

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 985 703**

51 Int. Cl.:

F04D 29/02 (2006.01)

F04D 29/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.11.2020** **E 20209619 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2024** **EP 4001657**

54 Título: **Cubierta de impulsor reforzada por pulverización en frío**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.11.2024

73 Titular/es:

NUOVO PIGNONE TECNOLOGIE - S.R.L. (100.0%)
Via Felice Matteucci 2
50127 Florence, IT

72 Inventor/es:

BROGELLI, RICCARDO y
BELLACCI, MICHELANGELO

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 985 703 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

Cubierta de impulsor reforzada por pulverización en frío

5 **Antecedentes de la invención**

El objeto de la presente descripción se refiere a un impulsor con cubierta y a un procedimiento para fabricar impulsores con cubierta, en particular para compresores centrífugos, caracterizado por una tensión mecánica reducida causada por las fuerzas centrífugas aplicadas durante la operación, y adaptado para funcionar a una velocidad periférica más alta con respecto a la tecnología más avanzada, sin incurrir en problemas estructurales.

Los dispositivos de turbomaquinaria de flujo radial están adaptados para convertir la potencia del eje en energía cinética (y viceversa) al acelerar (o desacelerar) un fluido en un dispositivo giratorio llamado impulsor. Cuando se usan como máquinas que absorben energía, los impulsores se usan comúnmente para aumentar la presión de un fluido o inducir un flujo de fluido en un sistema de tuberías.

El impulsor es el dispositivo, dentro de los compresores centrífugos y de la turbomaquinaria en general, que, al girar, intercambia energía con el fluido. En su implementación más simple, el impulsor comprende una pluralidad de palas montadas en una placa de cubo. La forma y la geometría de las palas del impulsor pueden ser de muchos tipos diferentes según el uso, la potencia nominal y el rendimiento de la maquinaria turbo.

Un compresor, por ejemplo, es una máquina adaptada para acelerar las partículas de un fluido compresible, por ejemplo, un gas, mediante el uso de energía mecánica para aumentar la presión de ese fluido compresible. Los compresores se utilizan en varias aplicaciones diferentes, incluidos los motores de turbinas de gas. Entre los diversos tipos de compresores se encuentran los compresores centrífugos, en donde la energía mecánica funciona sobre la entrada de gas al compresor mediante una aceleración centrífuga que acelera las partículas de gas, por ejemplo, haciendo girar un impulsor centrífugo a través del cual pasa el gas. De manera más general, los compresores centrífugos forman parte de una clase de maquinaria denominada generalmente «máquinas turbo» o «máquinas turborrotativas».

Los compresores, y los compresores centrífugos en particular, pueden equiparse con un único impulsor, es decir, una configuración de una sola etapa, o con una pluralidad de impulsores en serie, en cuyo caso se denominan con frecuencia compresores multietapa. Cada una de las etapas de un compresor centrífugo normalmente incluye un conducto de entrada para acelerar el gas, un impulsor que es capaz de proporcionar energía al gas y un difusor que convierte parte de la energía cinética del gas que sale del impulsor en presión. En los compresores centrífugos multietapa, después del difusor habrá un canal de retorno que conduce el flujo al siguiente impulsor. Los impulsores pueden ser cubiertos o no cubiertos.

Los compresores centrífugos a menudo pueden emplear impulsores abiertos o sin cubierta para acelerar o aplicar energía al fluido del proceso, ya que los impulsores abiertos a menudo pueden ser relativamente más fáciles de fabricar y, por lo general, permiten una mayor velocidad periférica con respecto a los impulsores con cubierta o cerrados. Sin embargo, los compresores centrífugos que emplean impulsores abiertos pueden presentar un rendimiento y/o una eficiencia reducidos, por ejemplo, debido al hecho de que una parte del fluido del proceso puede fluir o escapar de los impulsores abiertos a través de los espacios definidos entre las palas y la parte estática del compresor, reduciendo así la eficiencia global del mismo. Por otro lado, para limitar la fuga entre las palas del impulsor y la parte estática del compresor, la holgura entre estos componentes se mantiene muy ajustada, limitando así este tipo de compresores centrífugos a aplicaciones en donde el movimiento relativo entre las palas del impulsor y las partes estáticas del compresor no es demasiado alto.

Por lo tanto, los compresores centrífugos a menudo pueden emplear impulsores con cubierta con al menos un sello entre la parte estática y la cubierta para reducir o eliminar las holguras entre dicha parte estática y el impulsor y permitir mayores desplazamientos relativos. Sin embargo, los impulsores con cubierta no están exentos de inconvenientes. La periferia exterior de los impulsores con cubierta y sin cubierta puede distorsionarse como resultado de las fuerzas centrífugas que se desarrollan durante la operación debido a la alta velocidad de rotación del impulsor. Dado que la cubierta es un disco sujeto a mayores desplazamientos con respecto al cubo y las palas están unidas tanto a la cubierta como al disco, los impulsores cubiertos están sujetos a una tensión mucho mayor y, por lo general, permiten una velocidad periférica más baja con respecto a los impulsores no cubiertos.

Por lo general, los impulsores con cubierta permiten una mejor eficiencia, mientras que son más propensos a sufrir tensiones mecánicas que limitan la velocidad periférica máxima permitida del impulsor y, en consecuencia, la máxima altura que se puede proporcionar al fluido procesado.

Los impulsores provistos de cubiertas hechas de fibra de carbono son conocidos en la técnica, sin embargo, el material de fibra de carbono es frágil y está sujeto al ataque de gases. Además, acoplar una cubierta de fibra de carbono a un impulsor de acero, que comprende un cubo y varias palas, es extremadamente difícil debido a las deformaciones relativas muy diferentes de la cubierta y el impulsor a altas velocidades periféricas y al hecho de que la fibra de carbono no se deforma plásticamente.

65

El documento EP3081669 se refiere a un procedimiento para la preparación de impulsores tapados, en donde un impulsor abierto se llena con una estructura de soporte, de modo que al menos una región de borde de las palas del impulsor abierto se cubre con la estructura de soporte, y en donde la estructura de soporte se aplica mediante pulverización de gas frío.

5 Por las razones explicadas anteriormente, los impulsores con cubiertas hechas de fibra de carbono rara vez se emplean en aplicaciones industriales extremas, como las aplicaciones industriales de petróleo y gas.

10 Un problema que es relevante en el estado de la técnica es, por lo tanto, cómo proporcionar impulsores con cubierta adaptados para soportar las fuerzas centrífugas a alta velocidad periférica, permitiendo niveles de densidad de potencia cercanos a los niveles de densidad de potencia de los impulsores sin cubierta.

Breve descripción de la invención

15 Por lo tanto, algunas realizaciones de la presente descripción se refieren a un impulsor con cubierta y a un procedimiento para fabricar impulsores con cubierta, en particular para máquinas turbo.

20 El procedimiento descrito en esta invención emplea técnicas conocidas de fabricación aditiva y, en particular, fabricación aditiva por pulverización en frío para añadir una o más capas de materiales apropiados en el cubo del impulsor y/o en la cubierta del impulsor. El proceso de pulverización en frío es una tecnología de deposición de recubrimientos en estado sólido que se ha establecido recientemente como un proceso de fabricación aditiva. En comparación con los procesos de fabricación aditiva a alta temperatura, la fabricación aditiva por pulverización en frío produce depósitos libres de óxido y ha demostrado ser mejor a la hora de conservar las propiedades originales de la materia prima para procesarla sin dañarla durante la fabricación.

25 Algunas realizaciones de la presente descripción se refieren además a impulsores y cubiertas de impulsor provistos de material agregado depositado mediante fabricación aditiva por pulverización en frío y adaptado para reducir las tensiones del impulsor sujeto a rotación a alta velocidad periférica.

30 El material depositado mediante fabricación aditiva por pulverización en frío puede comprender múltiples capas, cada una con una forma, material y/o característica específicos, según las necesidades. Se describen realizaciones preferidas que comprenden una, dos, tres y cuatro capas depositadas y se dan ejemplos de aleaciones a base de metal para fabricar dichas capas. Las realizaciones que comprenden más de cuatro capas depositadas también están dentro del alcance de la presente descripción.

35 Finalmente, se dan varios ejemplos de capas depositadas y su geometría. Cada ejemplo incorpora geometrías adaptadas para optimizar la cohesión entre las capas y el rendimiento del impulsor con respecto a una amplia gama de geometrías del impulsor, excitaciones, frecuencias de vibración naturales y temperaturas de trabajo.

40 En particular, las geometrías de las capas depositadas descritas están adaptadas para modificar las frecuencias naturales locales y pueden ajustarse para evitar cruces peligrosos entre las frecuencias naturales y de excitación que pueden ser perjudiciales para la integridad del impulsor. Siendo la rigidez y la densidad del material empleado la clave para determinar la frecuencia de vibración de un objeto, emplear entonces, para la cubierta según la presente descripción, diferentes materiales de varios espesores permite modificar la rigidez y la densidad locales de la cubierta según el espesor de los diferentes materiales de los que está hecha la cubierta.

45 Las formas y geometrías ilustradas se pueden elegir para optimizar la cohesión entre el material base y el material agregado. El material agregado se deposita preferentemente en varias áreas delimitadas por una pluralidad de líneas de material no agregado. El número de dichas líneas puede hacerse proporcional al número de palas del impulsor.

50 Breve descripción de los dibujos

Los aspectos de la presente invención se harán más evidentes a partir de la siguiente descripción de realizaciones ejemplares que se considerarán junto con los dibujos adjuntos, en donde:

55 La Figura 1 muestra una vista en sección parcial y una vista frontal de la cubierta de una realización preferida del impulsor según la presente descripción. La superficie de la cubierta comprende una pluralidad de sectores separados entre sí por ranuras rectas;

60 La Figura 2 muestra una vista en sección parcial y una vista frontal de la cubierta de una realización preferida del impulsor según la presente descripción. La superficie de la cubierta comprende una pluralidad de sectores separados entre sí por ranuras curvas;

65 La Figura 3 muestra una vista en sección parcial y una vista frontal de la cubierta de una realización preferida del impulsor según la presente descripción. La superficie de la cubierta comprende una pluralidad de sectores separados entre sí por una combinación de ranuras rectas y ranuras curvas;

La Figura 4 muestra una vista en sección parcial y una vista frontal de la cubierta de una realización preferida del impulsor según la presente descripción. La superficie de la cubierta comprende una pluralidad de sectores separados entre sí por una combinación de ranuras rectas;

5 La Figura 5 muestra una vista en sección parcial y una vista frontal de la cubierta de una realización preferida del impulsor según la presente descripción. La superficie de la cubierta comprende una pluralidad de sectores separados entre sí por una combinación de ranuras curvas;

10 La Figura 6 muestra una vista en sección parcial y una vista frontal de la cubierta de una realización preferida del impulsor según la presente descripción. La superficie de la cubierta comprende una pluralidad de sectores separados entre sí por una combinación de ranuras rectas;

15 La Figura 7 muestra una vista en sección parcial y una vista frontal de la cubierta de una realización preferida del impulsor según la presente descripción. La superficie de la cubierta comprende una pluralidad de sectores separados entre sí por una combinación de ranuras rectas y ranuras curvas;

20 La Figura 8 muestra una vista en sección parcial y una vista frontal de la cubierta de una realización preferida del impulsor según la presente descripción. La superficie de la cubierta comprende una pluralidad de sectores separados entre sí por un par de ranuras circulares;

La Figura 9 muestra una vista en sección parcial y una vista frontal de la cubierta de una realización preferida del impulsor según la presente descripción. La superficie de la cubierta comprende una pluralidad de sectores separados entre sí por un par de ranuras cuasielípticas;

25 La Figura 10 muestra una vista en sección parcial y una vista frontal de la cubierta de una realización preferida del impulsor según la presente descripción. La superficie de la cubierta comprende una pluralidad de sectores separados entre sí por una pluralidad de ranuras cuasielípticas; y

30 La Figura 11 muestra una vista en sección parcial y una vista frontal de la cubierta de una realización preferida del impulsor según la presente descripción. La superficie de la cubierta comprende una pluralidad de sectores separados entre sí por una combinación de un par de ranuras circulares y una pluralidad de ranuras curvas.

35 La siguiente descripción de realizaciones ilustrativas se refiere a los dibujos que se acompañan. Los mismos números de referencia en diferentes dibujos identifican elementos idénticos o similares. La siguiente descripción detallada no limita la invención. En lugar de ello, el alcance de la invención queda definido por las reivindicaciones adjuntas.

Descripción detallada de la invención

40 Los compresores centrífugos son una clase de máquinas turbo (o máquinas turborrotativas) adaptadas para acelerar las partículas de un fluido compresible de entrada, por ejemplo, un gas, mediante el uso de energía mecánica para aumentar la presión del mismo. Los compresores centrífugos aprovechan la aceleración centrífuga para acelerar las partículas de gas de entrada, por ejemplo, haciendo girar un impulsor centrífugo a través del cual se fuerza al gas a fluir.

45 Los compresores centrífugos pueden emplear impulsores cerrados o abiertos, es decir, impulsores fabricados con o sin cubierta. Los impulsores con cubierta garantizan una mayor eficiencia, pero tienen una velocidad periférica máxima permitida más baja y, en consecuencia, una altura máxima más baja para proporcionar al fluido procesado. Estas limitaciones se deben al hecho de que la periferia exterior del impulsor puede deformarse como resultado de la tensión mecánica debida a las fuerzas centrífugas que se desarrollan durante el funcionamiento debido a la alta velocidad de rotación del impulsor. En los impulsores con cubierta, el impacto de esta deformación y tensión mecánica es mayor porque la cubierta es una placa que se adhiere a las palas y, debido a las fuerzas centrífugas, está sujeta a grandes desplazamientos que pueden terminar dañando tanto la cubierta como las palas si la velocidad de rotación es demasiado alta.

50 Las realizaciones descritas en esta invención se refieren a un impulsor envuelto y a un procedimiento para construir impulsores con cubierta de múltiples materiales adecuados para girar con una velocidad periférica superior a la alcanzable con impulsores con cubierta de un solo material. El procedimiento comprende depositar, sobre la cubierta de un material base de impulsor premecanizado, material adicional mediante fabricación aditiva por pulverización en frío. El material depositado mediante fabricación aditiva por pulverización en frío puede comprender capas únicas o múltiples, cada una con una forma y/o material y/o característica específicos.

60 Una realización del impulsor 10 según la presente descripción comprende un cubo 11, adaptado para alojar un eje motriz que proporciona la potencia que se transmitirá al fluido del proceso, y una cubierta 12. Una pluralidad de palas 13 se disponen entre el cubo 11 y la cubierta 12. Las paletas se desarrollan hacia fuera desde el cubo 11 y están conformadas de tal manera que desplazan el fluido de trabajo desde una entrada lateral de baja presión (el ojo del impulsor, colocado en la cubierta en una zona frontal del impulsor 10) hasta una salida lateral de alta presión ubicada en la periferia del impulsor 10.

65

ES 2 985 703 T3

Durante la operación, el fluido de trabajo entra en las paletas entre las palas 13, desde el ojo del impulsor, en una dirección sustancialmente paralela a un eje de rotación del impulsor 10 y sale, energizado por la acción del impulsor 10, por la salida definida por un borde circunferencial periférico del impulsor 10.

5 La cubierta 12 está sujeta a la aceleración centrífuga y a fuerzas que provocan mayores desplazamientos con respecto al cubo 11. Al estar las palas 13 unidas tanto a la cubierta 12 como al cubo 11, están sometidas a una tensión mucho mayor con respecto a los impulsores no cubiertos, y pueden provocar daños importantes si la velocidad periférica del impulsor no está adecuadamente limitada. Las fuerzas centrífugas aplicadas por la cubierta 12 a las palas son proporcionales a la masa de la cubierta que, para una geometría dada, es proporcional a su densidad.

10 Por lo general, los impulsores cerrados diseñados para funcionar a velocidades periféricas muy altas están fabricados con un solo material, por ejemplo, un acero especial con un alto límite elástico o un material de baja densidad (por ejemplo, titanio o aleación de aluminio).

15 Los impulsores cerrados de acero compensan las fuerzas centrífugas generadas por la cubierta de alta densidad (alrededor de 7850 kg/m³), con palas fabricadas con el mismo material que tienen un alto límite elástico.

20 Los impulsores cerrados fabricados con materiales de baja densidad compensan la menor resistencia de las palas con las menores fuerzas generadas por la densidad reducida (unos 4500 kg/m³ para el titanio y 2700 kg/m³ para el aluminio) de la cubierta.

Según la presente descripción, el impulsor puede fabricarse con uno o más materiales metálicos que pueden depositarse mediante fabricación aditiva por pulverización en frío sobre una base metálica.

25 La pulverización en frío es un procedimiento de deposición de recubrimientos en donde polvos sólidos (generalmente en el intervalo de 1 a 50 micrómetros de diámetro) se aceleran en un chorro de gas supersónico a una velocidad de hasta 500 - 1000 m/s. Los metales, polímeros, cerámicas, materiales compuestos y polvos nanocristalinos se pueden depositar mediante pulverización en frío. Durante el impacto con el sustrato, las partículas sufren una deformación plástica y se adhieren a la superficie tratada. La energía cinética de las partículas de polvo, suministrada por la expansión del gas en el chorro de gas supersónico, se convierte en energía de deformación plástica durante la unión. A diferencia de las técnicas de pulverización térmica, por ejemplo, la pulverización con plasma, la pulverización con arco, la pulverización con llama o el combustible de oxígeno a alta velocidad, los polvos no se funden durante el proceso de pulverización en frío.

30 El solicitante descubrió que la aplicación de la tecnología de pulverización en frío al campo de la fabricación de impulsores, en particular impulsores para compresores centrífugos, permite tener un impacto mínimo en el impulsor, ya que no se requiere la fusión del metal.

35 Al ser la fabricación aditiva por pulverización en frío un proceso en frío, se conservan las propiedades físicas y químicas iniciales de las partículas de los materiales empleados y el calentamiento del sustrato es mínimo, lo que da como resultado una microestructura de los recubrimientos trabajada en frío en donde no se producen fenómenos macroscópicos de fusión y solidificación, evitando así cualquier posible debilitamiento de la estructura metálica del impulsor.

40 La cubierta 12 del impulsor 10 según la descripción puede comprender una sola capa depositada o múltiples capas. Cuando se emplea una estructura provista de una sola capa depositada, los materiales que se pueden usar son, preferiblemente, los siguientes: Aleaciones de Al (como AL2024, Al6061, AL7050, etc.) o aleaciones de Ti (como Ti6Al4V, Ti6Al4V ELI, Ti Grade 17, etc.) debido a su baja densidad, altas propiedades mecánicas y amplia disponibilidad comercial.

45 Para reducir la cantidad de tensión mecánica que se desarrolla, durante la operación, entre el material base de la cubierta y el material depositado por pulverización en frío, tensión mecánica debida a la diferencia entre las propiedades de los dos materiales en contacto (por ejemplo, el CTE (*Coefficient of Thermal Expansion* - Coeficiente de Expansión Térmica) y el módulo de Young), se puede contemplar una estructura multicapa para obtener una estructura graduada en donde las propiedades de los materiales empleados cambien gradualmente de una capa a la siguiente.

50 Por lo tanto, las estructuras multicapa comprenden una pluralidad de capas depositadas sobre la superficie de la cubierta del impulsor 12. Preferiblemente, los metales o aleaciones más pesados se depositan primero en una capa delgada, para tener una mejor adhesión a la superficie de la cubierta 12 del impulsor y minimizar la tensión mecánica cuando está en funcionamiento. En términos más generales, la secuencia de las capas empleadas se elige para garantizar que al menos una propiedad de los metales o aleaciones de dichas capas varíe gradualmente desde la primera hasta la última capa depositada. Dicha al menos una propiedad puede ser, por ejemplo, el peso molecular o la masa molar, la densidad, el CTE, (*Coefficient of Thermal Expansion* - Coeficiente de Expansión Térmica) el módulo de Young, etc.

55 En el caso de una estructura de dos capas, se deposita una segunda capa sobre la primera capa, estando hecha la segunda capa de un material más ligero con respecto al material de la primera capa. La primera capa, más pesada, puede estar hecha, por ejemplo, de aleaciones de Fe o Ni. La segunda capa, más ligera, puede estar hecha de metales o aleaciones de Al, Mg, Ti y Fe cuando la primera capa está hecha de Ni. Las realizaciones del impulsor provistas de una estructura de dos capas y, según la descripción, pueden emplear las siguientes combinaciones de

metales o aleaciones (el primer metal/aleación se refiere a la primera capa o capa interior, el segundo metal/aleación se refiere a la segunda capa o capa exterior): Fe - Al; Ni - Al; Fe - Mg; Ni - Mg; Fe - Ti; Ni - Ti; Ni - Fe.

5 En el caso de estructuras multicapa, una realización comprende una tercera capa intermedia interpuesta entre las dos capas descritas anteriormente y otra realización comprende una tercera capa adicional colocada encima de las otras dos capas para proteger la estructura de la corrosión, la erosión o el desgaste debido al medio ambiente. Una primera capa más pesada se deposita mediante pulverización en frío sobre la cubierta del impulsor, luego se pulveriza en frío una segunda capa intermedia sobre la primera capa para minimizar la tensión mecánica entre las diferentes capas. Finalmente, se deposita una tercera capa más ligera sobre la segunda capa.

10 Las realizaciones de la cubierta 12 de tres capas del impulsor según la descripción pueden emplear una capa intermedia hecha de los siguientes metales o aleaciones: Al, Ti, Mg, Fe, Ni, Co, Mo, Cr. Los ejemplos preferidos de cubiertas de tres capas pueden emplear las siguientes secuencias de metales o aleaciones, en donde el metal o la aleación mencionados en primer lugar es el primero que se pulveriza en frío sobre la cubierta: Ti-Al-Mg, Ni-Fe-Ti, Ni-Fe-Al, Ni-Ti-Al, Fe-Ti-Al, Co-Ni-Al. 15 Todos los ejemplos anteriores proporcionan una secuencia de metales o aleaciones caracterizados por al menos una propiedad que varía gradualmente desde la primera hasta la última capa depositada. En el ejemplo anterior, el Ti-Al-Mg, por ejemplo, el Ti tiene propiedades físicas que se encuentran entre el sustrato de acero y la siguiente capa de Al.

20 Otras realizaciones de la presente descripción emplean una capa externa adicional que ayuda a proporcionar una resistencia adicional contra la corrosión, la erosión y el desgaste. Se puede depositar una capa externa adicional sobre la capa simple, doble o triple rociada en frío sobre la superficie de la cubierta, para fortalecer la estructura contra los agentes ambientales agresivos. Los ejemplos de esta capa externa adicional pueden estar hechos de los siguientes metales o aleaciones: Ti, Ni, Co, Mo y Cr.

25 Los impulsores según la presente descripción pueden fabricarse según varios procedimientos. En un ejemplo, el cuerpo de un impulsor se puede fabricar con diferentes tecnologías (por ejemplo, forjado, moldeado, moldeado por HiP (*Hot Isostatic Pressing* - Presión Isostática en Caliente) o impreso en 3D) y en una amplia variedad de materiales, por ejemplo, acero (por ejemplo, AISI410, ASTM A182 F22, 17-4PH, etc.) o aleación de Ni (por ejemplo, IN625M PM, IN718, etc.). El cuerpo del impulsor se mecaniza previamente mediante procesos de torneado y fresado, luego se depositan una o varias capas de metal o aleaciones metálicas mediante pulverización en frío sobre la superficie de la parte frontal del impulsor en donde estará la cubierta; finalmente, el impulsor se mecaniza para fabricar la estructura completa del impulsor que comprende palas y paletas. El mecanizado final del impulsor se adaptará para dar forma adecuada a la cubierta, eligiendo el ancho del material base con respecto al ancho de los materiales externos rociados en frío, optimizando las características generales del impulsor para maximizar la velocidad periférica permitida y la potencia máxima transmisible al gas. En una realización, el mecanizado final está adaptado para eliminar por completo la capa base de acero original de la cubierta con el fin de dejar solo las capas depositadas por pulverización en frío.

35 En otra realización, el material base del impulsor se premechaniza y luego se mecaniza adicionalmente para fabricar la estructura completa del impulsor que comprende palas y paletas. Finalmente, la cubierta del impulsor se pulveriza en frío para agregar una o más capas de metal o aleaciones metálicas.

40 En una realización adicional, el material base del impulsor se mecaniza previamente mediante procesos de torneado y fresado para fabricar la estructura del impulsor que comprende palas y paletas. Luego, la cubierta del impulsor se pulveriza en frío para agregar una o más capas de metal o aleaciones metálicas.

45 El uso de técnicas de pulverización en frío permite un grado de flexibilidad que puede aprovecharse para optimizar aún más el comportamiento dinámico del impulsor. Por lo tanto, la deposición de las capas adicionales de metal o aleación metálica sobre la superficie externa de la cubierta se puede hacer de manera uniforme y uniforme y también según patrones y diseños preferidos más complejos.

50 Con referencia a la Figura 1, que muestra una vista en sección parcial del impulsor y una vista frontal de la cubierta del impulsor, una o más de las capas adicionales rociadas en frío no son uniformes, sino que están hechas de una pluralidad de sectores, separados de los adyacentes por una pluralidad de ranuras en donde no se ha depositado material adicional o en donde el material depositado tiene una anchura más delgada. Las ranuras radiales se originan en el borde interior de la cubierta, se extienden hasta el borde exterior de la cubierta y están aproximadamente centradas en el centro del ojo del impulsor. El número de ranuras se puede elegir según los requisitos del impulsor (número de palas, velocidad periférica, frecuencias de excitación, etc.). Además, el número y la forma de las ranuras pueden ser útiles para ajustar las frecuencias de resonancia natural locales, lo que permite al diseñador eliminar dichas frecuencias de resonancia natural de las frecuencias de excitación que son potencialmente muy dañinas para el impulsor. Además, el número y la forma de las ranuras se pueden elegir adecuadamente para reducir la tensión en las capas depositadas.

60 Con referencia a la Figura 2, que muestra otra realización, las ranuras siguen siendo sustancialmente radiales pero curvas.

65 La Figura 3 muestra otra realización en donde una pluralidad de pares de ranuras, una curva y otra recta, se originan en el borde interior de la cubierta de una manera aproximadamente radial y se extienden hasta el borde exterior de la cubierta. La ranura recta de cada pareja se cruza con la ranura curva de la pareja siguiente.

- 5 La Figura 4 muestra otra realización en donde una pluralidad de pares de ranuras rectas se originan en el borde interior de la cubierta de una manera aproximadamente radial y se extienden hasta el borde exterior de la cubierta. Cada surco de cada par de surcos se cruza con un surco de dos pares de surcos siguientes o dos pares de surcos anteriores.
- La Figura 5 muestra otra realización en donde una pluralidad de pares de ranuras curvas se originan en el borde interior de la cubierta de una manera aproximadamente radial y se extienden hasta el borde exterior de la cubierta. Los surcos curvos de cada pareja se cruzan entre sí y tienen sus concavidades enfrentadas entre sí.
- 10 La Figura 6 muestra otra realización en donde una pluralidad de ranuras rectas están dispuestas como cuerdas del borde exterior aproximadamente circular de la cubierta del impulsor. Cada ranura se interseca con al menos otras dos ranuras.
- La Figura 7 muestra otra realización en donde una pluralidad de ranuras curvas y rectas se originan en el borde interior de la cubierta de una manera aproximadamente radial y se extienden hasta el borde exterior de la cubierta.
- 15 Cada ranura recta se interseca con al menos una ranura curva adyacente.
- La Figura 8 muestra otra realización en donde dos ranuras circulares dividen la superficie de la cubierta en tres coronas circulares.
- 20 La Figura 9 muestra otra realización en donde dos ranuras cuasielípticas dividen la superficie de la cubierta en tres secciones.
- La Figura 10 muestra otra realización en donde una pluralidad de ranuras cuasielípticas divide la superficie de la cubierta en una pluralidad de secciones.
- 25 La Figura 11 muestra otra realización en donde una pluralidad de pares de ranuras curvas se originan en el borde interior de la cubierta de una manera aproximadamente radial, se extienden hasta el borde exterior de la cubierta y se cruzan con dos ranuras circulares para dividir la superficie de la cubierta en una pluralidad de secciones.
- 30 Todas las realizaciones descritas anteriormente tienen como objetivo optimizar el comportamiento dinámico del impulsor modificando y ajustando las frecuencias naturales locales para evitar cruces peligrosos entre las frecuencias naturales y de excitación que pueden ser perjudiciales para la integridad del impulsor cuando está en funcionamiento.

REIVINDICACIONES

1. Impulsor con cubierta (10) para compresores centrífugos en donde la cubierta (12) comprende al menos una capa de material metálico depositada mediante pulverización en frío; el impulsor con cubierta **caracterizado por que** al menos una capa de material metálico está hecha de una pluralidad de sectores, separados de los sectores adyacentes por una pluralidad de ranuras.
2. Impulsor con cubierta (10) según la reivindicación 1, **caracterizado por que** al menos una capa de material metálico depositada mediante pulverización en frío está hecha de aleaciones a base de Al o aleaciones a base de Ti.
3. Impulsor con cubierta (10) según la reivindicación 1, **caracterizado por que** al menos una capa de material metálico comprende una primera capa de un primer material metálico y una segunda capa de un segundo material metálico depositada sobre la primera capa, variando gradualmente al menos una propiedad de los metales o aleaciones de dichas primera y segunda capas desde el material impulsor hasta la última capa depositada.
4. Impulsor con cubierta (10) según la reivindicación 3, **caracterizado por que** el primer material metálico se elige del grupo que comprende materiales metálicos a base de Fe y a base de Ni; el segundo material metálico se elige del grupo que comprende materiales metálicos a base de Al, a base de Mg y a base de Ti.
5. Impulsor con cubierta (10) según la reivindicación 1, **caracterizado por que** al menos una capa de material metálico comprende una primera capa de un primer material metálico, una segunda capa de un segundo material metálico en la parte superior de la primera capa y una tercera capa de un tercer material metálico en la parte superior de la segunda capa, variando al menos una propiedad de los metales o aleaciones de dichas capas primera, segunda y tercera gradualmente desde el material impulsor hasta la última capa depositada..
6. Impulsor con cubierta (10) según la reivindicación 5, **caracterizado por que** el primer material metálico se elige del grupo que comprende materiales metálicos a base de Fe y a base de Ni; el segundo material metálico se elige del grupo que comprende materiales metálicos a base de Al, a base de Ti, a base de Mg, a base de Fe, a base de Ni, a base de Co y a base de Mo; el tercer material metálico se elige del grupo que comprende materiales metálicos a base de Al, a base de Mg y a base de Ti.
7. Impulsor con cubierta (10) según una o más de las reivindicaciones 3 a 6, **caracterizado por que** dicha al menos una propiedad de los metales o aleaciones se elige del grupo que comprende el peso molecular, la masa molar, la densidad, el CTE (*Coefficient of Thermal Expansion* - Coeficiente de Expansión Térmica) y el módulo de Young.
8. Impulsor con cubierta (10) según una o más de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** comprende una capa exterior adicional de material metálico elegida del grupo que comprende materiales metálicos a base de Ti, a base de Ni, a base de Co, a base de Mo y a base de Cr.
9. Procedimiento para la fabricación de impulsores con cubierta (10) para compresores centrífugos, que comprende: fabricar un cuerpo de impulsor; depositar mediante pulverización en frío al menos una capa de material metálico sobre la superficie de la parte frontal del impulsor correspondiente a la cubierta (12) del impulsor (10); mecanizar el impulsor para completar y terminar su estructura; en donde al menos una capa de material metálico está hecha de una pluralidad de sectores, separados de los sectores adyacentes por una pluralidad de ranuras.
10. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado por que** la fabricación de un cuerpo de impulsor se realiza mediante un proceso elegido del grupo que comprende forja, moldeado, moldeado por HiP (*Hot Isostatic Pressing* - Presión Isostática en Caliente) o impresión 3D.
11. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones 9 a 10, **caracterizado por que** la fabricación de un cuerpo impulsor comprende además una fase de premecanizado en donde el cuerpo impulsor se trabaja mediante procesos de torneado y fresado para prefabricar la estructura del impulsor que comprende palas (13) y paletas.
12. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado por que** al menos una capa de material metálico depositada mediante pulverización en frío está hecha de aleaciones a base de Al o aleaciones a base de Ti.
13. Procedimiento según la reivindicación 12, **caracterizado por que** las aleaciones a base de Al se eligen del grupo que comprende AL2024, Al6061 y AL7050 y las aleaciones a base de Ti se eligen del grupo que comprende Ti6Al4V, Ti6Al4V ELI y Ti de Grado 17.
14. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado por que** depositar mediante pulverización en frío al menos una capa de material metálico comprende depositar mediante pulverización en frío dos capas de material metálico sobre la superficie de la parte frontal del impulsor (10): una primera capa de un primer material metálico y una segunda capa de un segundo material metálico sobre la primera

capa, variando gradualmente al menos una propiedad de los metales o aleaciones de dichas primera y segunda capas. desde el material del impulsor hasta el última capa depositada.

- 5 15. Procedimiento según la reivindicación 14, **caracterizado por que** el primer material metálico se elige del grupo que comprende materiales metálicos a base de Fe y a base de Ni; el segundo material metálico se elige del grupo que comprende materiales metálicos a base de Al, a base de Mg y a base de Ti.
- 10 16. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado por que** depositar mediante pulverización en frío al menos una capa de material metálico comprende depositar mediante pulverización en frío tres capas de material metálico sobre la superficie de la parte frontal del impulsor: una primera capa de un primer material metálico, una segunda capa de un segundo material metálico sobre la primera capa y una tercera capa de un tercer material metálico sobre la segunda capa, al menos una propiedad de los metales o aleaciones de dicha primera, segunda y tercera capas que varían gradualmente desde el material del impulsor hasta la última capa depositada.
- 15 17. Procedimiento según la reivindicación 16, **caracterizado por que** el primer material metálico se elige del grupo que comprende materiales metálicos a base de Fe y a base de Ni; el segundo material metálico se elige del grupo que comprende materiales metálicos a base de Al, a base de Ti, a base de Mg, a base de Fe, a base de Ni, a base de Co y a base de Mo; el tercer material metálico se elige del grupo que comprende materiales metálicos a base de Al, a base de Mg y a base de Ti.
- 20 18. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones 14 a 17, **caracterizado por que** dicha al menos una propiedad de los metales o aleaciones se elige del grupo que comprende el peso molecular, la masa molar, la densidad, el CTE (*Coefficient of Thermal Expansion* - Coeficiente de Expansión Térmica) y el módulo de Young.
- 25 19. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones 9 a 18, **caracterizado por que** comprende depositar mediante pulverización en frío una capa exterior adicional de material metálico elegido del grupo que comprende materiales metálicos a base de Ti, a base de Ni, a base de Co, a base de Mo y a base de Cr.

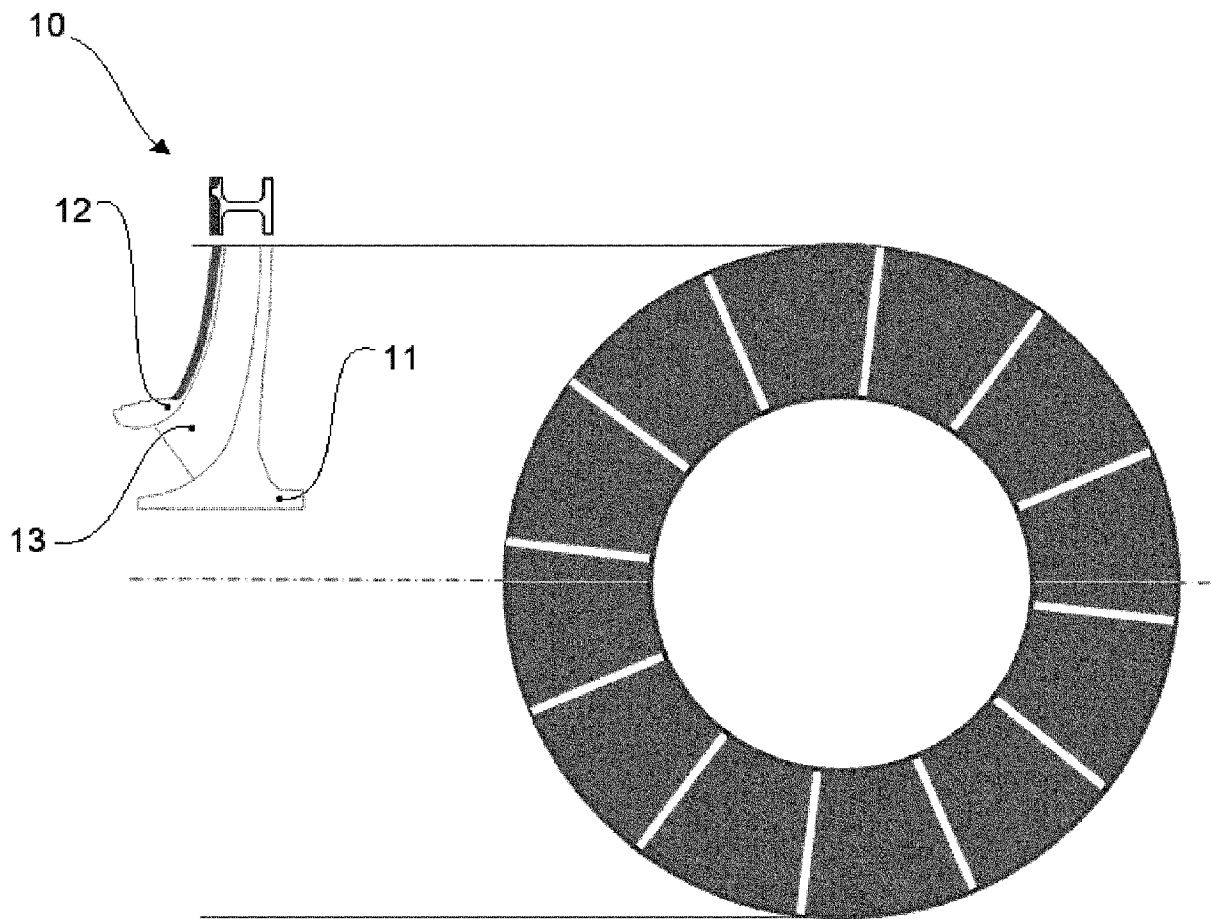


Figura 1

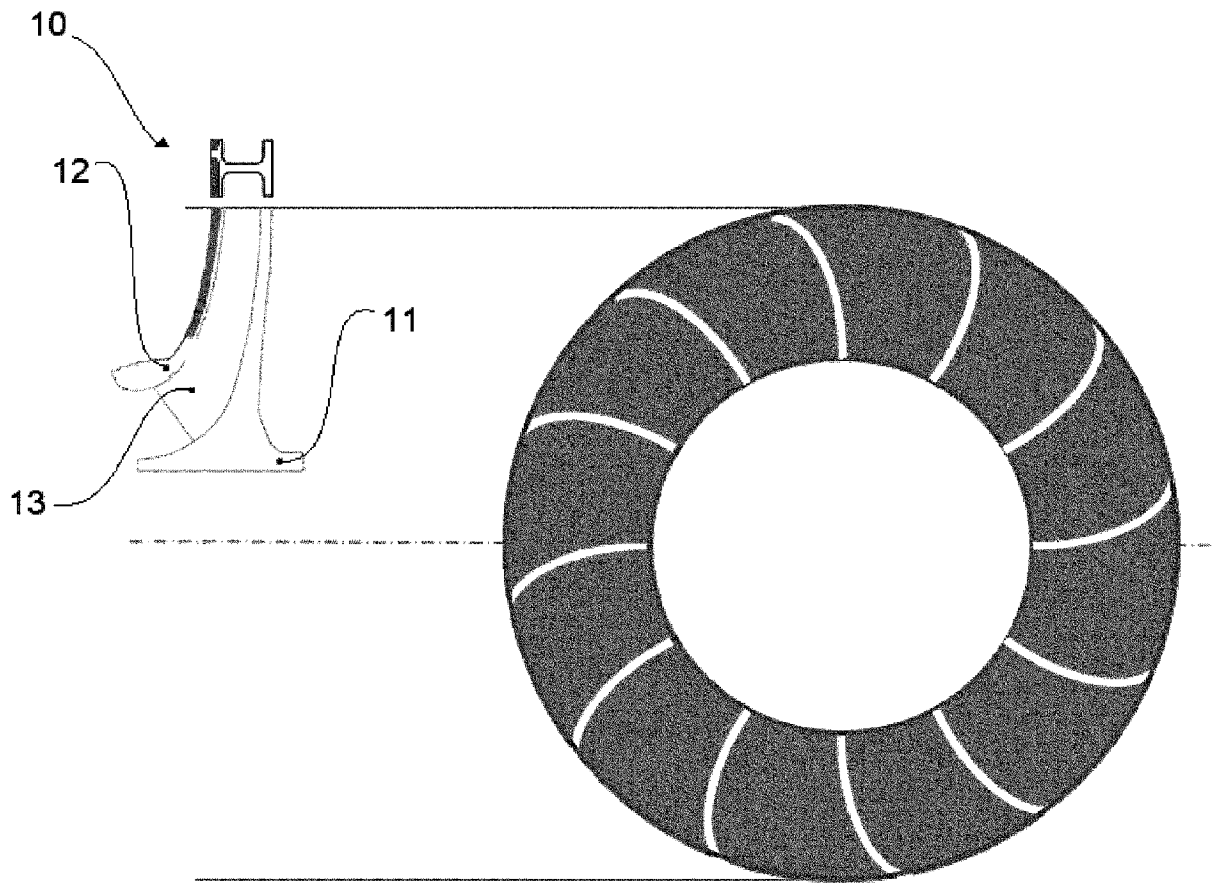


Figura 2

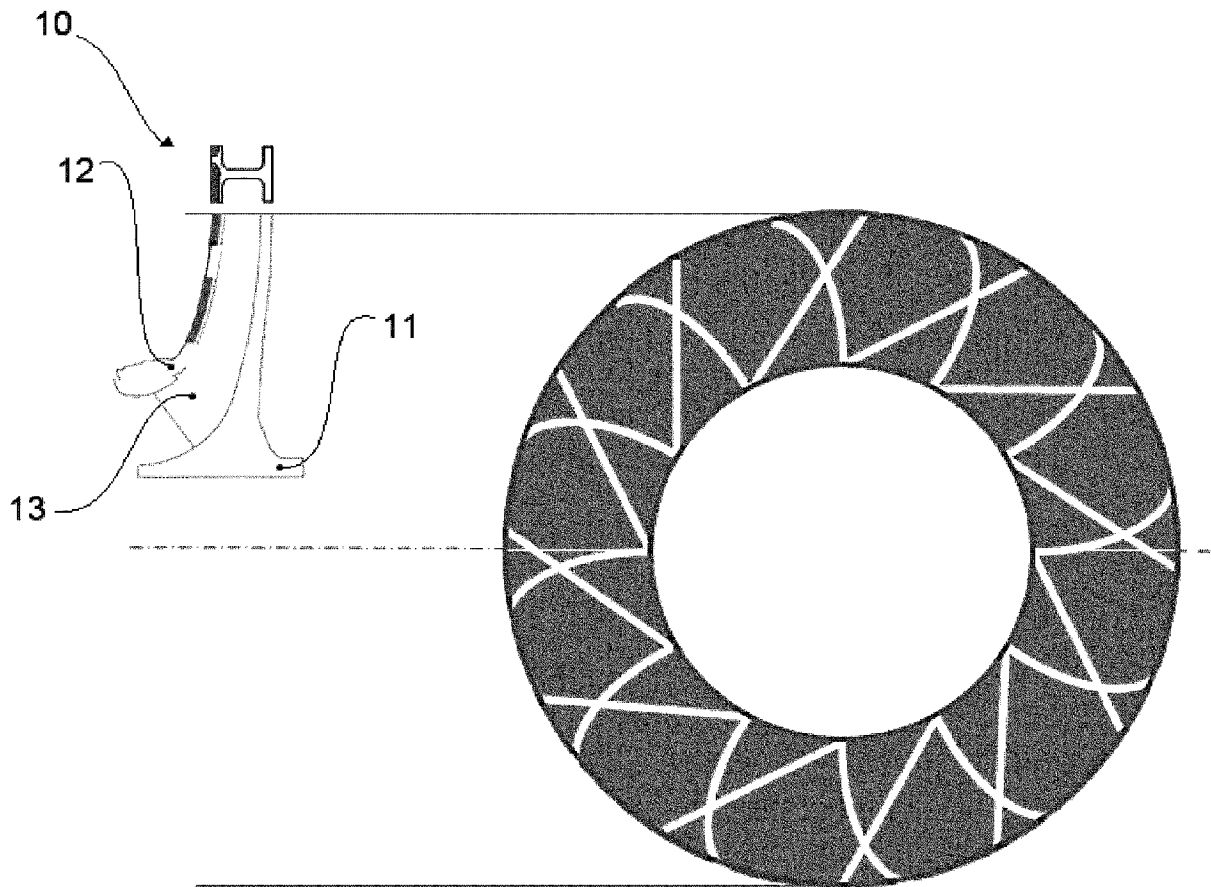


Figura 3

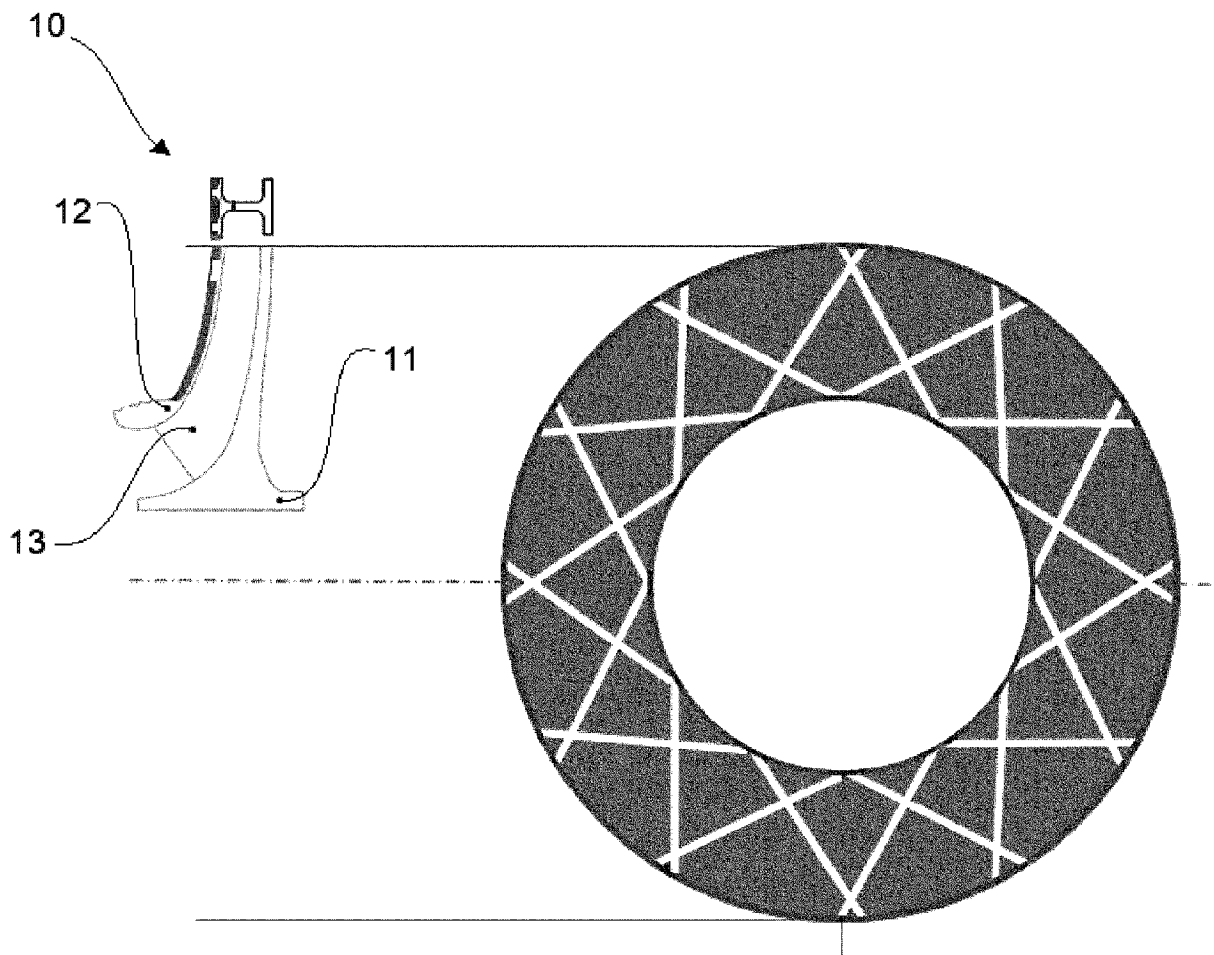


Figura 4

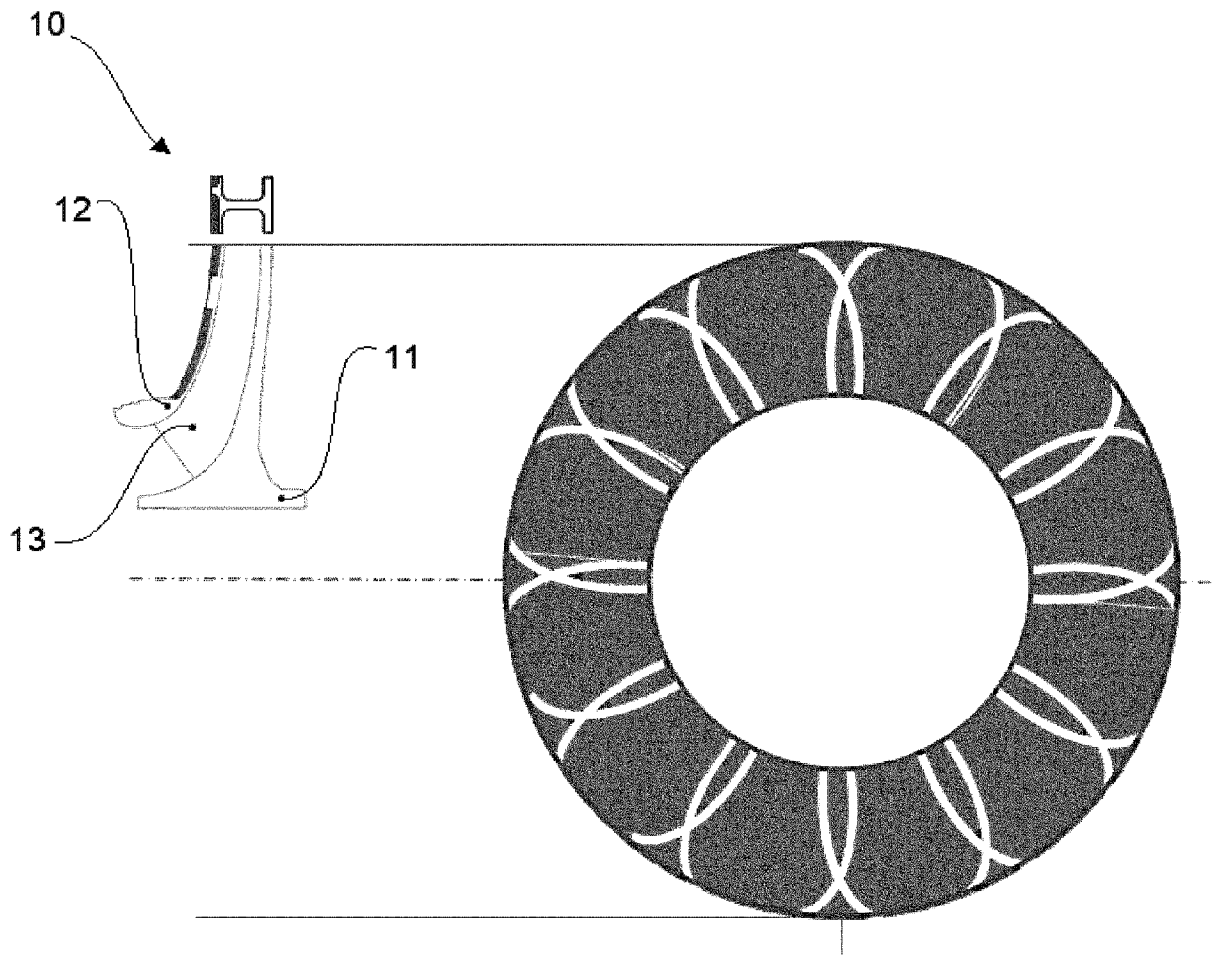


Figura 5

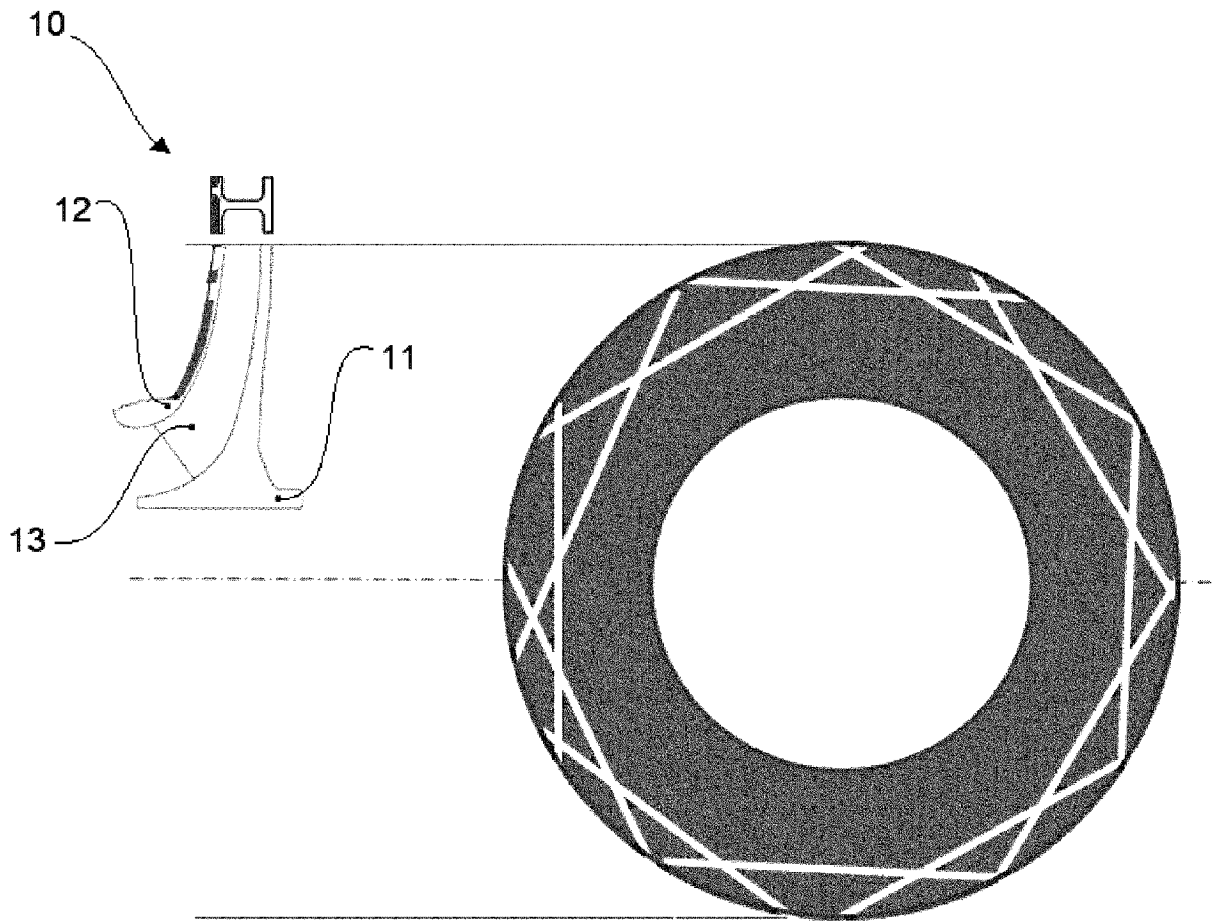


Figura 6

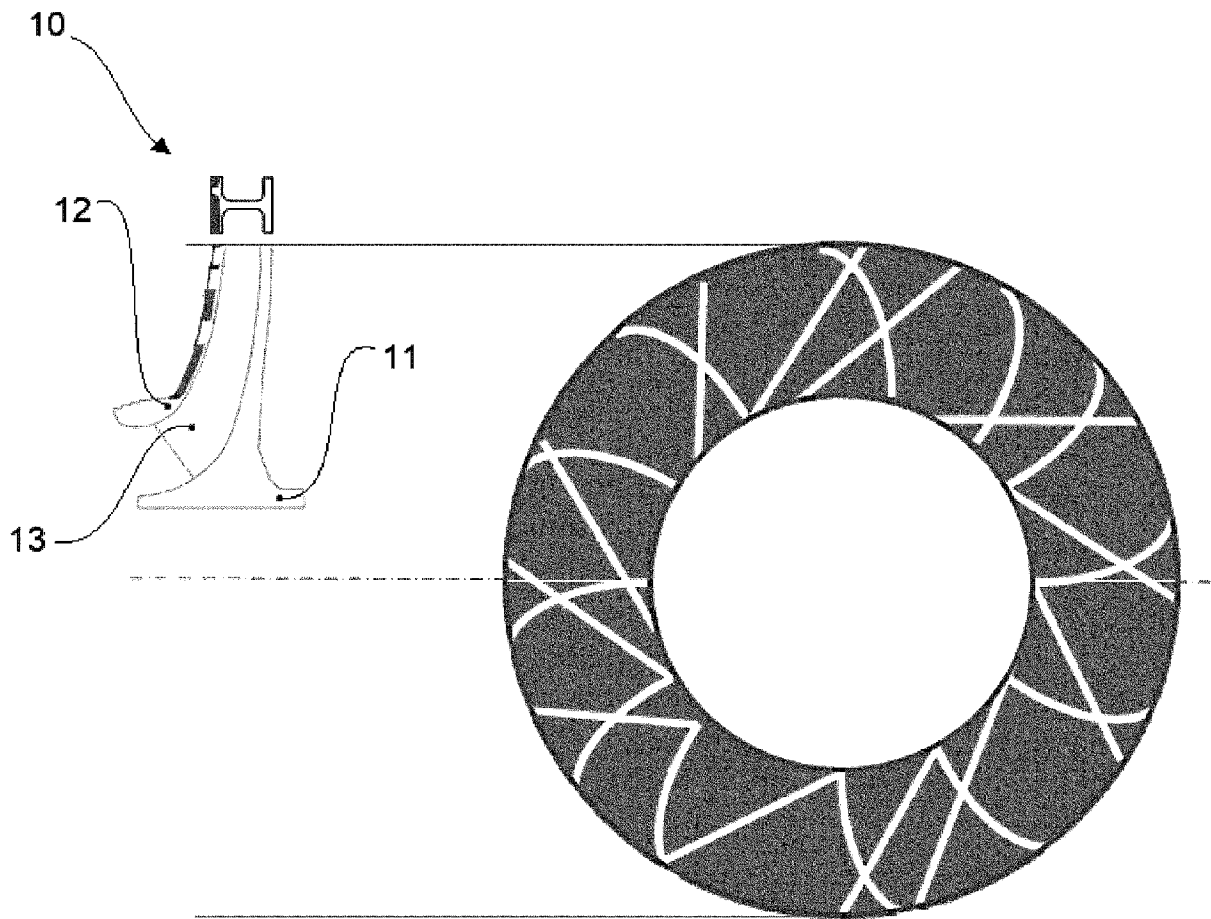


Figura 7

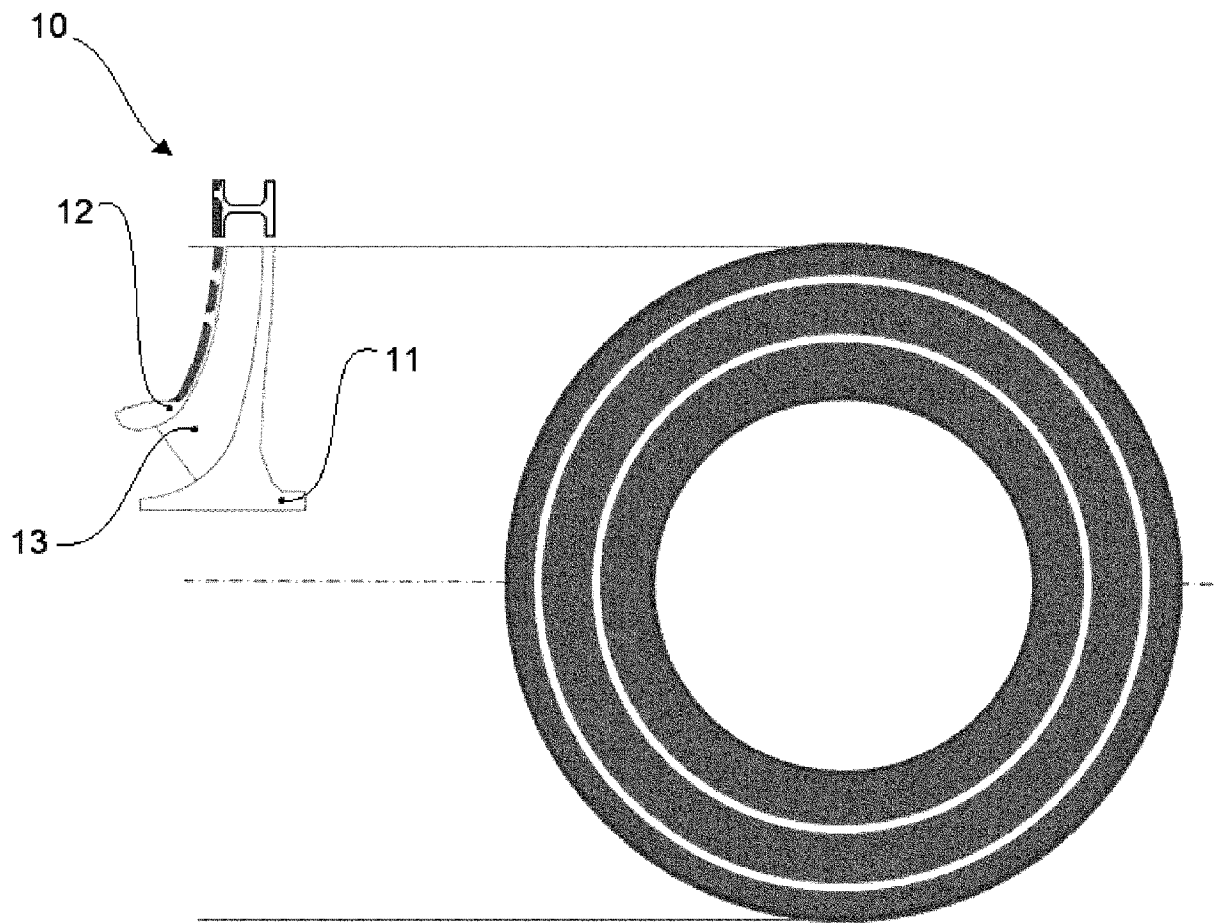


Figura 8

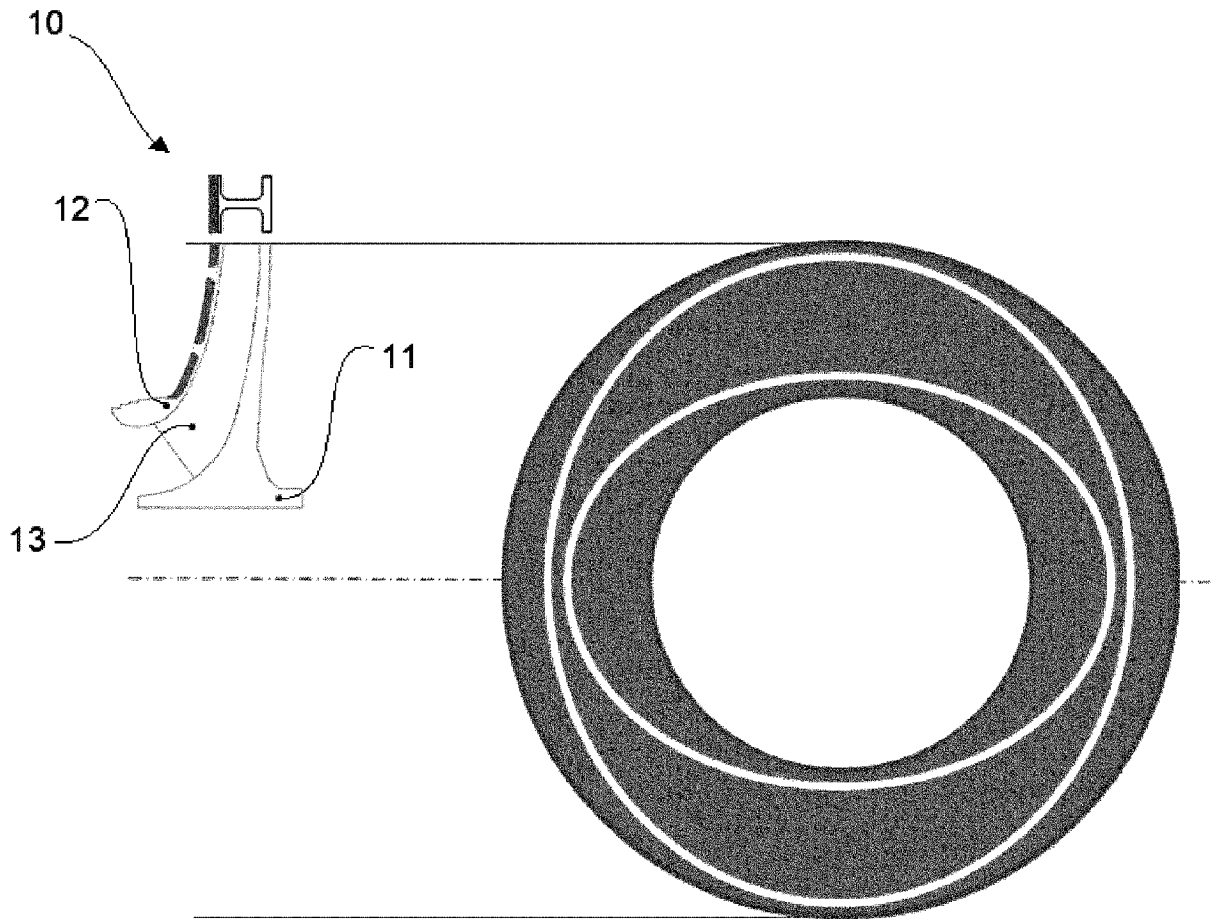


Figura 9

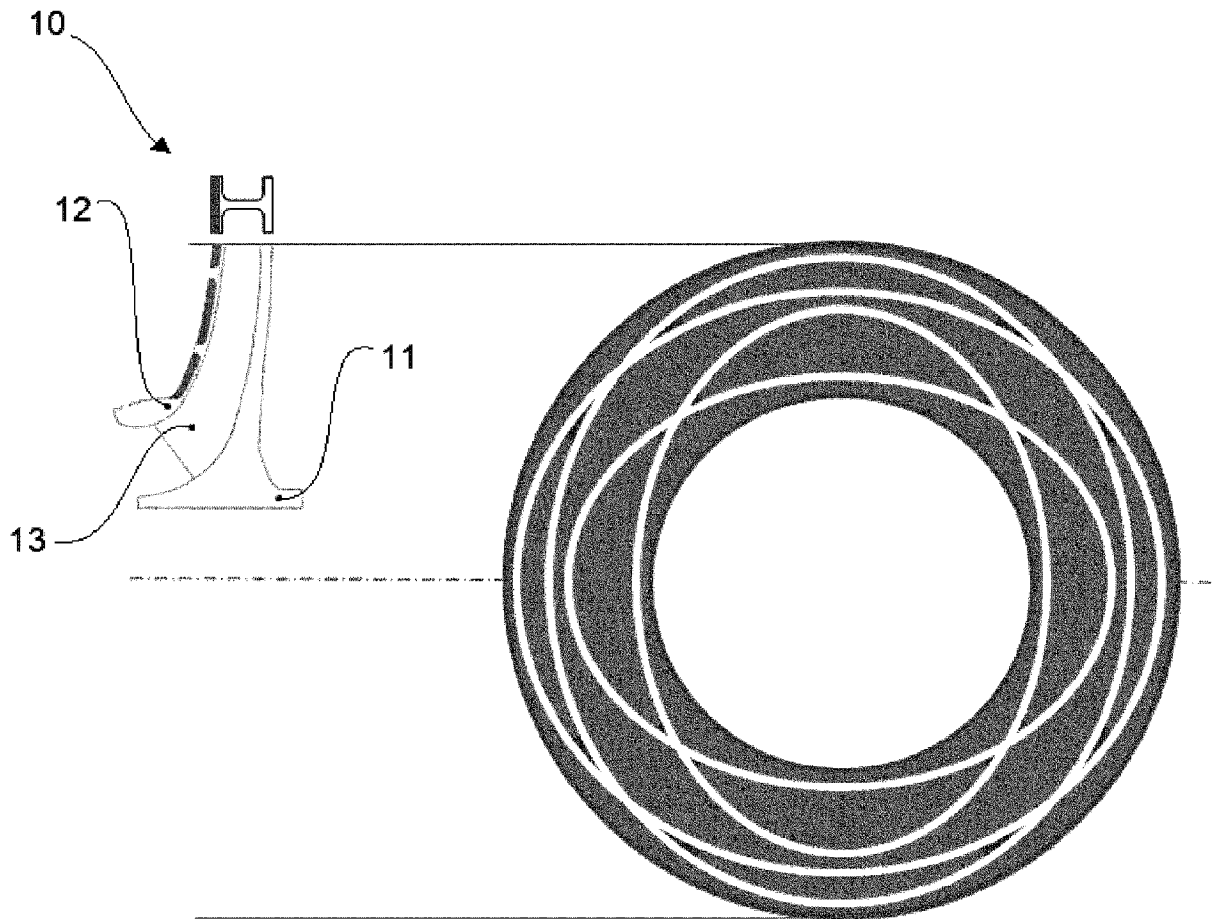


Figura 10

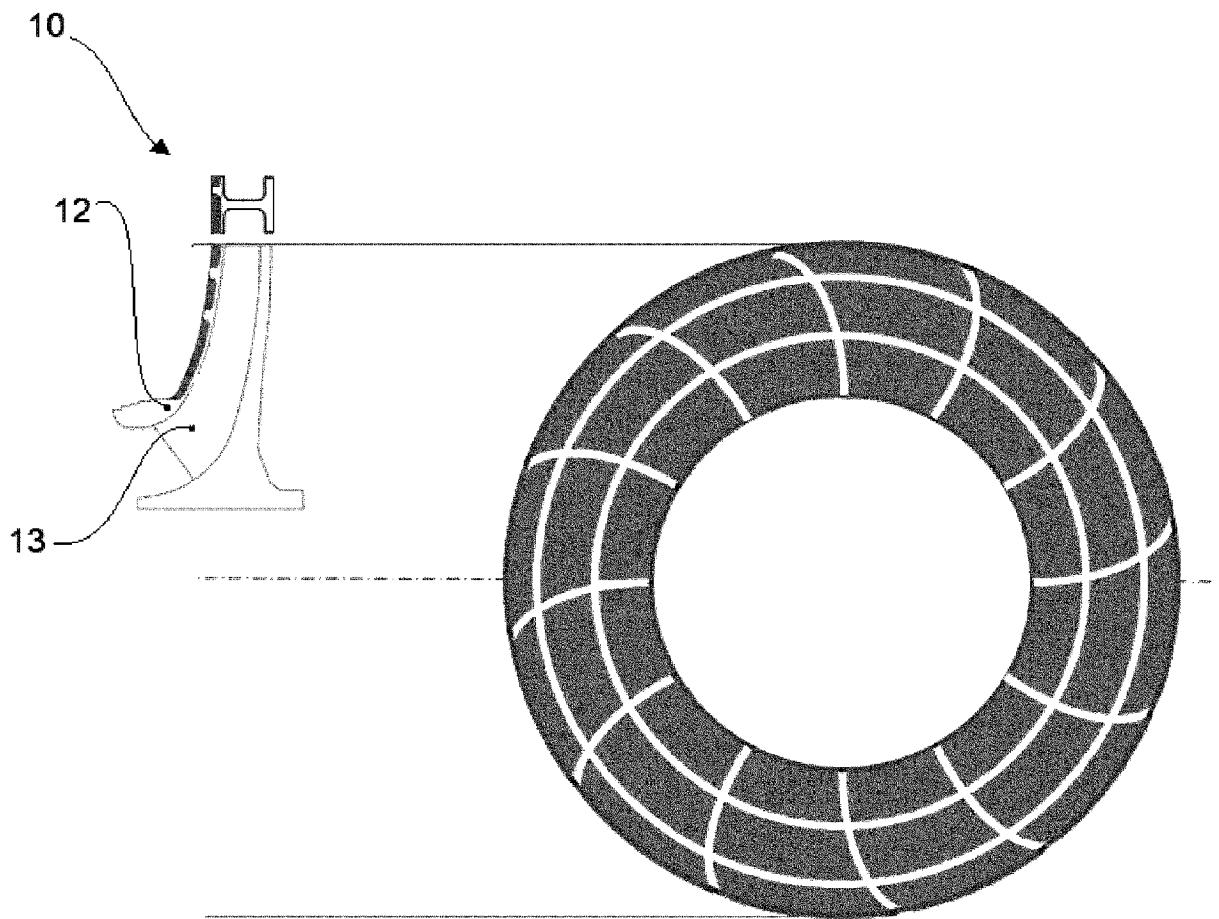


Figura 11