aire quemado desde la cámara de combustión.

Además, el disco forjado rotatorio comprende una pluralidad de salientes dispuestos en al menos una porción de la superficie delantera, la superficie trasera y/o la superficie de reborde. Estos salientes se entienden como cuerpos que sobresalen hacia fuera desde las superficies rotatorias del disco. En particular, los salientes son características impresas en 3D. Es decir, estas características que sobresalen pueden imprimirse en 3D sobre las superficies del disco ya proporcionadas. En este sentido, los salientes son características positivas añadidas al disco rotatorio convencional, realizándose el disco realizado a través de una operación de forjado, mecanizado y luego sometido a impresión 3D.

Estos salientes impresos en 3D mejoran ventajosamente la capacidad de temperatura general del disco y la temperatura de entrada de turbina de motor (TET), mejorando así la eficiencia general del motor. Más particularmente, los salientes aumentan tanto la turbulencia como las áreas de contacto en la superficie del disco y por tanto crean una función de intercambio de calor para enfriar las superficies externas del disco forjado, que son lisas en las disposiciones del estado de la técnica. Es decir, los presentes salientes crean un intercambiador de calor que transfiere calor desde el cuerpo de disco hasta el enfriamiento por aire secundario del motor de turbina y, por tanto, reducen la temperatura del disco. Este flujo de enfriamiento por aire secundario corresponde a una parte del aire que proviene del compresor y se hace circular hacia las palas y los álabes de la turbina.

Además, el uso de la impresión 3D permite añadir características que sobresalen (salientes) al forjado del disco que serían demasiado difíciles y caras de obtener a través del procedimiento convencional de forjado y mecanizado tras el forjado. Es decir, dado que cada saliente tiene un volumen bajo en comparación con la mayor parte del disco forjado, sería muy difícil y costoso fabricar estos salientes usando herramientas de fabricación convencionales después del procedimiento de forjado. Por ejemplo, la vibración de la herramienta podría romper los salientes o el cortador de la herramienta no permitiría que los salientes estuvieran tan cerca entre sí como se requiere para fines de enfriamiento. Por último, el tiempo requerido para fabricar todos los salientes a través de un procedimiento de mecanizado convencional conduciría a costes prohibitivos.

Las ventajas anteriores se logran gracias a las disposiciones de la pluralidad de salientes en un patrón en cualquier superficie mencionada del disco forjado rotatorio. Es decir, los salientes se posicionan manteniendo una relación predeterminada entre ellos y formando un patrón predeterminado.

Preferiblemente, el patrón predeterminado de salientes es tal que se crea una red de trayectorias de flujo abiertas. Esta red crea un gran número de superficies a través de las cuales pasa el aire de enfriamiento a presión.

En particular, la razón de la distancia entre los salientes y el radio externo del disco forjado es inferior a 0,15. Ventajosamente, esta configuración de razón crea un patrón de salientes lo suficientemente densos como para aumentar la turbulencia local y/o la transferencia de calor con fines de enfriamiento. En primer lugar, la turbulencia es beneficiosa para la transferencia de calor. Los salientes pueden modificar la turbulencia en la capa límite del flujo cerca de la superficie del disco. Los salientes también pueden modificar la turbulencia general en la cavidad del estator-rotor considerada. En segundo lugar, la capacidad de transferencia de calor es función del área de contacto entre el aire de enfriamiento y las superficies calientes del disco. Por tanto, aumentar la densidad del patrón (es decir, el número de salientes por unidad de superficie del disco) y/o aumentar el tamaño de los salientes aumenta el área de contacto disponible para fines de transferencia de calor.

Dada la presente solución, como la mayor parte del disco todavía está realizado de una pieza forjada, su resistencia mecánica y otros atributos tales como la fatiga o la capacidad de fluencia no se ven comprometidos. En especial, las partes principales cargadas del disco de turbina, tales como su perforación y su diafragma, todavía tienen las mismas propiedades de material que en una disposición sin prominencias.

Además, la tasa de defectos en la mayor parte del disco realizado a partir de una pieza forjada todavía es muy baja. Por el contrario, el procedimiento de impresión 3D de superaleaciones de alta resistencia mecánica puede producir defectos o anomalías en el estado de la técnica actual del procedimiento. Como los salientes impresos en 3D sobresalen hacia fuera desde las superficies del disco, no desarrollarán tensiones internas significativas debido a la transferencia de cargas centrífugas desde las palas hasta la perforación del disco. Las prominencias están fuera de las trayectorias de carga principales durante el funcionamiento. Esta configuración reduce la probabilidad de que un defecto de material presente potencialmente en los salientes se propague en condiciones de carga. Además, como los salientes sobresalen desde las superficies del disco, esto crea una discontinuidad entre la superficie externa de forja del disco y los salientes, lo que conduce a que se desarrolle potencialmente una grieta en el saliente para romper la superficie de contacto entre el saliente y el disco sin propagarse hacia el interior de la mayor parte del disco, evitando su rotura durante el funcionamiento. La liberación de un saliente no tendrá ningún efecto peligroso para la turbina de gas.

Además, la tasa de defectos en el saliente impreso en 3D depende del volumen de material impreso, el tipo de material impreso, los parámetros de impresión y los procedimientos de tratamiento térmico. Como los salientes impresos en 3D no tienen fines de soporte de carga, el material elegido puede tener una resistencia mecánica última o de prueba significativamente menor que la resistencia mecánica última o de prueba del disco forjado. Por ejemplo,

la impresión de un material más blando reducirá la probabilidad de que formación de defectos durante el procedimiento de impresión.

5 Además, como la resistencia mecánica no es el atributo principal objetivo del material usado en los salientes, la composición del material usado para imprimir los salientes, preferiblemente una aleación a base de níquel, puede reequilibrarse para optimizar atributos tales como la resistencia a la corrosión o la resistencia a la oxidación. Por ejemplo, el contenido de cromo en el material del saliente podría ser mayor que el contenido de cromo en el material del disco para mejorar la resistencia a la corrosión a expensas de la resistencia mecánica.

10 En una realización particular, los salientes se imprimen en 3D con una superaleación a base de níquel impresa que tiene una resistencia mecánica y/o resistencia a la corrosión y/o resistencia a la oxidación de prueba diferentes a las de la propia pieza forjada de disco.

15 En una realización particular, la rueda de rotor con palas comprende además un recubrimiento resistente a alta temperatura aplicado sobre el disco forjado rotatorio de modo que este recubrimiento cubra al menos parte de cualquiera de las superficies del disco y los salientes. En esta configuración, los salientes también se usan para soportar la adhesión del recubrimiento para proteger la superficie del disco de la exposición a altas temperaturas. En una realización preferida, el recubrimiento se dispone cubriendo las superficies del disco expuestas a las temperaturas más altas, especialmente en la zona del reborde. Como las protuberancias se someten a bajos niveles de tensión durante el funcionamiento del disco, el recubrimiento también se somete a bajos niveles de tensión de funcionamiento. Esto aumenta significativamente la vida útil del recubrimiento, que es función tanto de la temperatura del metal como de los niveles de tensión. Además, como las protuberancias están próximas entre sí, y como las protuberancias crean superficies que se extienden desde las caras principales del disco, se mejora el modo de fallo del recubrimiento. En caso de agrietamiento o espalación del recubrimiento, es poco probable la liberación de una gran cantidad de material de recubrimiento. En este caso, se liberan pequeños elementos de recubrimiento, lo que conduce sólo a puntos calientes localizados y se impide un aumento significativo de la temperatura del disco.

25 En una realización particular, el disco forjado rotatorio comprende además:

- al menos una placa de cubierta forjada con una cara interior y exterior, y
- una pluralidad de salientes ubicados en al menos una de la cara interior o exterior de la placa de cubierta.

La placa de cubierta proporciona cierta protección para reducir la exposición del disco a gases calientes. En particular, la placa de cubierta puede proteger el reborde del disco.

30 La placa de cubierta está diseñada para permanecer estacionaria en rotación en relación con el disco forjado rotatorio y está dispuesta en un extremo axial de este disco forjado rotatorio del rotor de turbina. En particular, la placa de cubierta se extiende desde una de las superficies o superficies de contacto del disco forjado, tal como una unión con pernos, de modo que una de las superficies de la placa de cubierta está orientada sustancialmente hacia la superficie delantera o trasera del disco forjado y se identifica como la cara interior, mientras que la otra superficie de la placa de cubierta se identifica como la cara exterior. Tal como se describe con el disco, la placa de cubierta también se clasifica como parte crítica. Debido a los altos requisitos de resistencia mecánica y limpieza (es decir, baja probabilidad de tener un defecto en el material) de la placa de cubierta, la placa de cubierta está realizada preferiblemente de una aleación forjada a base de níquel, mecanizada posteriormente.

40 Específicamente, una realización de la presente invención también proporciona salientes en cualquiera de las caras de la placa de cubierta. Esta realización se proporciona para mejorar adicionalmente el enfriamiento del disco forjado rotatorio dentro del motor de turbina de gas.

En una realización particular, los salientes comprenden:

- una forma de cilindro, o
- una forma de prisma, o
- 45 - una forma de gota, o
- paredes, o
- celdas 3D, o
- cualquier combinación de las anteriores.

50 Por celda 3D se entiende una forma 3D compleja realizada a partir de varias superficies y de manera preferible significativamente más alta que en las otras formas (cilindro, prisma, gota o pared).

Ventajosamente, la realización particular en la que los salientes se disponen formando celdas 3D aumenta

significativamente el área de contacto con la superficie y, por tanto, aumentan ventajosamente la transferencia de calor y el enfriamiento.

5 La forma del saliente puede diseñarse para controlar y modificar la turbulencia en la capa límite del flujo. En una realización particular, la base del saliente puede tener forma de gota, mientras que las otras secciones del saliente pueden tener una forma diferente, tal como un cilindro.

En una realización particular, la altura del saliente es pequeña (<10 %) en relación con la anchura de la cavidad del estator-rotor, impidiendo de ese modo una gran modificación de los flujos de la cavidad.

10 En una realización particular, el tamaño de los salientes y/o la densidad del patrón de salientes varía entre ellos. Dicho de otro modo, el tamaño de los salientes y/o la densidad del patrón de salientes no es constante en toda la superficie sobre la que se disponen los salientes.

En una realización, el tamaño de los salientes y/o la densidad del patrón de salientes varía según la distribución de temperatura de superficie esperada en el disco forjado. Es decir, cualquiera o ambos del tamaño de los salientes y la densidad del patrón de salientes es diferente en cada parte del disco.

15 Por ejemplo, la densidad radial y/o circunferencial del patrón de salientes puede seguir una ley predeterminada asociada con el gradiente de temperatura del disco. En una realización, el tamaño de los salientes y/o la densidad del patrón de salientes aumenta en una dirección radial del disco forjado rotatorio. Esto es ventajoso porque el diámetro exterior del disco generalmente está mucho más caliente que el diámetro interior del disco.

Ventajosamente, esta configuración optimizada del tamaño y/o la densidad del patrón de salientes compensa o reduce el gradiente térmico a través del disco forjado, reduciendo las tensiones térmicas del disco.

20 Las características del patrón de salientes también pueden optimizarse para mejorar el comportamiento entre el aire de enfriamiento y el disco rotatorio, lo que crea un componente de remolino en el flujo de aire de enfriamiento. La trayectoria del flujo de aire de enfriamiento desde el diámetro interior hasta el diámetro exterior del disco depende de las velocidades tangencial, radial y resultante en los diámetros interior y exterior del disco. Por tanto, basándose en las velocidades seleccionadas como objetivo, puede diseñarse el patrón para maximizar el efecto de enfriamiento. El objetivo de la optimización sería mejorar el enfriamiento, y también impedir alteraciones del flujo de aire, degradación del flujo de aire y controlar las pérdidas de presiones. En una realización, los salientes se disponen siguiendo una dirección de línea corriente teórica (es decir, ideal) prevista en la superficie del disco, facilitando la trayectoria del flujo de enfriamiento.

30 En una realización particular, la orientación de los salientes en relación con la dirección de flujo de aire puede adoptar las siguientes formas: triangular, triangular rotada, cuadrada y cuadrada rotada. Estos patrones pueden adaptarse en función del componente de remolino creado por el disco rotatorio y por tanto, para mejorar el intercambio de calor creado en una superficie rotatoria.

35 En una realización particular, los salientes están dispuestos formando un patrón triangular cada tres salientes o un patrón cuadrado cada cuatro salientes. El patrón triangular se entiende como una secuencia triangular en la que cada vértice de un triángulo corresponde al centro de un saliente. El patrón cuadrado se entiende como una secuencia cuadrada en la que cada vértice de un cuadrado corresponde al centro de un saliente.

40 En una realización más particular, los salientes están dispuestos según una dirección de flujo de aire que se estima que se generará en el disco forjado rotatorio, siendo la dirección de flujo de aire una dirección de línea de corriente teórica considerando las velocidades radial, tangencial y resultante predichas en los diámetros interior y exterior del disco forjado rotatorio; en los que según esta dirección de línea de corriente teórica:

- para cada triángulo del patrón triangular, un lado del triángulo es perpendicular a la dirección de línea de corriente teórica en la posición del triángulo, o

- para cada triángulo del patrón triangular, un lado del triángulo es paralelo a la dirección de línea de corriente teórica en la posición del triángulo, o

45 - para cada cuadrado del patrón cuadrado, dos lados del cuadrado son perpendiculares a la dirección de línea de corriente teórica en la posición del cuadrado, o

- para cada cuadrado del patrón cuadrado, una diagonal del cuadrado es paralela a la dirección de línea de corriente teórica en la posición del cuadrado,

en los que la dirección de línea de corriente teórica se define:

50 - en el diámetro interior del disco, por un ángulo de entrada entre una tangente a la dirección de línea de corriente teórica y la dirección tangencial del disco,

- en el diámetro exterior del disco, por un ángulo de salida entre una tangente a la dirección de línea de corriente teórica y la dirección tangencial del disco, y

- una curva de unión que une e interpola una sección de la dirección de línea de corriente teórica en el diámetro interior del disco y una sección de la dirección de línea de corriente teórica en el diámetro exterior del disco.

- 5 Preferiblemente, el ángulo de entrada y el ángulo de salida se establecen para optimizar las velocidades de flujo (velocidad tangencial, radial y resultante) en el diámetro interno y externo del disco para una banda de velocidad dada.

10 Más específicamente, en la primera etapa del diseño de un sistema de aire por etapas de turbina, los requisitos de rendimiento y enfriamiento definen las presiones, los flujos máxicos y la velocidad de rotación de la etapa. Esto define además las velocidades resultante, tangencial y radial del flujo en los diámetros interno y externo del disco sin las protuberancias. A partir de la norma respectiva de las velocidades resultante, tangencial y radial, se definen los ángulos de una línea de corriente teórica en relación con las direcciones radial y tangencial de los discos. En la segunda etapa del diseño del sistema de aire, la definición del diseño de las protuberancias cambiará los coeficientes de transferencia de calor y las pérdidas de presión en el modelo del sistema de aire. El patrón puede adaptarse a la línea de corriente teórica desde la primera etapa para optimizar los coeficientes de transferencia de calor y pérdidas de presión. En una tercera etapa, el sistema de aire de la etapa de turbina considerada puede volver a evaluarse teniendo en cuenta las características del patrón.

20 Según los patrones de triángulo, se dispone un grupo de salientes formando una secuencia triangular en la que un lado de cada triángulo es perpendicular a la dirección de línea de corriente teórica. Alternativamente, puede disponerse un grupo de salientes formando también una secuencia triangular en la que un lado de cada triángulo es paralelo a la dirección de línea de corriente teórica.

25 Por otro lado, según los patrones de cuadrado, se dispone un grupo de salientes formando una secuencia cuadrada en la que dos lados del cuadrado son paralelos a la dirección de línea de corriente teórica y los otros dos lados del cuadrado son perpendiculares a dicha dirección de línea de corriente teórica. Alternativamente, puede disponerse un grupo de salientes formando una secuencia cuadrada en la que la diagonal del cuadrado es paralela a dicha dirección de línea de corriente teórica.

Ventajosamente, se reducen las pérdidas de presión y resistencia (es decir, la resistencia aerodinámica) dado que la disposición de los salientes se optimiza según los patrones anteriores a través de los cuales se optimizan las velocidades y las pérdidas de presión del flujo de aire.

- 30 En una realización particular, la(s) primera(s) fila(s) del patrón (es decir, la(s) fila(s) más próxima(s) al diámetro interior del disco) comprende(n) diferentes características o diferente forma, tamaño u orientación de saliente para guiar el flujo de aire a través del patrón.

35 En una realización particular, la(s) última(s) fila(s) del patrón (es decir, la(s) fila(s) más próxima(s) al diámetro exterior del disco) comprende(n) diferentes características o diferente forma o tamaño u orientación de saliente para guiar el flujo de aire a través de superficies de contacto y componentes adyacentes. En una realización más particular, la(s) última(s) fila(s) del patrón está(n) orientada(s) para evitar el riesgo de ingestión de gas caliente desde la trayectoria de gas principal hacia la cavidad del estator-rotor.

En una realización particular, las características o salientes ubicados más cerca del diámetro interior del disco son diferentes de las características o salientes ubicados más cerca del diámetro exterior del disco.

- 40 En una realización particular, los salientes comprenden al menos una cavidad. Esta cavidad reduce la cantidad de material impreso, reduce los costes y también hace que la superficie de contacto entre los salientes y el disco forjado sea más fácil de romper, evitando además que una posible grieta alcance la mayor parte de la pieza formada de disco.

45 En una realización particular, la base del saliente es más pequeña que la sección de cuerpo de los salientes. Al hacer que la base del saliente sea más pequeña que su cuerpo, el saliente es más débil en su base. Esto aumentará adicionalmente la probabilidad de que comience una grieta desde el saliente y rompa la característica en lugar de alcanzar la mayor parte de la pieza forjada de disco.

50 En una realización particular, la resistencia mecánica del material de los salientes es diferente de la resistencia mecánica del material del disco forjado rotatorio. En particular, la razón entre las resistencias mecánicas del material del disco y los salientes es mayor del 20 %. Ventajosamente, la impresión de un material más blando reducirá la tasa de defectos en los salientes. Además, en una realización, la resistencia a la oxidación o la corrosión de los salientes es diferente de la resistencia a la oxidación o a la corrosión del disco forjado rotatorio. En particular, la razón de la resistencia a la oxidación o a la corrosión del material de los salientes y del disco es mayor del 20 %.

55 En una realización particular, los salientes están impresos en el disco forjado rotatorio sobre una superficie de soporte intermedia. La superficie de soporte intermedia o bien puede mecanizarse como parte de las operaciones de

mecanizado después del forjado o bien puede imprimirse en 3D.

5 Como resultado, se proporcionan salientes con superficie de soporte intermedias entre el saliente y la superficie del disco forjado. La superficie de soporte intermedia se entiende como una superficie de contacto delimitada entre la mayor parte del disco y los salientes impresos en 3D. En particular, el soporte intermedio puede mecanizarse directamente en el disco forjado. Alternativamente, la superficie de soporte intermedia puede imprimirse en 3D en el disco forjado, con o sin mecanizado final con operación de corte de metal.

10 Esta configuración proporciona una superficie distinta que puede mecanizarse y/o prepararse con parámetros de superficie específicos (tal como con tolerancias de rugosidad y/o dureza y/o planicidad mayores o menores que el cuerpo de disco). Como ejemplo adicional, la superficie de soporte intermedia puede tener requisitos de parámetros de granallado diferentes que el resto de las superficies del disco. Por tanto, estas superficies de soporte intermedias mecanizadas o impresas pueden facilitar el procedimiento de impresión de los salientes individuales y también facilitar que los salientes se retiren y/o se mecanicen y/o se reparen de la superficie del disco.

15 En una realización más particular, la superficie de soporte intermedia sobresale de la superficie delantera, de la superficie trasera y/o de la superficie de reborde del disco forjado rotatorio. Al igual que con el mecanismo descrito para las protuberancias, esto crea niveles de tensión muy bajos en la superficie de soporte intermedia.

En una realización más particular, la superficie de soporte intermedia se usa como medio para reducir adicionalmente las tensiones en un recubrimiento aplicado al disco.

20 En una realización más particular, la superficie de soporte intermedia que sobresale está impresa sobre el disco y está realizada de un material que tiene un coeficiente de expansión térmica diferente del coeficiente de expansión térmica del disco. El coeficiente de expansión térmica del material impreso se elige con un valor intermedio entre el coeficiente de expansión térmica del recubrimiento y el coeficiente de expansión térmica del disco forjado. Dado que el recubrimiento se aplica habitualmente a una temperatura muy alta usando pulverización térmica, el recubrimiento puede desarrollar tensión residual durante su aplicación. La tensión residual se añade a la tensión de funcionamiento y limita entonces la vida útil del recubrimiento durante el funcionamiento. El coeficiente de expansión térmica del recubrimiento y del material de base dicta la expansión diferencial del recubrimiento y el material de base durante la aplicación del recubrimiento. Por tanto, dicta el nivel de tensión residual en el recubrimiento. El uso de un valor intermedio de coeficiente de expansión térmica en la superficie intermedia reducirá la tensión residual en el recubrimiento, aumentando de ese modo la vida útil del recubrimiento durante el funcionamiento.

30 En otra realización particular, la superficie de soporte intermedia es al menos un rebaje en el disco forjado rotatorio o en un soporte impreso. Se entiende que en estas realizaciones la superficie de soporte intermedia es un rebaje en la superficie del disco forjado o es un rebaje en la superficie de un soporte impreso sobre el disco forjado, de modo que el saliente se ubica parcialmente dentro del rebaje y sobresale del interior de dicho rebaje.

35 En una realización particular, la rueda de rotor con palas comprende además un recubrimiento resistente a alta temperatura aplicado sobre el disco forjado rotatorio de modo que este recubrimiento cubra al menos la superficie de soporte intermedia.

En una realización más particular, al menos una porción de la superficie de soporte intermedia forma un ángulo de 45° con respecto a una superficie del disco forjado rotatorio. Ventajosamente, esta configuración aumenta el área de contacto en la superficie de contacto entre el disco forjado y el saliente y hace de ese modo que la impresión de los salientes sea más fácil.

40 En una realización particular, al menos una porción de la superficie del disco forjado rotatorio donde se ubica el saliente tiene una tolerancia de rugosidad y/o planicidad y/o dureza diferente del resto del disco forjado rotatorio.

En un segundo aspecto inventivo, la presente invención proporciona un motor de turbina de gas que comprende una rueda de rotor con palas según el primer aspecto inventivo.

45 En otro aspecto inventivo, la presente invención proporciona una aeronave que comprende un motor de turbina de gas según el segundo aspecto inventivo.

En un tercer aspecto inventivo, la presente invención proporciona un método para fabricar un disco forjado rotatorio para una rueda de rotor con palas según el primer aspecto inventivo, comprendiendo el método:

- a) proporcionar un disco forjado rotatorio que comprende una superficie delantera, una superficie trasera y una superficie de reborde, y
- 50 b) imprimir en 3D los salientes en al menos una porción de al menos una de la superficie delantera y/o trasera y/o en la superficie de reborde.

Es decir, se pretende que el método según la presente invención modifique los motores de turbina de gas reales con el fin de aumentar el enfriamiento en la sección de turbina por medio de impresión en 3D de una pluralidad de

salientes sobre las superficies del disco forjado rotatorio de una rueda de rotor con palas.

Todas las características descritas en esta memoria descriptiva (incluyendo las reivindicaciones, la descripción y los dibujos) y/o todas las etapas del método descrito pueden combinarse en cualquier combinación, con la excepción de combinaciones de tales características y/o etapas mutuamente excluyentes.

5 Descripción de los dibujos

Estas y otras características y ventajas de la invención se entenderán claramente a la vista de la descripción detallada de la invención que resulta evidente a partir de una realización preferida de la invención, facilitada únicamente como ejemplo y sin limitarse a la misma, con referencia a los dibujos.

- 10 Figura 1 Esta figura muestra una vista en sección transversal esquemática de un disco forjado rotatorio según una realización de la presente invención.
- Figuras 2A-2B Estas figuras muestran una vista desde arriba esquemática de salientes impresos en 3D según realizaciones de la presente invención.
- Figuras 3A-3B Estas figuras muestran una vista en sección transversal esquemática de un saliente impreso en 3D sobre un disco forjado rotatorio según realizaciones de la presente invención.
- 15 Figura 4 Esta figura muestra una vista en sección transversal esquemática de un saliente impreso en 3D sobre un disco forjado rotatorio según una realización de la presente invención.
- Figura 5 Esta figura muestra una vista en sección transversal esquemática de un saliente impreso en 3D sobre un disco forjado rotatorio según una realización de la presente invención.
- 20 Figura 6 Esta figura muestra una vista en sección transversal esquemática de un saliente impreso en 3D sobre un disco forjado rotatorio según una realización de la presente invención.
- Figura 7 Esta figura muestra una vista en sección transversal de un disco forjado rotatorio con una placa de cubierta según una realización particular de la presente invención.
- Figura 8 Esta figura muestra una vista esquemática de un disco forjado rotatorio según una realización de la presente invención y una vista en sección transversal A-A' de este disco forjado rotatorio.
- 25 Figura 9 Esta figura muestra una vista esquemática de un disco forjado rotatorio según una realización de la presente invención y una vista en sección transversal B-B' de este disco forjado rotatorio.
- Figura 10 Esta figura muestra una vista esquemática de un disco forjado rotatorio según una realización de la presente invención y una vista en sección transversal C-C' de este disco forjado rotatorio.
- 30 Figura 11 Esta figura muestra una vista esquemática de un disco forjado rotatorio según una realización de la presente invención y una vista en sección transversal D-D' de este disco forjado rotatorio.
- Figura 12 Esta figura muestra una vista esquemática de un disco forjado rotatorio según una realización de la presente invención y una vista en sección transversal E-E' de este disco forjado rotatorio.
- Figura 13a-d Estas figuras muestran una vista esquemática de patones de salientes según realizaciones de la presente invención.
- 35 Figura 14 Esta figura muestra una vista esquemática de un disco forjado rotatorio según una realización de la presente invención.
- Figuras 15a-d Estas figuras muestran vistas esquemáticas de un detalle de la figura 14 según realizaciones de patrones de salientes de la presente invención.
- 40 Figuras 16a-c Estas figuras muestran una vista en sección transversal esquemática de un disco forjado rotatorio según realizaciones de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

45 La figura 1 muestra una vista en sección transversal esquemática de un disco forjado rotatorio (1) para una rueda de rotor con palas de un motor de turbina de gas (no mostrado), En particular, para una sección de turbina. El disco forjado rotatorio (1) comprende una superficie delantera (2) y una superficie trasera (3). La superficie delantera (2) es la que está destinada a estar orientada hacia el flujo de aire de admisión procedente de la sección de combustión del motor de turbina de gas, así como a estar orientada hacia el flujo de aire procedente de la sección de compresión para enfriar la sección de turbina. La superficie trasera (3) corresponde a la cara opuesta de la superficie delantera. El disco forjado rotatorio (1) comprende además al menos una superficie de reborde (4) mostrada en las figuras 8-

12.

Además, el disco forjado rotatorio (1) comprende una pluralidad de salientes impresos en 3D (5) que pueden ubicarse en al menos una porción de la superficie delantera (2), la superficie trasera (3) y/o la superficie de reborde (4). En particular, en la figura 1, el disco forjado rotatorio (1) comprende una pluralidad de salientes que están impresos en 3D en las superficies tanto delantera (2) como trasera (3).

Estos salientes (5) sobresalen hacia fuera desde las superficies delantera (2) y trasera (3) del disco forjado (1). En particular, los salientes (5) forman un patrón a lo largo de las superficies (2, 3). Los salientes (5) están dispuestos con una distancia predeterminada entre ellos según un patrón predeterminado. La configuración del patrón aumenta la transferencia de calor en esas superficies del disco forjado (1), y por tanto, se mejora el enfriamiento en el disco forjado (1) en la sección de turbina de una sección de turbina de gas. Es decir, las disposiciones de patrón de los salientes crean una red de trayectorias de flujo que permiten que el flujo de aire procedente de la sección de compresor fluya a través de este patrón, enfriando de ese modo las superficies del disco. Específicamente, estos salientes ubicados en las superficies del disco forjado (1) aumentan el enfriamiento del disco en comparación con la solución de la técnica anterior. Esto se debe a que aumentan la superficie de contacto y la turbulencia entre el disco y el flujo de aire de enfriamiento.

Más particularmente, para tener un patrón de salientes lo suficientemente denso para fines de enfriamiento, la razón de la distancia entre los salientes (5) y el radio externo del disco forjado es inferior a 0,15.

Tal como puede observarse en la figura 1, cada saliente (5) tiene un volumen que es relativamente pequeño en comparación con la mayor parte del disco forjado rotatorio (1). Dada esta diferencia de volumen entre los salientes (5) y el disco (1), resulta muy difícil y costoso fabricar los salientes (5) usando herramientas de mecanizado convencionales. Por tanto, con el fin de resolver este inconveniente, la presente invención proporciona salientes impresos en 3D (5) sobre las superficies del disco (1). Al proporcionarse la impresión en 3D, pueden disponerse una pluralidad de salientes (5) sobre las superficies del disco (1), mejorando de ese modo el rendimiento global del disco y la turbina.

Además, en un ejemplo particular, los salientes (5) están realizados de una superaleación a base de níquel para resistir las altas temperaturas dentro de la sección de turbina.

Las figuras 2A-2B muestran dos formas de salientes diferentes. En particular, la figura 2A muestra un saliente (5) con forma de gota. Ventajosamente, la forma de gota reduce los posibles efectos de resistencia o resistencia aerodinámica creados por las protuberancias. Por otro lado, la figura 2B muestra un saliente (5) que incluye una pluralidad de células. Esta configuración de múltiples células proporciona ventajosamente más área de contacto que las protuberancias con otras formas.

Las figuras 3-6 muestran una vista en sección transversal esquemática de un saliente (5) que está impreso en 3D sobre una superficie de un disco forjado rotatorio (1) según realizaciones de la invención.

En particular, en la figura 3A está impreso un saliente (5) que tiene una base (5.2) más débil que el cuerpo (5.1) del saliente (5). Si comienza una grieta en el saliente (5), la discontinuidad en la superficie de contacto entre el saliente (5) y la superficie del disco, facilitará que el saliente se rompa.

En la figura 3B el saliente (5) está impreso sobre una superficie de soporte intermedia (6) que forma una base más débil que el saliente (5). Esta superficie de soporte intermedia (6) se entiende como una superficie de contacto entre el saliente (5) y la superficie del disco. Si comienza una grieta en el saliente (5), la discontinuidad en la superficie de contacto entre el saliente (5) y la superficie del disco, facilitará que el saliente se rompa.

Al igual que en la figura 3B, en las realizaciones mostradas en las figuras 4-6, los salientes (5) están impresos en 3D sobre una superficie del disco forjado rotatorio (1) por medio de una superficie de soporte intermedia (6).

En las figuras 3B-5, la superficie de soporte intermedia (6) está realizada como un soporte que tiene una sección transversal trapezoidal que está ubicada entre el saliente (5) y la superficie del disco forjado rotatorio (1). El soporte (6) comprende una primera superficie lateral (6.1) sobre la que está impreso el saliente (5), una segunda superficie lateral (6.2) común con la superficie del disco (1.1) y al menos una pared (6.3).

En particular, en la figura 3B, el saliente (5) está impreso a lo largo de toda la superficie de la primera superficie lateral (6.1) del soporte (6). En esta superficie de soporte (6) el área de la primera superficie lateral (6.1) es mayor que el área de la segunda superficie lateral (6.2). Es decir, la superficie de unión entre el saliente (5) y el soporte (6) es mayor que la superficie de unión entre el soporte (6) y el disco forjado (1).

En las figuras 3-5, la superficie de soporte intermedia (6) sobresale de la superficie delantera (2) y/o trasera (3) y/o de reborde (4) del disco rotatorio (1).

En la figura 4, la superficie de soporte intermedia (6) se ha mecanizado como parte de las operaciones de mecanizado después del forjado. Los salientes se imprimen entonces sobre esta superficie de soporte intermedia

- (6). En esta figura 4, el saliente (5) está impreso en una porción de la primera superficie lateral (6.1) del soporte (6). En particular, en este soporte (6), el área de la segunda superficie lateral (6.2) es mayor que el área de la primera superficie lateral (6.1). Es decir, la superficie de unión entre el saliente (5) y la superficie de soporte (6) es más pequeña que la superficie de unión entre esta superficie de soporte (6) y el disco forjado (1). Además, el saliente (5) comprende una base (5.1) con el objetivo de cubrir más superficie de la primera superficie lateral (6.1) del soporte trapezoidal (6). Además, la pared (6.3) de este soporte trapezoidal (6) tiene una curvatura.
- La realización mostrada en la figura 4 limita la extensión de la primera superficie lateral (6.1) en relación con la superficie original (3, 2, 4) del disco (1). La primera superficie lateral aislada (6.1) pueden tener entonces tolerancias de mecanizado o requisitos de preparación de superficie diferentes a los del resto de las superficies del disco.
- En un ejemplo particular, la superficie de soporte intermedia (6.1) recibe una operación de mecanizado y/o preparación específica modificando las características geométricas o mecánicas de la superficie del disco tal como las tolerancias de planicidad, rugosidad o dureza.
- Como la extensión de la superficie de soporte intermedia (6) es inferior a la extensión de la superficie del disco (2, 3, 4), la superficie de soporte intermedia (6) puede recibir operaciones de mecanizado específicas con requisitos más estrictos (por ejemplo, tolerancias de rugosidad más bajas) que las otras superficies del disco. Esto limitará el coste de las operaciones con requisitos más estrictos. Los salientes (5) se imprimen luego sobre esta superficie de soporte (6).
- En la figura 5, en la superficie de soporte (6) el área de la segunda superficie lateral (6.2) es mayor que el área de la primera superficie lateral (6.1). En particular, la superficie de soporte (6) puede estar impresa sobre el cuerpo de disco. Para reducir la probabilidad de tener un defecto, se proporciona una superficie de soporte (6) con un grosor pequeño en relación con la anchura del disco.
- En particular, en esta realización mostrada en la figura 5, el saliente (5) está impreso en la primera superficie lateral (6.1) y en las superficies laterales (6,3) de esta superficie de soporte trapezoidal (6).
- En la realización mostrada en la figura 6, el saliente (5) está impreso en un rebaje (7) en una superficie del disco forjado (1). El saliente (5) está dispuesto parcialmente dentro del disco forjado (1), es decir, el saliente está alojado parcialmente en el rebaje (7). En una realización particular, el rebaje (7) puede mecanizarse en el cuerpo del disco forjado (1).
- Una porción de la superficie de soporte intermedia (6) mostrada en las figuras 3B-5 forma un ángulo de 45° con respecto a la superficie del disco forjado rotatorio (1).
- Las figuras 8-10 muestran una porción de un disco forjado rotatorio (1) que comprende una superficie delantera (2), superficies de reborde (4) y una perforación de disco (8). En particular, la figura 8 muestra una pluralidad de salientes (5) ubicados en una porción de la superficie delantera (2) de este disco forjado (1). La disposición de estos salientes (5) se muestra en detalle en la vista en sección transversal A-A' del disco forjado de esta figura 8. Por otro lado, la figura 9 muestra una pluralidad de salientes (5) ubicados en una porción de la superficie de reborde (4) del disco forjado rotatorio (1). En particular, estos salientes (5) se muestran en detalle en la vista en sección transversal B-B' mostrada adicionalmente en esta figura 9.
- La figura 10 muestra una pluralidad de salientes (5) ubicados en una porción de una superficie delantera (2) de un disco forjado rotatorio (1). En particular, la pluralidad de salientes (5) están impresos en la superficie del disco por medio de una superficie de soporte intermedia (6). En este ejemplo particular, la superficie de soporte intermedia (6) es una superficie común para todos los salientes (5). La disposición de los salientes (5) impresos sobre una superficie de soporte intermedia (6) se muestra en detalle en la vista en sección transversal CC' del disco forjado (1) mostrado adicionalmente en esta figura 10.
- En un ejemplo particular, el tamaño y/o la densidad del patrón de salientes varía entre ellos a lo largo del patrón que forman. En un ejemplo más particular, el tamaño de los salientes (5) y/o la densidad del patrón de salientes cambia en una dirección radial del disco forjado rotatorio (1). Este ejemplo particular se muestra en las figuras 11 y 12. En particular, la figura 11 muestra una pluralidad de salientes (5) ubicados en una porción de la superficie delantera (2) de un disco forjado rotatorio. En este ejemplo, se usan salientes más pequeños en la superficie delantera (2) en las proximidades del radio de fusión de las superficies de reborde (4). La variación del tamaño del saliente se muestra en detalle en la vista en sección transversal D-D' del disco forjado de esta figura 11.
- Además, la figura 12 muestra una pluralidad de salientes (5) ubicados tanto sobre la superficie delantera (2) como en una superficie de reborde (4) del disco forjado rotatorio (1). En este ejemplo, se añaden salientes a las superficies de reborde (4) cerca de las ranuras en cola de milano de la pala para mejorar el enfriamiento del reborde del disco. La densidad de los salientes (5) ubicados en la superficie de reborde (4) es mayor que la densidad de la última fila de salientes ubicados en el diámetro externo de la cara delantera (2). En particular, la variación del tamaño de saliente se muestra en detalle en la vista en sección transversal E-E' mostrada adicionalmente en esta figura 12.

- Las figuras 13a-d muestran cuatro vistas esquemáticas de realizaciones particulares de patrones de salientes que forman la disposición de los salientes (5) según una dirección de flujo de aire que se estima que se generará en el presente disco. En particular, la figura 13a muestra tres salientes (5) dispuestos formando un patrón triangular en el que un lado del triángulo es perpendicular a la dirección de flujo de aire en la posición del triángulo, es decir, dos lados del patrón triángulo forman un ángulo de 30° con respecto a la dirección de flujo de aire. La figura 13b muestra tres salientes (5) dispuestos formando un patrón triangular en el que un lado del triángulo es paralelo a las direcciones de flujo de aire en la posición del triángulo, es decir, dos lados del patrón triangular forman un ángulo de 60° con respecto a la dirección de flujo de aire. La figura 13c muestra cuatro salientes (5) dispuestos formando un patrón cuadrado en el que dos lados del cuadrado son perpendiculares a la dirección de flujo de aire en la posición del cuadrado, mientras que los otros dos lados del cuadrado son paralelos a la dirección de flujo de aire. La figura 13d muestra cuatro salientes (5) dispuestos formando un patrón cuadrado en el que la diagonal del cuadrado es paralela a la dirección de flujo de aire en la posición del cuadrado, es decir, los cuatro lados del cuadrado forman un ángulo de 45° con respecto a la dirección de flujo de aire. En un ejemplo particular, esta dirección de flujo de aire corresponde a una dirección de línea de corriente teórica (11) (mostrada en las figuras 14 y 15).
- La figura 14 muestra una porción de un disco forjado rotatorio (1) que comprende una superficie delantera (2), superficies de reborde (4) y una perforación de disco (8). En particular, esta figura muestra adicionalmente una pluralidad de curvas (11) que describen una dirección de línea de corriente teórica que seguirá el flujo de aire teniendo en cuenta el equilibrio del sistema de aire y las velocidades de flujo resultantes (velocidades radial, tangencial y resultante) de la etapa de turbina considerada. Las figuras 15a-d muestran cuatro vistas esquemáticas de realizaciones particulares de patrones de salientes que se forman mediante una pluralidad de salientes dispuestos en el disco (1) de figura 14. Estos patrones están formados por la distribución de un grupo de salientes en la superficie del disco según la dirección de línea de corriente teórica (11). El patrón de salientes mostrado en estas figuras 15a-d corresponde a los patrones mostrados en las figuras 13a-d, pero está adaptado según la dirección de línea de corriente teórica (11) teniendo en cuenta las velocidades radial, tangencial y resultante predichas en los diámetros interior y exterior del disco.
- En particular, la dirección de línea de corriente (11) se define en el diámetro interior del disco, por un ángulo de entrada (α) entre una tangente a la dirección de línea de corriente (11) y la dirección tangencial del disco; en el diámetro exterior del disco, por un ángulo de salida (β) entre una tangente a la dirección de línea de corriente (11) y la dirección tangencial del disco; y la curva de unión que une e interpola la sección de la dirección de línea de corriente en el diámetro interior del disco y la sección de la dirección de línea de corriente en el diámetro exterior del disco.
- Las figuras 16a-16c muestran tres vistas en sección transversal de realizaciones particulares de un disco forjado rotatorio (1) con una pluralidad de salientes (5) ubicados en una superficie delantera (2) de este disco forjado (1). En particular, la figura 16a muestra una pluralidad de salientes (5) impresos directamente sobre la superficie delantera (2) de un disco forjado rotatorio (1). La figura 16b muestra una pluralidad de salientes (5) impresos sobre la superficie delantera (2) de un disco forjado rotatorio (1) por medio de una superficie de soporte intermedia (6) que es común para todos los salientes (5). La figura 16c muestra una pluralidad de salientes (5) impresos directamente sobre la superficie delantera (2) de un disco forjado rotatorio (1) y que comprende un recubrimiento (9) que cubre la superficie delantera (2) y las superficies de los salientes (5).
- En un ejemplo particular, el disco forjado rotatorio (1) comprende además al menos una placa de cubierta forjada con una cara interior y exterior, y una pluralidad de salientes (5) ubicados en al menos una de la cara interior o exterior de la placa de cubierta. Este ejemplo se muestra en la figura 7, en la que una pluralidad de salientes (5) están impresos en la superficie interior (10.2) de una placa de cubierta forjada (10) proporcionada en el disco forjado rotatorio (1).
- La presente invención también proporciona un método para fabricar un disco forjado rotatorio (1), como los que se muestran en las figuras 1, 3-6, para una rueda de rotor con palas.
- Este método comprende las etapas siguientes:
- a) proporcionar un disco forjado rotatorio (1) que comprende una superficie delantera (2), una superficie trasera (3) y una superficie de reborde (4), y
 - b) imprimir en 3D los salientes (5) en al menos una porción de al menos una de la superficie delantera (2) y/o trasera (3) y/o en la superficie de reborde (4).

REIVINDICACIONES

1. Una rueda de rotor con palas para un motor de turbina de gas que comprende al menos un disco forjado rotatorio (1), comprendiendo el disco forjado rotatorio (1):
- una superficie delantera (2) y una superficie trasera (3),
- 5
- al menos una superficie de reborde (4),
- estando caracterizada la rueda de rotor con palas por que el disco forjado rotatorio (1) comprende además:
- una pluralidad de salientes (5) ubicados en al menos una porción de al menos una de la superficie delantera (2) o trasera (3) y/o en la superficie de reborde (4),
- en la que
- 10
- los salientes (5) son características impresas en 3D que sobresalen hacia fuera desde la superficie delantera (2), trasera (3) y/o de reborde (4),
- los salientes (5) están dispuestos formando un patrón de modo que se crea una capacidad de transferencia de calor en la superficie delantera (2), trasera (3) y/o de reborde (4); y
- la razón de la distancia entre los salientes (5) y el radio externo del disco forjado (1) es inferior a 0,15.
- 15
2. La rueda de rotor con palas según la reivindicación 1, en la que el disco forjado rotatorio (1) comprende además:
- al menos una placa de cubierta forjada (10) con una cara interior (10.2) y una cara exterior (10.1), y
 - una pluralidad de salientes (5) ubicados en al menos una de la cara interior (10.2) o exterior (10.1) de la placa de cubierta (10).
- 20
3. La rueda de rotor con palas según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que los salientes (5) comprenden:
- una forma de cilindro, o
 - una forma de prisma, o
 - una forma de gota, o
- 25
- paredes, o
 - celdas 3D, o
 - cualquier combinación de las anteriores.
4. La rueda de rotor con palas según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el tamaño de los salientes (5) y/o la densidad del patrón de salientes varía entre ellos.
- 30
5. La rueda de rotor con palas según la reivindicación 4, en la que el tamaño de los salientes (5) y/o la densidad del patrón de salientes aumenta en una dirección radial del disco forjado rotatorio (1).
6. La rueda de rotor con palas según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que los salientes (5) están dispuestos formando:
- un patrón triangular cada tres salientes (5), o
- 35
- un patrón cuadrado cada cuatro salientes (5).
7. La rueda de rotor con palas según la reivindicación 6, en la que los salientes (5) están dispuestos según una dirección de flujo de aire que se estima que se generará en el disco forjado rotatorio (1), siendo la dirección de flujo de aire una dirección de línea de corriente teórica (11) considerando las velocidades radial, tangencial y resultante predichas en los diámetros interior y exterior del disco forjado rotatorio (1); en la que según esta dirección de línea de corriente teórica (11):
- 40
- para cada triángulo del patrón triangular, un lado del triángulo es perpendicular a la dirección de línea de corriente teórica (11) en la posición del triángulo, o
 - para cada triángulo del patrón triangular, un lado del triángulo es paralelo a la dirección de línea de

- corriente teórica (11) en la posición del triángulo, o
- para cada cuadrado del patrón cuadrado, dos lados del cuadrado son perpendiculares a la dirección de línea de corriente teórica (11) en la posición del cuadrado, o
 - para cada cuadrado del patrón cuadrado, una diagonal del cuadrado es paralela a la dirección de línea de corriente teórica (11) en la posición del cuadrado,
- 5 en la que la dirección de línea de corriente teórica (11) se define:
- en el diámetro interior del disco, por un ángulo de entrada (α) entre una tangente a la dirección de línea de corriente teórica (11) y la dirección tangencial del disco,
 - en el diámetro exterior del disco, por un ángulo de salida (β) entre una tangente a la dirección de línea de corriente teórica (11) y la dirección tangencial del disco, y
 - una curva de unión que une e interpola una sección de la dirección de línea de corriente teórica (11) en el diámetro interior del disco y una sección de la dirección de línea de corriente teórica (11) en el diámetro exterior del disco.
- 10
8. La rueda de rotor con palas según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que los salientes (5) están realizados de un material que tiene una resistencia mecánica y/o resistencia a la corrosión y/o resistencia a la oxidación diferente a la resistencia mecánica y/o resistencia a la corrosión y/o resistencia a la oxidación del material del disco forjado rotatorio (1).
- 15
9. La rueda de rotor con palas según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que los salientes (5) están impresos en el disco forjado rotatorio (1) sobre una superficie de soporte intermedia (6).
- 20
10. La rueda de rotor con palas según la reivindicación 9, en la que la superficie de soporte intermedia (6) sobresale de la superficie delantera (2) o la superficie trasera (3) o la superficie de reborde (4) del disco forjado rotatorio (1).
- 25
11. La rueda de rotor con palas según la reivindicación 10, en la que la superficie de soporte intermedia que sobresale (6) está impresa sobre el disco y está realizada de un material que tiene un coeficiente de expansión térmica diferente del coeficiente de expansión térmica del disco.
12. La rueda de rotor con palas según la reivindicación 9, en la que la superficie de soporte intermedia (6) es al menos un rebaje (7) en el disco forjado rotatorio (1) o en un soporte impreso.
- 30
13. La rueda de rotor con palas según cualquiera de las reivindicaciones 9-12, en la que al menos una porción de la superficie de soporte intermedia (6) forma un ángulo de 45° con respecto a una superficie del disco forjado rotatorio (1).
14. La rueda de rotor con palas según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un recubrimiento resistente a alta temperatura aplicado sobre el disco forjado rotatorio de modo que este recubrimiento cubra al menos parte de cualquiera de las superficies del disco (2, 3, 4) y los salientes (5) y/o la superficie de soporte intermedia.
- 35
15. La rueda de rotor con palas según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que al menos una porción del disco forjado rotatorio (1) donde se ubica al menos un saliente (5) tiene una tolerancia de rugosidad y/o planicidad y/o dureza diferente del resto del disco forjado rotatorio (1).
16. Un motor de turbina de gas que comprende una rueda de rotor con palas según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 40
17. Un método para fabricar un disco forjado rotatorio (1) para una rueda de rotor con palas según cualquiera de las reivindicaciones 1-15, comprendiendo el método las etapas siguientes:
- a) proporcionar un disco forjado rotatorio (1) que comprende una superficie delantera (2), una superficie trasera (3) y una superficie de reborde (4), y
 - b) imprimir en 3D los salientes (5) en al menos una porción de al menos una de la superficie delantera (2) o trasera (3) y/o en la superficie de reborde (4).
- 45

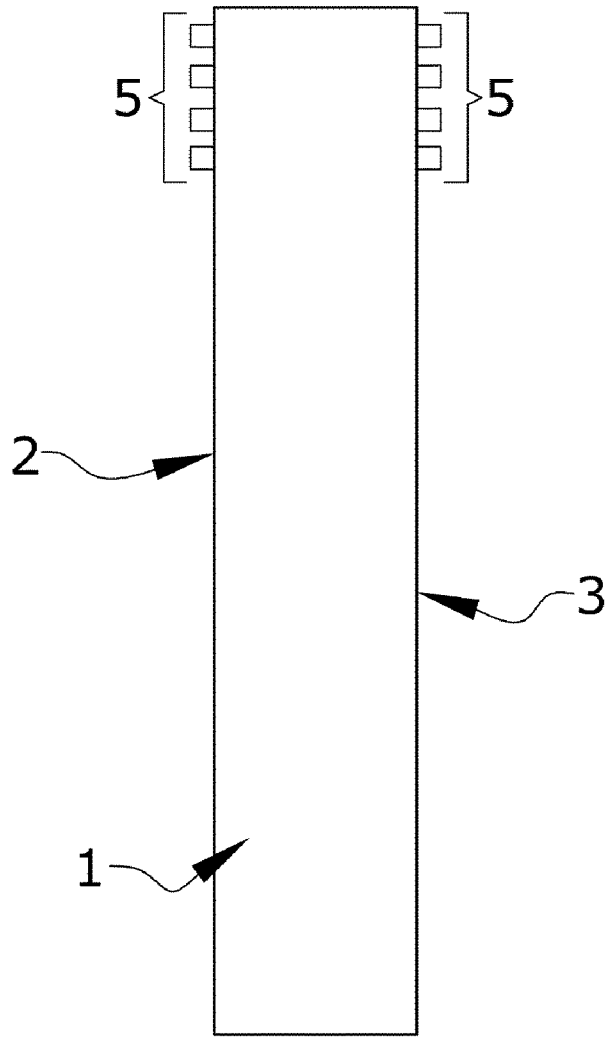


FIG. 1

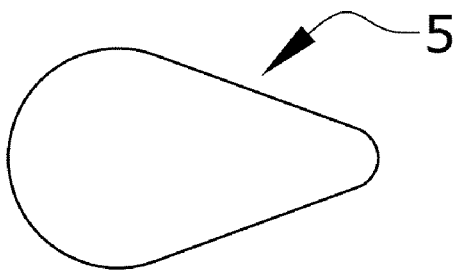


FIG. 2A

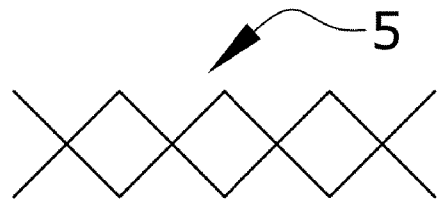


FIG. 2B

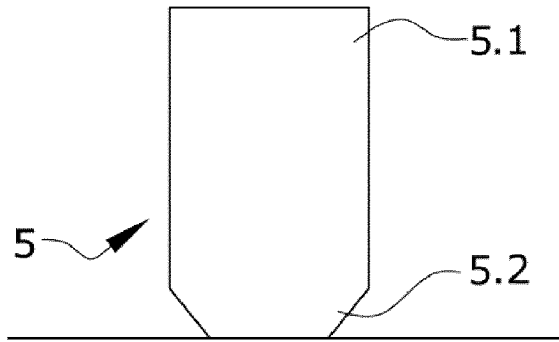


FIG. 3A

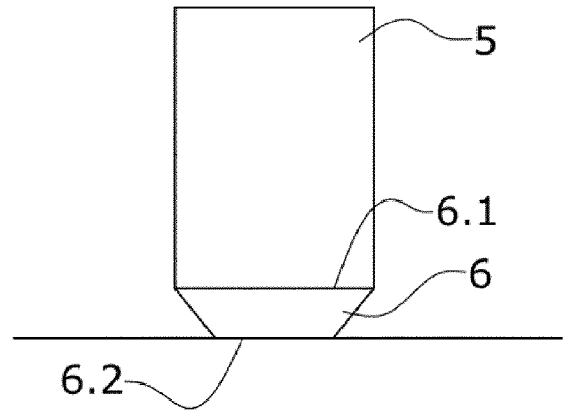


FIG. 3B

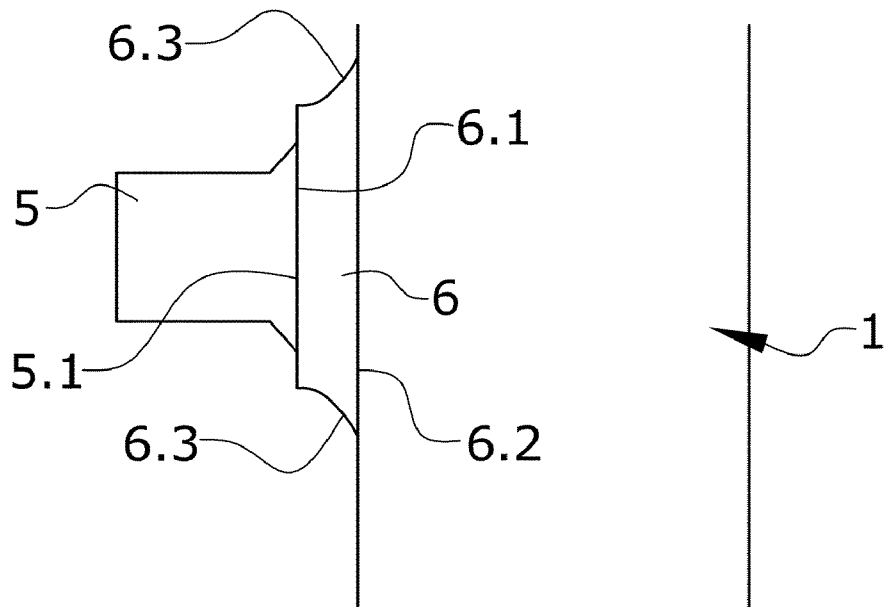


FIG. 4

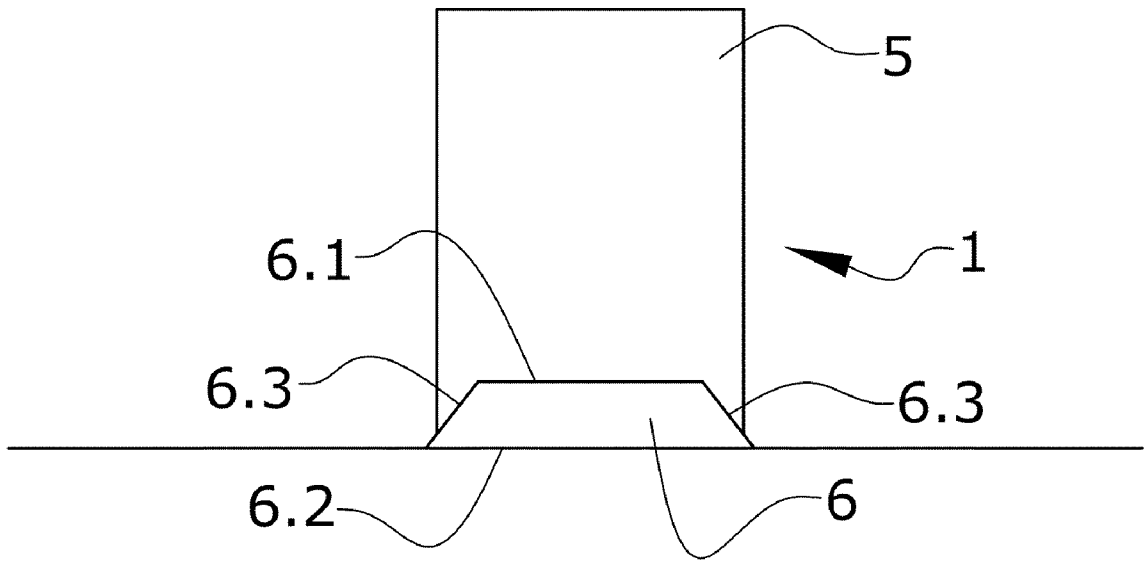


FIG. 5

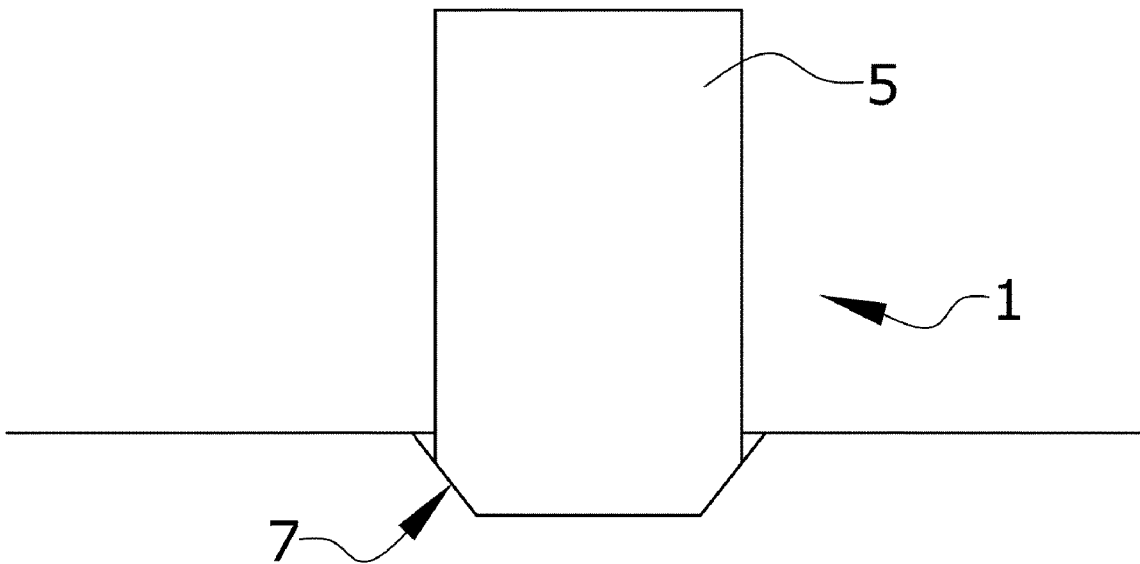


FIG. 6

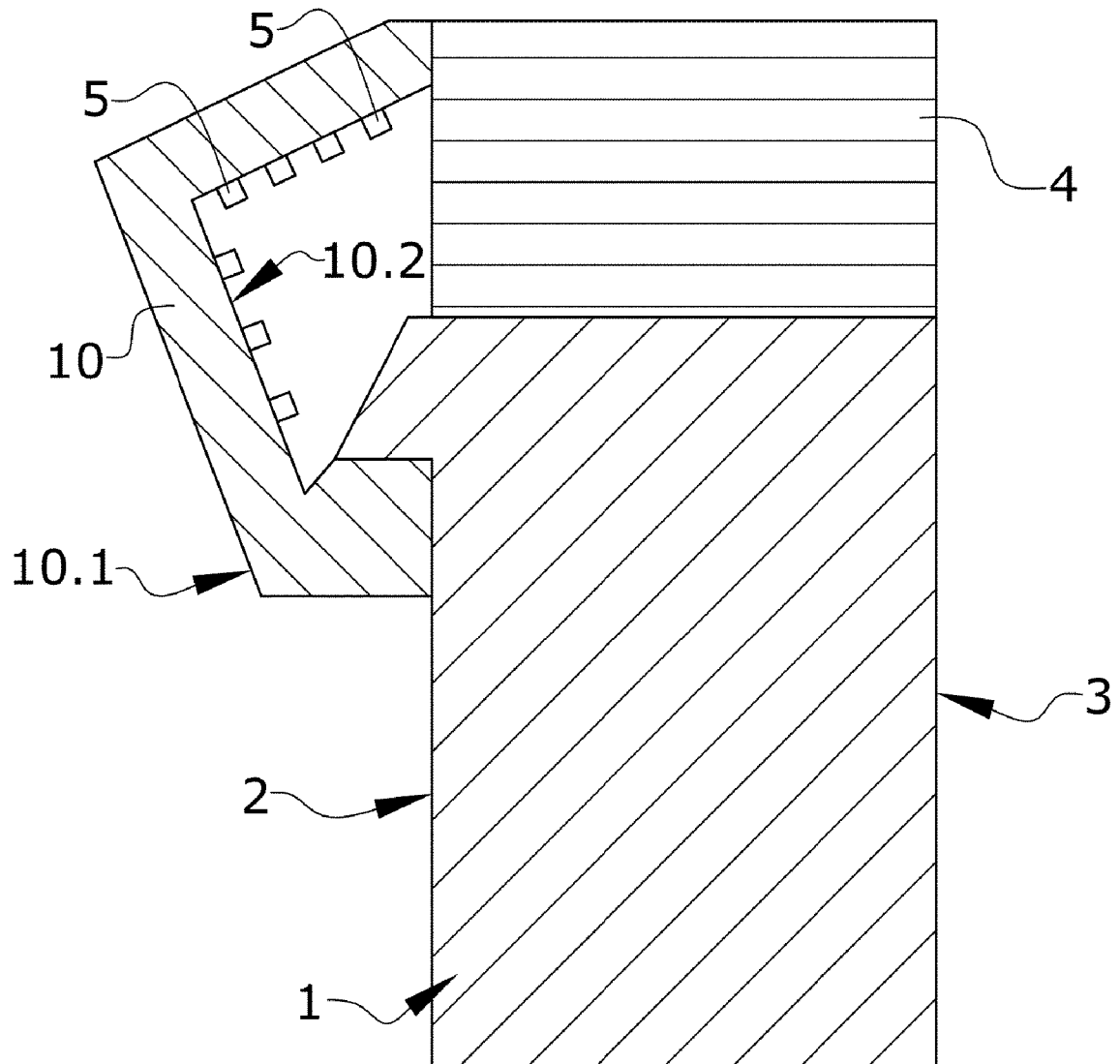


FIG.7

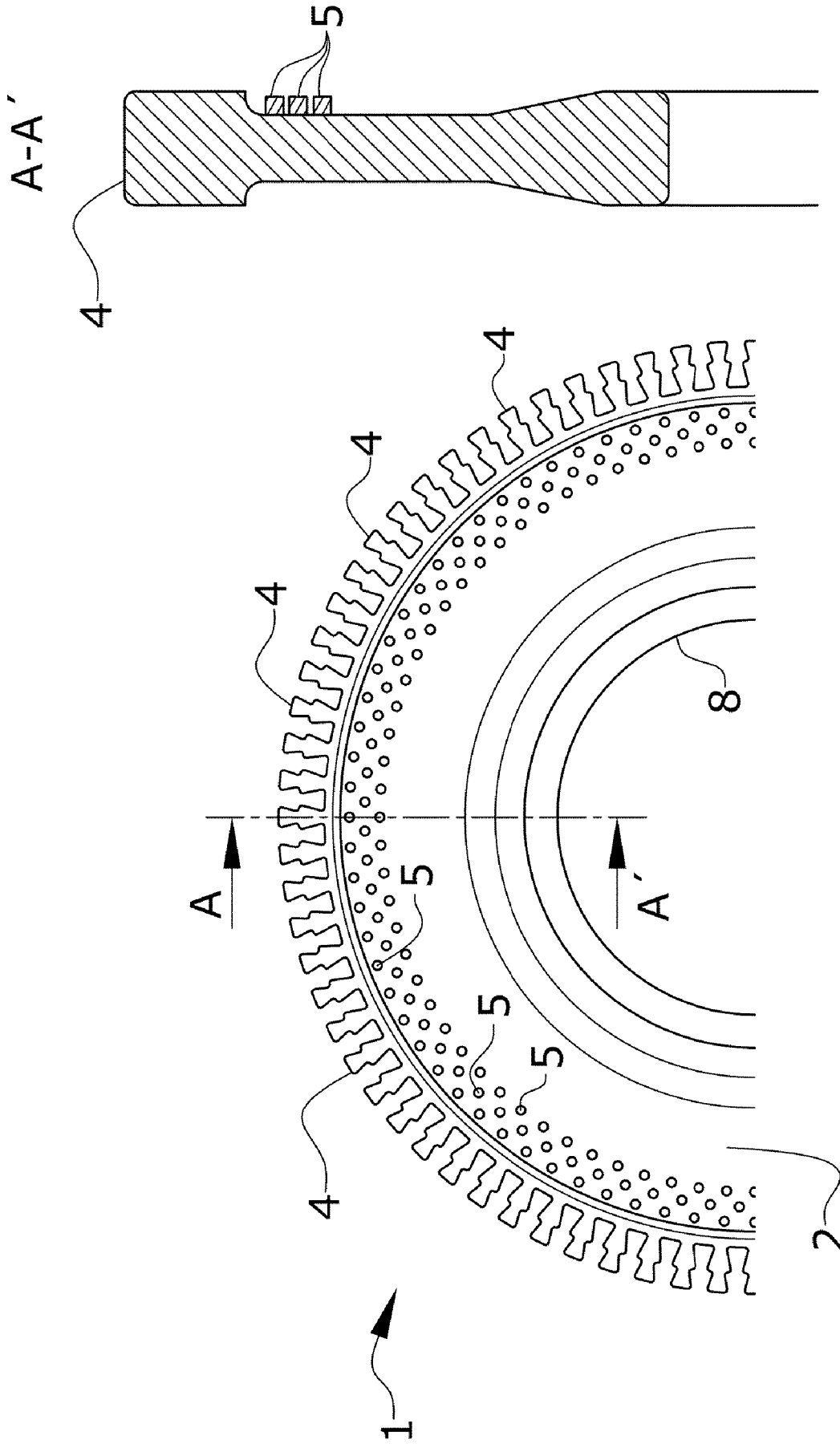


FIG.8

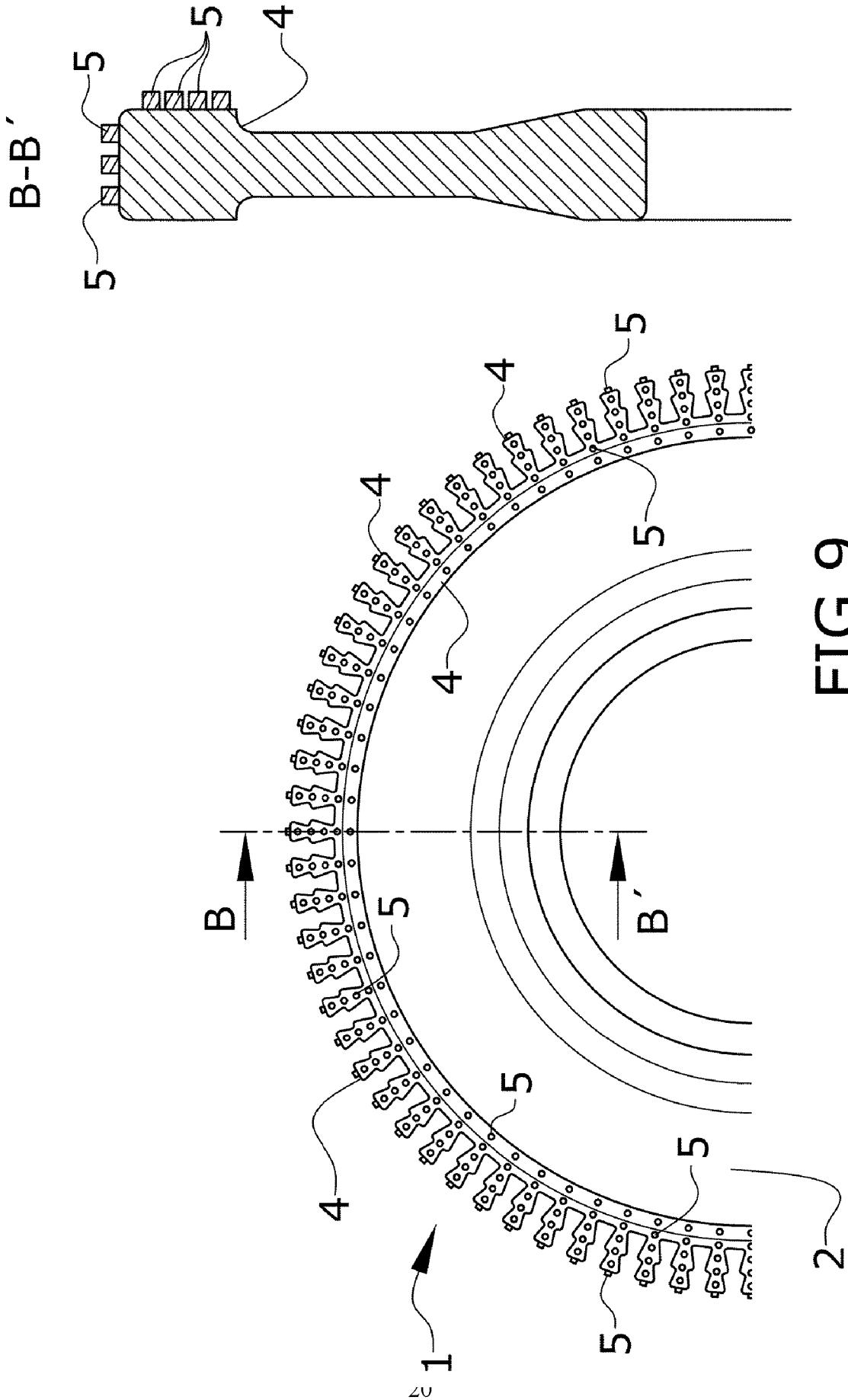


FIG.9

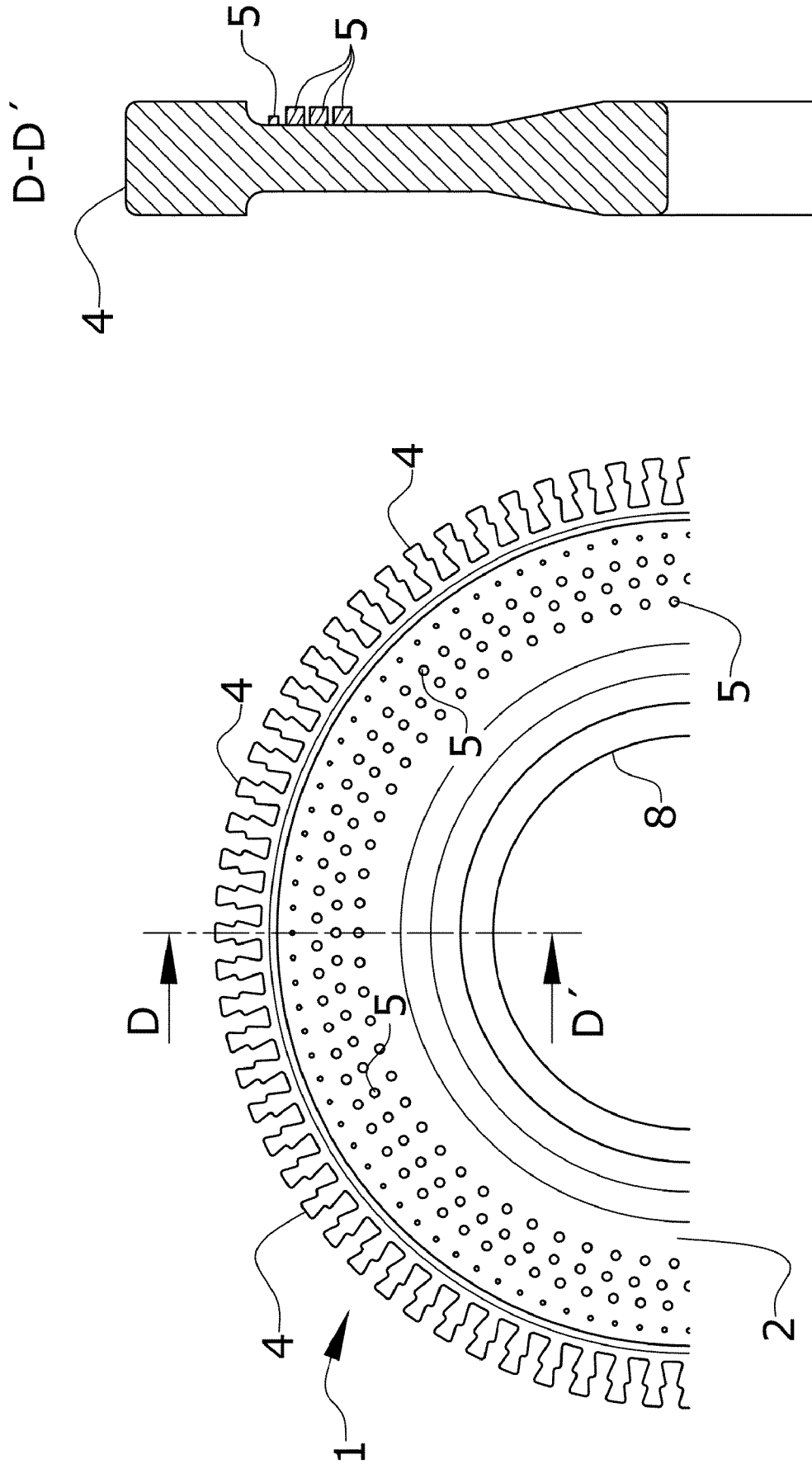


FIG.11

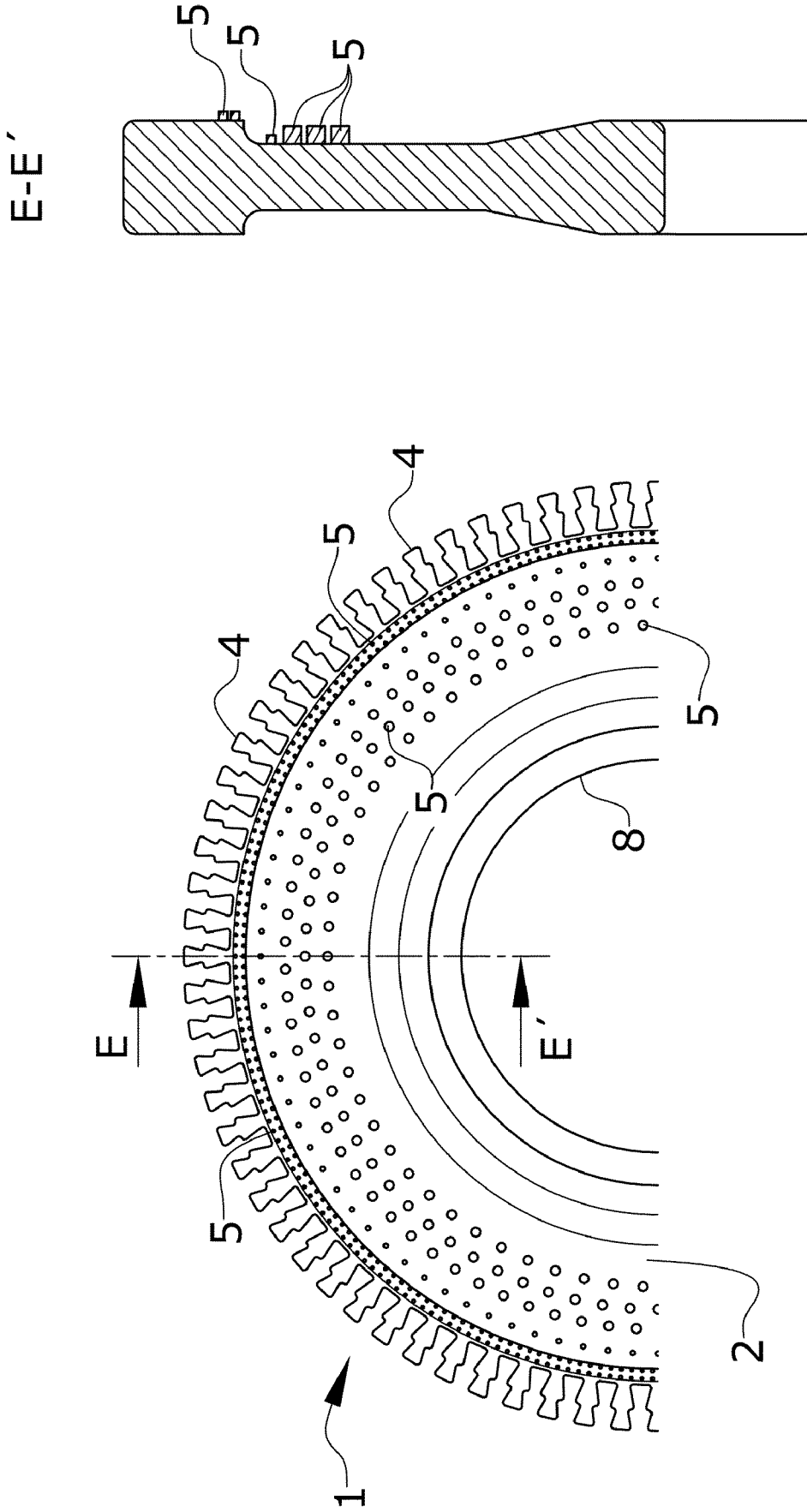


FIG.12

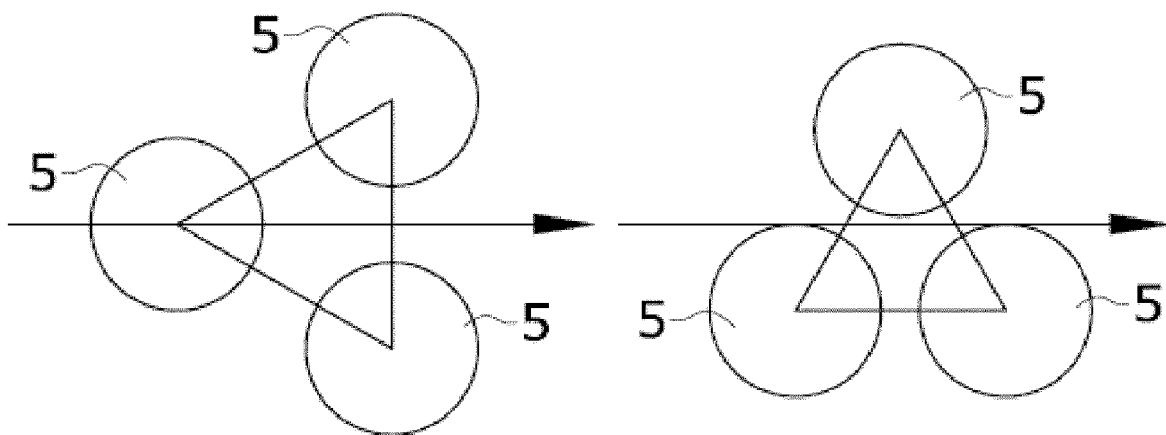


FIG.13a

FIG.13b

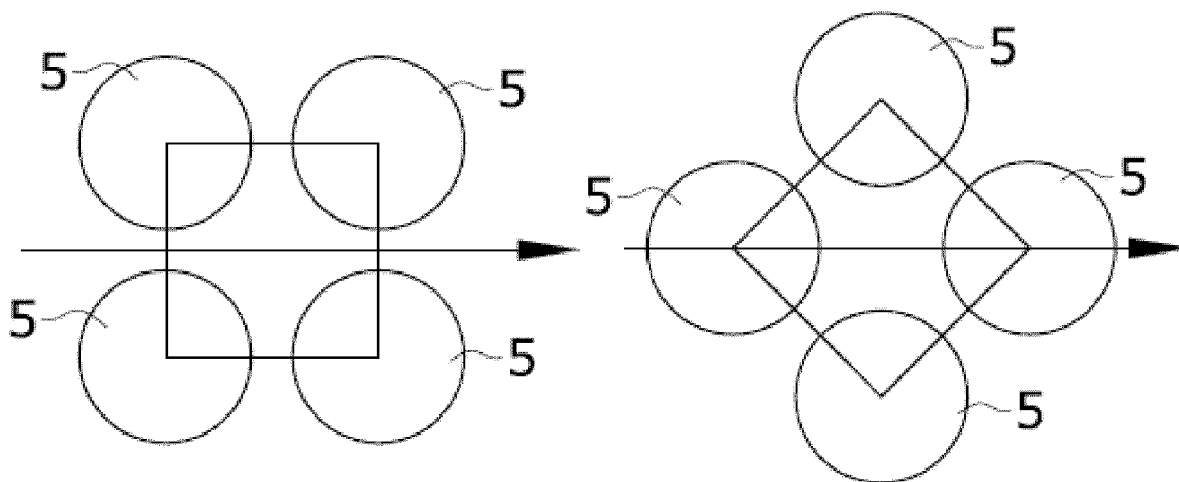


FIG.13c

FIG.13d

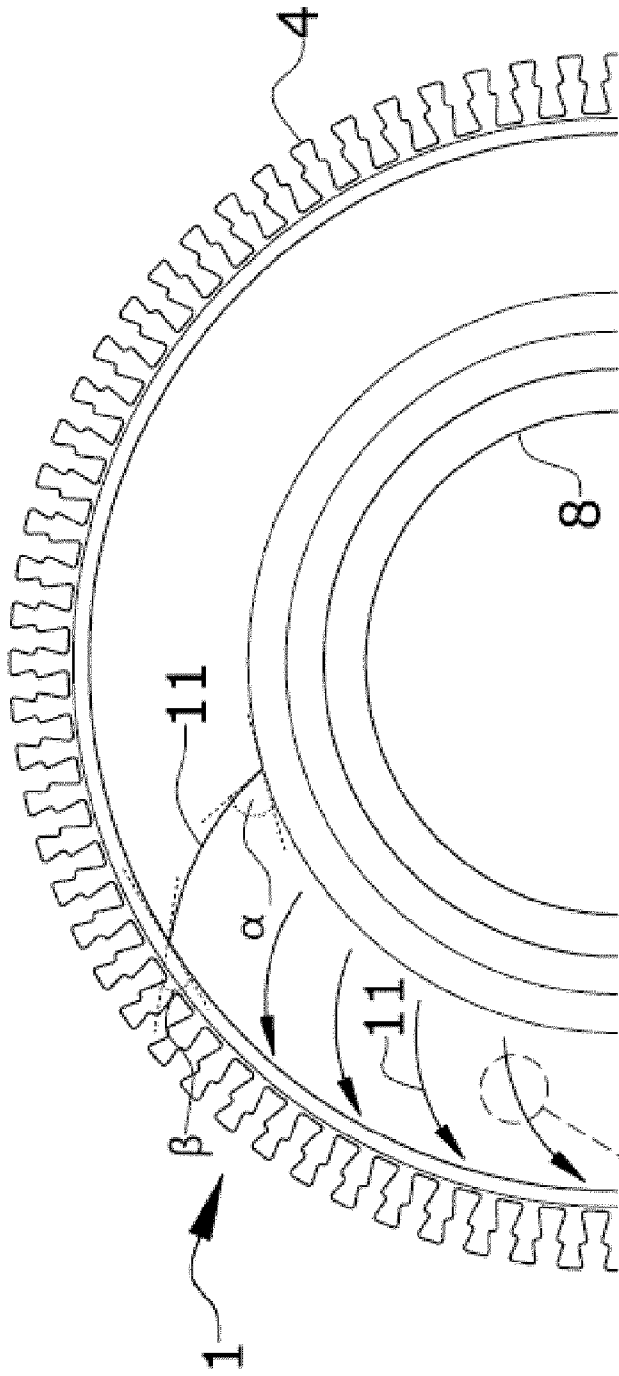


FIG. 14

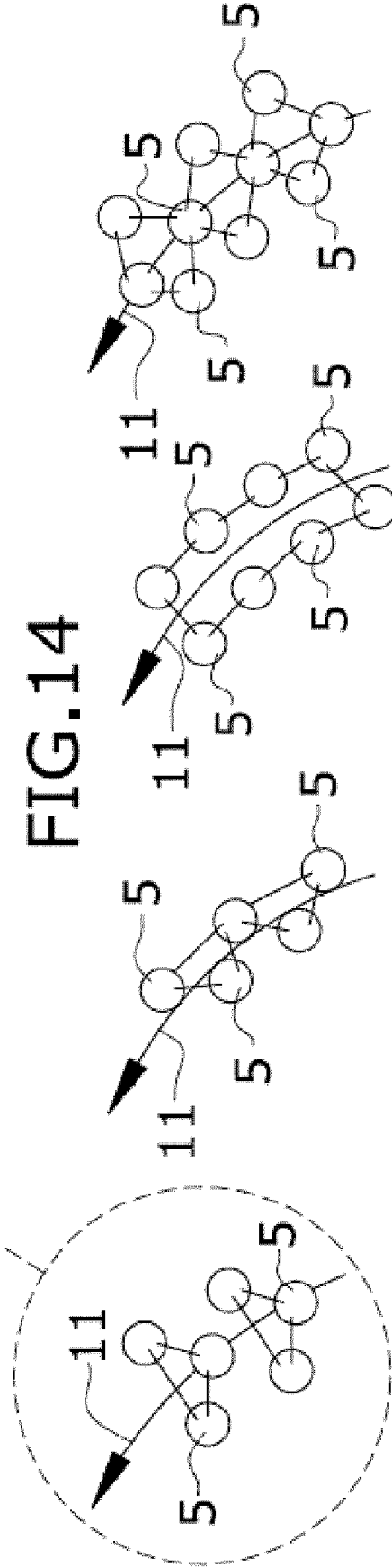


FIG. 15a FIG. 15b FIG. 15c FIG. 15d FIG. 15e

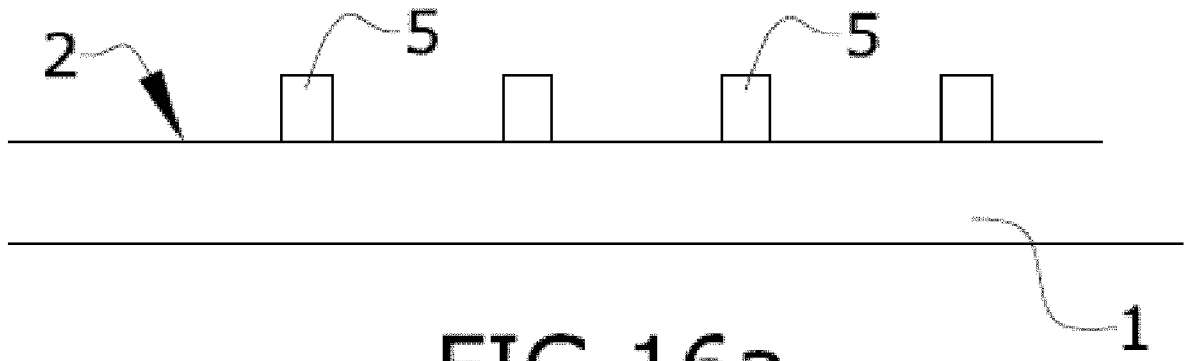


FIG. 16a

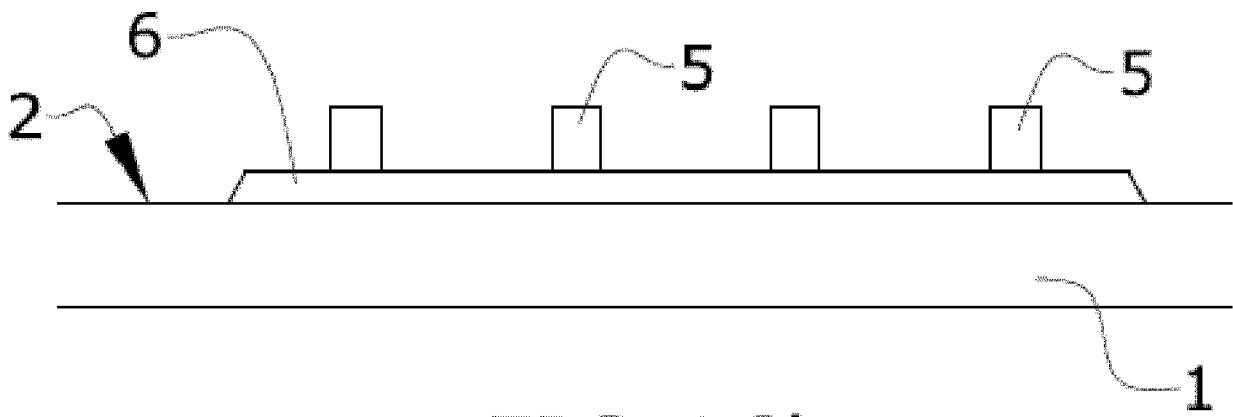


FIG. 16b

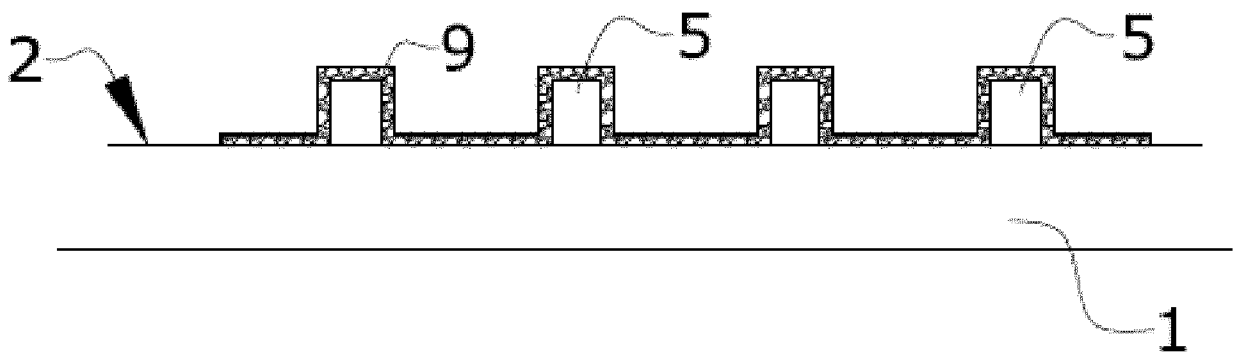


FIG. 16c