

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 790 832**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06** (2006.01)

**F03D 80/70** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.06.2016 PCT/DK2016/050168**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.01.2017 WO17005264**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.06.2016 E 16727946 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2020 EP 3320207**

54 Título: **Anillo de paso segmentado para un sistema de paso de pala de turbina eólica**

30 Prioridad:

**06.07.2015 DK 201570445**

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

**29.10.2020**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**

**Hedeager 42**

**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**CHRISTENSEN, MICHAEL;**

**KABUS, SIMON;**

**MARKUSSEN, ERIK y**

**NEUBAUER, JESPER LYKKEGAARD**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 790 832 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

Anillo de paso segmentado para un sistema de paso de pala de turbina eólica

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere generalmente a turbinas eólicas y más específicamente a un anillo de paso para su uso en un sistema de paso de pala de una turbina eólica. La invención también se refiere a un método de fabricación de un anillo de paso.

10

**Antecedentes**

Las turbinas eólicas normalmente incluyen un rotor con grandes palas accionadas por el viento. Las palas convierten la energía cinética del viento en energía mecánica rotacional. Normalmente, la energía mecánica se transfiere mediante un tren de accionamiento a un generador, que luego convierte la energía en potencia eléctrica.

15

La mayoría de turbinas eólicas modernas controlan la salida de potencia regulando el paso de las palas en relación con el viento. Por tanto, cada pala se monta en un buje mediante un sistema de paso que permite el movimiento relativo entre la pala y el buje. El sistema de paso comprende un cojinete de paso, que normalmente incluye los anillos de cojinete interiores y exteriores dispuestos de manera concéntrica. Uno de los anillos de cojinete (ya sea el anillo interior o exterior) se une a la pala y el otro se une al buje.

20

El sistema de paso también incluye un sistema de accionamiento que comprende uno o más dispositivos de accionamiento de paso como motores eléctricos o actuadores hidráulicos. Los dispositivos de accionamiento se usan para girar el anillo de cojinete unido a la pala en relación con el anillo de cojinete unido al buje para ajustar el paso de la pala, es decir, para girar la pala alrededor de su eje longitudinal.

25

Se describe un ejemplo de un sistema de paso para una pala de turbina eólica en la anterior solicitud de PCT del solicitante WO 2012/069062. La figura 1 muestra una vista en perspectiva en despiece ordenado del sistema de paso de la técnica anterior descrito en el documento WO 2012/069062. Haciendo referencia a la figura 1, el sistema de paso 20 incluye un cojinete 22, elementos de acoplamiento primero y segundo 24, 26, y un sistema de accionamiento 28. Más específicamente, el cojinete 22 incluye un anillo de cojinete interior 30 montado en el buje 6 y un anillo de cojinete exterior 32 montado en la pala. El primer elemento de acoplamiento 24 se sitúa entre el buje 6 y el anillo de cojinete interior 30. El segundo elemento de acoplamiento 26 se sitúa entre la pala y el anillo de cojinete exterior 32. El sistema de accionamiento 28 comprende actuadores hidráulicos 34, que están conectados a los elementos de acoplamiento primero y segundo 24, 26 de modo que el sistema de accionamiento 28 puede hacer rotar el anillo de cojinete interior 30 con respecto al anillo de cojinete exterior 32 y regular el paso de ese modo la pala con respecto al buje 6.

30

35

Los elementos de acoplamiento primero y segundo 24, 26 mostrados en la figura 1 comprende cada uno un anillo de paso para su unión a un respectivo anillo de cojinete 30, 32. El primer elemento de acoplamiento 24 además incluye una placa, mientras que el segundo elemento de acoplamiento 26 incluye una viga transversal. La placa y la viga transversal de los respectivos elementos de acoplamiento 24, 26 proporcionan puntos de montaje para los actuadores hidráulicos 34. Además de proporcionar puntos de montaje para los actuadores 34, uno o ambos de los elementos de acoplamiento 24, 26 pueden diseñarse para aliviar cargas en los anillos de cojinete 30, 32, por ejemplo, para garantizar que las cargas se distribuyan de manera uniforme alrededor de las circunferencias de los anillos de cojinete 30, 32. Esto evita el desgaste desigual de los anillos de cojinete 30, 32 y prolonga la vida útil del cojinete de paso 22.

40

45

A lo largo del tiempo ha habido un aumento significativo en el tamaño general de las palas de turbina eólica debido al deseo de capturar más de la energía disponible del viento. Por ejemplo, el diámetro de la raíz de palas de turbina eólica existentes a escala de servicios supera los 4,5 metros. Esto requiere componentes de sistema de paso, como anillos de cojinete, de tamaño similar. Los tamaños de los componentes del sistema de paso se ajustan para aumentar además en el futuro a medida que los tamaños de las palas se hagan cada vez más grandes.

50

Muchos de los componentes de un sistema de paso, por ejemplo, los anillos de paso que comprenden los elementos de acoplamiento 24, 26, se forman por colada. Normalmente, los anillos de paso se funden como una sola pieza de acero. Sin embargo, a medida que los diámetros de tales anillos de paso se hacen muy grandes, se hace cada vez más desafiante y costoso formarlos como una sola colada.

55

Los documentos EP2722559A2, EP2458200A1 y EP2679805A1 son ejemplos de sistemas de paso de turbina eólica que comprende anillos segmentados, mientras que el documento US2015/003986A1 muestra un anillo de paso con partes de unión.

60

Un objetivo de la presente invención es abordar los problemas indicados anteriormente para proporcionar un componente para un sistema de paso que sea más fácil y menos caro de fabricar y que mejore la integridad estructural de la disposición.

65

**Sumario de la invención**

- 5 Según un aspecto de la presente invención se proporciona un anillo de paso segmentado para su uso en un sistema de paso de pala de una turbina eólica. El anillo de paso segmentado comprende uno o más segmentos laminados y uno o más segmentos colados. Los segmentos laminados y colados son en forma de arco o comprenden secciones en forma de arco que en combinación definen una circunferencia sustancialmente circular del anillo de paso. Los segmentos colados se fabrican mediante un proceso de colada y los segmentos laminados se fabrican mediante un proceso de laminación.
- 10 Los anillos de paso de pala actuales se funden normalmente como una sola parte o pieza, y se vuelve problemático para anillos de paso de pala de un diámetro cada vez mayor colarse de esta manera debido a la cantidad significativa de espacio vacío en el centro del anillo y debido a la reducida integridad estructural. La presente invención es ventajosa porque el anillo de paso de pala está formado por una pluralidad de segmentos (más pequeños), que son más fáciles de fabricar, particularmente para turbinas eólicas a escala de servicios.
- 15 En una realización preferida, el anillo de paso comprende una pluralidad de segmentos laminados y una pluralidad de segmentos colados. En esta realización, los segmentos laminados se disponen de manera alternativa con los segmentos colados para definir la circunferencia del anillo de paso.
- 20 Uno o más de los segmentos laminados pueden formarse mediante un proceso de laminación en frío. Por "laminación en frío" se entiende que el proceso de fabricación tiene lugar por debajo de la temperatura de recristalización del material que va a laminarse. Por ejemplo, la temperatura de recristalización del acero puede estar entre 400° C y 700° C. Normalmente, sin embargo, el proceso de laminación en frío puede tener lugar alrededor de la temperatura ambiente. La uniformidad de la forma y las dimensiones deseadas de los uno o más segmentos que van a laminarse hacen que estos segmentos sean adecuados para fabricarse por laminación en frío.
- 25 Los uno o más segmentos laminados pueden formar una parte mayor de la circunferencia del anillo de paso que los uno o más segmentos colados. El proceso de fabricación por laminación es más simple y rentable que el proceso de colada equivalente. Por tanto, es ventajoso fabricar una proporción mayor de la circunferencia del anillo de paso usando segmentos laminados, y particularmente ventajoso para maximizar la proporción del anillo de paso formado por segmentos laminados.
- 30 Es ventajoso, sin embargo, formar al menos parte del anillo de paso de pala segmentado mediante colada. Aunque un anillo de paso de pala puede ser generalmente circular, normalmente incluye secciones de una forma más compleja, por ejemplo, teniendo características formadas de manera integral para la conexión o unión a otros componentes del sistema de paso. Estas piezas con forma compleja son menos adecuadas para formarse por laminación, y por lo tanto es conveniente formar estas piezas mediante colada. Por tanto, mediante el uso de una combinación de segmentos laminados y colados, la presente invención minimiza el peso y el coste de un anillo de paso de pala al tiempo que aumenta la facilidad de fabricación.
- 35 El anillo de paso puede tener cualquier número adecuado de segmentos laminados y colados. En realizaciones preferidas, los uno o más segmentos laminados tienen una longitud circunferencial mayor que los uno o más segmentos colados. Esto permite de manera ventajosa maximizar la proporción del anillo de paso formado por componentes laminados al mismo tiempo que minimizar el número de secciones laminadas requeridas, por tanto, simplificando de ese modo el proceso de fabricación y montaje del anillo de paso y proporcionando una solución rentable. Es concebible, sin embargo, que los segmentos laminados tengan una longitud circunferencial más corta que los segmentos colados, pero aun así, en combinación, forman una parte mayor de circunferencia del anillo de paso que los segmentos colados. Tales realizaciones requerirán relativamente más segmentos laminados que si los segmentos laminados tuvieran una longitud circunferencial mayor que los segmentos colados.
- 40 Los uno o más segmentos laminados pueden formarse de un material más duro que los uno o más segmentos colados. Un material más duro proporciona un segmento más rígido, lo cual es deseable. El proceso de colada requiere materiales ligeramente más blandos para lograr la forma deseada, y por lo tanto es además ventajoso maximizar la proporción del anillo de paso formado por componentes laminados para maximizar la resistencia del anillo de paso.
- 45 En realizaciones preferidas, una anchura radial de los uno o más segmentos laminados es menor que una anchura radial de una sección en forma de arco de los uno o más segmentos colados. Cada segmento debe ser lo suficientemente ancho en la dirección radial para garantizar que el anillo de paso segmentado mantenga suficiente rigidez y no sea demasiado flexible. Los anillos de paso segmentados de un diámetro cada vez mayor requieren aumentar esta anchura radial para mantener la rigidez, lo que puede aumentar los costes y el peso del material. Un segmento fabricado por laminación puede ser más estrecho que un segmento fabricado por colada, al tiempo que todavía proporciona suficiente rigidez. Por tanto, es ventajoso que los segmentos laminados sean más estrechos que los segmentos colados para reducir los costes y el peso del material.
- 50 El anillo de paso segmentado puede comprender un elemento de puente que abarca una interfaz entre un segmento laminado y un segmento colado. Segmentos fabricados por procesos diferentes pueden dar como resultado una rigidez
- 55
- 60
- 65

no uniforme en un cruce/interfaz entre estos segmentos. Esto puede dar como resultado un punto débil del anillo de paso que es susceptible a la deformación bajo una alta tensión. Por lo tanto, el elemento de puente se configura para proporcionar una rigidez sustancialmente uniforme a través de la interfaz.

5 El elemento de puente puede ubicarse dentro de un rebaje definido por partes de extremo escalonadas adyacentes de los segmentos laminados y colados. Por lo tanto, el elemento de puente puede estar ventajosamente al ras de la superficie del anillo de paso. Esto garantiza que la circunferencia circular exterior del anillo de paso segmentado sea de un grosor sustancialmente uniforme. Esto es ventajoso desde una perspectiva estructural, donde el grosor uniforme protege contra el desarrollo de puntos débiles adicionales. Esto es ventajoso también con respecto al montaje de la  
10 turbina eólica porque un anillo de paso segmentado de un espesor sustancialmente uniforme puede soportarse contra la raíz de la pala y el anillo de cojinete alrededor de toda la circunferencia cuando el anillo de paso se sitúa entre los mismos, sin formar huecos que puedan provocar cuestiones estructurales adicionales.

15 El elemento de puente puede formarse de un material que tiene una mayor resistencia que el material usado para formar los uno o más segmentos laminados. Esto garantiza que las altas tensiones experimentadas por uno de los segmentos laminados no den lugar a la deformación del elemento de puente a través del cruce entre segmentos.

20 Opcionalmente, los uno o más segmentos colados definen partes de montaje para un mecanismo de accionamiento de paso. La forma relativamente compleja de tales partes de montaje es más adecuado que se forme por colada, por lo que esto contribuye a la facilidad de fabricación del anillo de paso. La inclusión de las partes de montaje facilita la conexión del mecanismo de accionamiento de paso al anillo de paso.

25 El anillo de paso segmentado puede comprender segmentos colados diametralmente opuestos y sustancialmente idénticos primero y segundo y segmentos laminados diametralmente opuestos y sustancialmente idénticos primero y segundo. Esto proporciona una simetría entre los lados opuestos del anillo de paso, reduciendo el riesgo de puntos débiles alrededor de la circunferencia. Esto también minimiza la cantidad de segmentos necesarios para que las partes con una forma más compleja del anillo de paso se cuelen, pero el resto del anillo de paso se forme mediante un proceso de laminación. En el caso en el que los segmentos colados incluyan partes de montaje para recibir un mecanismo de accionamiento de paso, la disposición simétrica garantiza que las tensiones involucradas en la  
30 regulación de paso de la pala se distribuyan uniformemente alrededor del anillo de paso.

35 El anillo de paso segmentado puede comprender una viga conectada entre segmentos colados diametralmente opuestos primero y segundo. Una viga de este tipo además aumenta la integridad estructural del anillo de paso. La viga es preferiblemente un elemento hueco y alargado. La viga preferiblemente tiene una sección transversal sustancialmente uniforme. La viga puede estar altamente tensionada en su uso. Ventajosamente, la viga puede formarse mediante un proceso de laminación en caliente. Por "laminación en caliente" se entiende que el proceso de fabricación tiene lugar por encima de la temperatura de recristalización del material que va a laminarse. La estructura cristalina resultante de la viga laminada en caliente se ha encontrado que es óptima dado que permite que la viga se  
40 tuerza ligeramente y adopte configuraciones altamente tensionadas sin romperse o deformarse.

45 La viga puede dotarse de un corte en cada extremo para permitir que los extremos reciban partes de montaje de los segmentos colados. Los cortes preferiblemente tienen cada uno un extremo curvado, que es ventajoso porque reduce las concentraciones de tensión en la viga y evita la formación de grietas en la viga en uso. La viga puede comprender un portacables para dirigir un cable a través de la viga, dentro o fuera. El portacables puede conectarse al cuerpo de la viga mediante un imán. Esto evita ventajosamente la necesidad de proporcionar orificios en partes altamente  
50 tensionadas de la viga.

55 El anillo de paso segmentado se configura preferiblemente para el montaje directa o indirectamente en un anillo de cojinete interior o exterior de un cojinete de paso y/o se configura para el montaje directa o indirectamente en una pala de turbina eólica o un buje. En particular, cada segmento puede montarse por separado en el anillo de cojinete y/o pala o buje para facilitar el proceso de montaje. Los segmentos pueden montarse usando los mismos conectores, por ejemplo, pernos, que se usan para montar el anillo de cojinete en la pala o buje, minimizando, por tanto, el número de componentes necesarios. Por consiguiente, los segmentos laminados y colados están dotan preferiblemente de una pluralidad de orificios circunferenciales que corresponden a orificios circunferenciales en el anillo de cojinete y/o pala o buje en el que va a montarse el anillo de paso.

Según otro aspecto de la presente invención, se proporciona una turbina eólica que tiene un sistema de paso que comprende el anillo de paso segmentado descrito anteriormente.

60 La invención también proporciona un método de fabricación del anillo de paso segmentado descrito anteriormente. En particular, el método comprende fabricar los uno o más segmentos laminados usando un proceso de laminación y fabricar los uno o más segmentos colados usando un proceso de colada.

65 El proceso de laminación puede ser un proceso de laminación en frío. En particular, esto puede realizarse manualmente para maximizar la precisión de los segmentos.

El método puede comprender proporcionar uno o más elementos de puente para abarcar interfaces entre segmentos laminados y colados.

5 Además, o alternativamente, el método puede comprender fabricar una viga para la conexión entre segmentos colados diametralmente opuestos primero y segundo. El método comprende preferiblemente formar la viga usando un proceso de laminación en caliente.

10 El método puede incluir montar el anillo de paso segmentado directa o indirectamente en un anillo de cojinete interior o exterior de un cojinete de paso y/o directa o indirectamente en una pala o un buje de turbina eólica. El método puede incluir montar cada segmento por separado.

15 Rasgos opcionales descritos anteriormente en el contexto de la invención cuando se expresan en términos de un aparato son igualmente aplicables a la invención cuando se expresan en términos de un método, y viceversa. La repetición de tales rasgos se evita generalmente por razones de concisión.

### **Breve descripción de los dibujos**

20 La figura 1 ya se ha descrito a modo de antecedente y muestra una vista en perspectiva en despiece ordenado de un sistema de paso de la técnica anterior para una turbina eólica.

Con el fin de que la presente invención sea más fácil de entender, las realizaciones de la invención se describirán ahora, a modo de ejemplo no limitativo, con referencia a las figuras restantes, en las que:

25 la figura 2 es una vista frontal de una turbina eólica según la presente invención, que incluye tres palas unidas a un buje central por medio de sistemas de paso respectivos;

la figura 3a es un anillo de paso segmentado según una realización de la presente invención que incluye segmentos laminados y colados y elementos de puente entre los segmentos;

30 la figura 3b es una vista en despiece ordenado del anillo de paso de la figura 3a;

la figura 3c muestra una viga del anillo de paso de las figuras 3a y 3b;

35 la figura 4 muestra una realización de una disposición de rodillos para fabricar uno de los segmentos laminados del anillo de paso de la figura 3a mediante un proceso de laminación;

la figura 5 es una vista en perspectiva de uno de los elementos de puente de la figura 3a;

40 la figura 6 es una vista del anillo de paso de la figura 3a en un cruce entre un segmento laminado y un segmento colado; y

la figura 7 muestra una vista lateral esquemática del cruce de la figura 6.

### **Descripción detallada**

45 La figura 2 es una vista frontal de una turbina eólica 100 según la presente invención. La turbina eólica 100 comprende una torre 102, una góndola 104 ubicada en la parte superior de la torre 102 y un conjunto de rotor-buje 106 montado en la góndola 104. El conjunto de rotor-buje 106 comprende tres palas de turbina 108 fijadas a un buje central 110. Las palas 108 se disponen para provocar la rotación del conjunto de rotor-buje 106 cuando el viento es incidente sobre  
50 las palas 108 en una dirección sustancialmente perpendicular a y en el plano de la página. El buje central 110 está conectado a un árbol principal alojado en la góndola 104, que a su vez está conectado a un generador también en la góndola 104. El buje central 110 provoca que el árbol principal gire y esta energía de rotación se convierta en electricidad mediante el generador.

55 Cada pala de turbina eólica 108 se monta en el buje central 6 mediante un sistema de paso similar al sistema de paso descrito a modo de antecedentes con referencia a la figura 1. Por consiguiente, debe hacerse referencia a la figura 1 para la estructura general del sistema de paso. Pueden encontrarse detalles adicionales del sistema de paso en el documento WO 2012/069062. Sin embargo, en contraste con el sistema de paso de la técnica anterior, el sistema de paso de la presente invención comprende uno o más anillos de paso segmentados en lugar de uno o más de los  
60 componentes colados del sistema de paso de la técnica anterior.

La figura 3a muestra un anillo de paso segmentado 140 según una realización de la presente invención. Se apreciará que el anillo de paso segmentado 140 proporciona una alternativa al elemento de acoplamiento 26 del sistema de paso mostrado en la figura 1.

65 Haciendo referencia a la figura 3a, el anillo de paso segmentado 140 es sustancialmente circular y está formado por

cuatro segmentos, que comprenden dos segmentos laminados 142a, 142b que se fabrican mediante un proceso de laminación, y dos segmentos colados 144a, 144b que se fabrican por un proceso de colada. Como se muestra en la figura 3a, los segmentos laminados y colados 142a, 142b y 144a, 144b forman cada uno una parte circunferencial del anillo de paso 140. Los segmentos laminados 142a, 142b se disponen alternativamente con los segmentos colados 144a, 144b sobre la circunferencia del anillo de paso 140, de manera que cada segmento laminado 142a, 142b se ubica entre los segmentos colados 144a, 144b. En la presente realización, los dos segmentos laminados 142a, 142b son sustancialmente idénticos y los dos segmentos colados 144a, 144b son sustancialmente idénticos. Los respectivos segmentos laminados 142a, 142b son, por tanto, diametralmente opuestos, y del mismo modo los respectivos segmentos colados 144a, 144b son diametralmente opuestos.

El diámetro del anillo de paso 140 en este ejemplo es de aproximadamente 4,5 metros, pero el anillo de paso 140 puede ser de cualquier diámetro adecuado. La forma segmentada del anillo de paso 140 facilita la fabricación económica de anillos de paso de cualquier tamaño adecuado, incluyendo anillos de paso de diámetros muy grandes de más de 4,5 metros.

El anillo de paso 140 también incluye cuatro elementos de puente 146 en forma de placas en forma de arco sustancialmente planas que conectan los segmentos laminados y colados 142a, 142b, 144a, 144b, y se comentarán con más detalle más adelante.

Cada segmento colado 144a, 144b incluye una sección arqueada 148a, 148b (es decir, una sección en forma de arco), que forma parte de la circunferencia del anillo de paso 140, y una sección de conector 150a, 150b que se extiende de manera generalmente radial hacia el interior desde cada sección arqueada 148a, 148b. Las secciones arqueadas 148a, 148b son de una anchura sustancialmente uniforme en una dirección radial, es decir, en la dirección indicada por R en la figura 3a. Las secciones de conector 150a, 150b definen puntos de montaje para un mecanismo de accionamiento de paso. Específicamente, en este ejemplo, cada sección de conector 150a, 150b incluye una sección de receptor 152a, 152b configurada para recibir un elemento de accionamiento, por ejemplo un actuador hidráulico, del sistema de paso.

Las secciones de conector 150a, 150b de los segmentos colados 144a, 144b están conectadas entre sí por una "barra transversal de acero" 154, también denominada "viga" 154. La viga 154 proporciona resistencia adicional a la estructura del sistema de paso mediante la protección contra la deformación del anillo de paso 140 y/o el cojinete de paso, y se describirá con más detalle más adelante.

Cada segmento colado 144a, 144b incluye además una pluralidad de orificios 156 espaciados equitativamente en dirección circunferencial a lo largo de la longitud circunferencial de su sección arqueada 148a, 148b. La dirección circunferencial se indica generalmente mediante C en la figura 3a. Cada orificio 156 se extiende en una dirección longitudinal a través del grosor del segmento colado 144a, 144b, es decir, en la dirección generalmente indicada por T en la figura 3a. La dirección longitudinal es generalmente paralela a un eje longitudinal de la pala cuando el anillo de paso 140 se instala en la turbina eólica 100. Los orificios 156 son para recibir medios de montaje como pernos para montar los segmentos colados 144a, 144b en la pala 108 y/o en un anillo de cojinete de paso de pala (por ejemplo, el anillo exterior 32 en la figura 1). Específicamente, los orificios 156 están alineados con los orificios correspondientes en el extremo de raíz de la pala 108 y/o con los correspondientes orificios en un anillo de cojinete para permitir que tenga lugar el montaje. Los orificios 156 se forman en los segmentos 144a, 144b durante el proceso de colada.

La fabricación de los segmentos 144a, 144b mediante un proceso de colada es preferible a, por ejemplo, un proceso de soldadura. Esto se debe a que se ha encontrado que las piezas coladas son menos propensas a la fatiga y que son más fáciles de fabricar. También es más fácil cumplir determinados requisitos de los segmentos, como la inserción de los orificios 156 y características de montaje de accionamiento de paso usando un proceso de colada.

Los segmentos laminados 142a, 142b tienen forma de arco, y son de una anchura sustancialmente uniforme en la dirección radial, es decir, en la dirección indicada por R en la figura 3a. Al igual que los segmentos colados 144a, 144b, cada segmento laminado 142a, 142b incluye una pluralidad de orificios 160 espaciados equitativamente en la dirección circunferencial C a lo largo de su longitud circunferencial para facilitar el montaje en la pala y/o en el anillo de cojinete de paso de pala (por ejemplo, el anillo exterior 32 en la figura 1). Los orificios 160 se insertan o perforan en los segmentos 142a, 142b después de que la pala se haya laminado en la forma deseada.

La anchura radial de los segmentos laminados 142a, 142b (es decir, la anchura en la dirección radial R) es ligeramente inferior a la correspondiente anchura radial de las secciones arqueadas 148a, 148b de los segmentos colados 144a, 144b. Esto se debe a que el proceso de laminación permite que se use acero más duro que en un proceso de colada, por lo que los segmentos laminados pueden hacerse con una anchura reducida (y, por lo tanto, menores costes de material) en comparación con un segmento colado, al tiempo que proporcionan una rigidez suficiente. Específicamente, en este ejemplo la anchura en la dirección R de cada segmento laminado 142a, 142b es de aproximadamente 118 milímetros y la anchura en la dirección R de cada segmento colado 144a, 144b es de aproximadamente 125 milímetros.

Por lo tanto, es ventajoso desde una perspectiva de costes que los segmentos laminados 142a, 142b formen una

- proporción mayor de la circunferencia del anillo de paso 140 que los segmentos colados 144a, 144b. Por consiguiente, en este ejemplo, la longitud circunferencial de cada segmento laminado 142a, 142b es mayor que la longitud circunferencial de las secciones arqueadas 148a, 148b de los segmentos colados 144a, 144b. Específicamente, en este ejemplo, cada segmento laminado 142a, 142b abarca aproximadamente 130° de la circunferencia del anillo de paso 140 y cada segmento colado 144a, 144b abarca aproximadamente 50° de la circunferencia del anillo de paso 140. Obsérvese que el grosor de cada segmento laminado 142a, 142b en la dirección T es sustancialmente igual al de cada segmento colado 144a, 144b. Específicamente, el grosor de cada uno de los segmentos 142a, 142b, 144a, 144b es de aproximadamente 166 milímetros.
- La laminación es un proceso de fabricación generalmente conocido, aunque no se ha considerado previamente para formar componentes de sistemas de paso para turbinas eólicas. Por consiguiente, a continuación se proporciona un breve comentario acerca del proceso, que será familiar para las personas expertas en la técnica de laminación.
- Cada segmento laminado 142a, 142b del anillo de paso 140 está formado por una hoja de acero cuadrada o rectangular. La hoja se pasa adelante y atrás a través de una serie de diferentes tipos de rodillos con el fin de lograr la forma y las dimensiones deseadas. Por ejemplo, como se muestra en el diagrama esquemático de la figura 4, la forma arqueada de los segmentos 142a puede lograrse mediante un conjunto de tres rodillos 158a, 158b, 158c, uno encima y dos debajo de la hoja, con el primero de los rodillos 158a situado por lo general centralmente por encima de los otros dos rodillos 158b, 158c. En la presente realización, el proceso de laminación se realiza manualmente ya que permite un mayor grado de control sobre la conformación del segmento y conduce generalmente a una menor deformación.
- Los segmentos laminados 142a, 142b se fabrican mediante la denominada "laminación en frío", lo que significa que el proceso de fabricación se produce generalmente a temperatura ambiente, pero más específicamente por debajo de la temperatura de recristalización del metal. Esto proporciona ventajosamente un segmento 142a, 142b de mayor resistencia que uno fabricado a temperaturas más altas. La sección transversal sustancialmente uniforme de los segmentos 142a, 142b hacen que estos segmentos sean adecuados para fabricarse por laminación, al tiempo que proporcionan mayor resistencia que un segmento colado equivalente.
- Como los segmentos 144a y 144b tienen una forma más compleja, que incluye tanto una parte arqueada como una parte de conexión, se ha encontrado que estos segmentos son más adecuados para formarse por colada que por laminación.
- Haciendo referencia de nuevo a la figura 3a, ya se ha mencionado de manera breve anteriormente que los elementos de puente 146 se proporcionan entre los segmentos laminados y colados 142a, 142b y 144a, 144b. Cada elemento de puente 146 abarca una interfaz entre un segmento laminado 142a, 142b y un segmento colado 144a, 144b. Los elementos de puente 146 pueden verse más claramente en la vista en despiece ordenado de la figura 3b. La forma y la función de los elementos de puente 146 se describirán ahora con más detalle con referencia a las figuras 5 a 7.
- Haciendo referencia a la figura 5, esto muestra uno de los elementos de puente 146 en aislamiento. El elemento de puente 146 es de forma de arco y de sección transversal generalmente rectangular. El elemento de puente tiene un radio de curvatura correspondiente sustancialmente al de los segmentos laminados y colados 142a, 142b y 144a, 144b (figura 3a) con el fin de que coincida con la curvatura de los segmentos laminados y colados 142a, 142b, 144a, 144b. El elemento de puente 146 es de un grosor sustancialmente uniforme en la dirección longitudinal (es decir, la dirección T (véase la figura 3a)) y de anchura sustancialmente uniforme en la dirección radial (es decir, la dirección R (véase la figura 3a)). En particular, la anchura radial de cada elemento de puente 146 es ligeramente mayor que la de cada segmento colado 144a, 144b. Específicamente, en este ejemplo la anchura radial de cada elemento de puente 146 es de aproximadamente 135 milímetros. Además, el grosor en la dirección T de cada elemento de puente 146 es de aproximadamente 30 milímetros.
- El elemento de puente 146 incluye una pluralidad de orificios 162 para conectarlo a los segmentos laminados y colados 142a, 142b, 144a, 144b usando los mismos pernos y orificios 156, 160 usados para montar el anillo de paso 140 en la pala 108 y el anillo de cojinete de paso de pala. El elemento de puente 146 en esta realización tiene una longitud arqueada correspondiente a siete orificios circunferenciales 162 del anillo de paso 140. Esta longitud del elemento de puente 146 se ha encontrado que es óptima para proporcionar rigidez uniforme a través de la interfaz entre los segmentos laminados y colados 142a, 142b y 144a, 144b del anillo de paso 140. El elemento de puente 146 se une adicionalmente a los segmentos laminados y colados 142a, 142b y 144a, 144b mediante tornillos o pernos insertados a través de orificios adicionales 164.
- La figura 6 muestra una vista de cerca de una parte del anillo de paso 140 de la figura 3a, que muestra en particular la conexión entre el elemento de puente 146, el segmento laminado 142a y el segmento colado 144a. Se observa generalmente en la flecha A, que indica la interfaz entre el segmento laminado 142a y el segmento colado 144a, que la anchura radial de la sección arqueada 148a del segmento colado 144a es ligeramente mayor que la anchura radial del segmento laminado 142a. Como se mencionó anteriormente, esto se debe a que la sección arqueada colada 148a se fabrica de acero más blando que el del segmento laminado 142a, y por lo tanto se usa una mayor anchura de la sección arqueada 148a para satisfacer requisitos de resistencia. Se usa acero más blando debido a las restricciones

de las diferentes técnicas de fabricación.

En esta realización, los segmentos colados 144a, 144b están formados por un material altamente dúctil y, específicamente, en este ejemplo, hierro colado esférico con un límite elástico de aproximadamente 220 megapascales y un módulo elástico de aproximadamente 170 kilonewtons por milímetro cuadrado. Por el contrario, los segmentos laminados 142a, 142b están formados de acero con, en este ejemplo, un límite elástico de aproximadamente 355 megapascales y un módulo elástico de aproximadamente 210 kilonewtons por milímetro cuadrado.

Dado que la sección arqueada colada 148a y el segmento laminado 142a están formados por diferentes técnicas y de diferentes materiales, puede haber una diferencia de rigidez en la interfaz A. Esto puede ser problemático porque se prefiere una rigidez unificada a través de los segmentos laminados y colados 142a, 144a para garantizar que no se ubiquen tensiones indebidas en los pernos de montaje, lo que reduciría su vida útil. Por ejemplo, puede esperarse que la vida útil de los pernos de montaje sea de unos 25 años. Un diferencial de rigidez a través de la interfaz A también puede afectar negativamente a los anillos de cojinete del cojinete de paso que conducen al desgaste desigual del cojinete de paso, lo cual también es indeseable.

El propósito del elemento de puente 146 es, por tanto, garantizar que exista una rigidez sustancialmente uniforme a través de la interfaz A entre los segmentos laminados y colados 142a, 144a. Por consiguiente, el propósito principal del elemento de puente 146 es contribuir a la integridad estructural del anillo de paso 140 en lugar de conectar los segmentos 142a, 144a entre sí. Por tanto, con el fin de realizar su función con éxito, el elemento de puente 146 tiene un requisito de resistencia mayor que los segmentos 142a, 144a, y por lo tanto está formado de acero de alta resistencia y alta calidad. Además, como se mencionó anteriormente, su anchura en dirección radial (o dirección R) es mayor que la de la sección arqueada 148a debido a sus mayores requisitos de resistencia. Específicamente, en este ejemplo el elemento de puente 146 está formado de acero de alta calidad con un límite elástico de aproximadamente 690 megapascales y un módulo elástico de aproximadamente 210 kilonewtons por milímetro cuadrado.

La figura 7 muestra una vista esquemática en sección transversal del segmento laminado 142a, el segmento colado 144a y el elemento de puente 146 en la interfaz A indicada en la figura 6. Puede verse en la figura 7 que el elemento de puente 146 se ajusta dentro de un rebaje 166 definido por las partes de extremo escalonadas 168, 170 de los respectivos segmentos laminados y colados 142a, 144a. Las partes de extremo escalonadas 168, 170 están adecuadamente dimensionadas de manera que una superficie superior 172 del elemento de puente 146 se encuentra sustancialmente al ras con una superficie superior 174 del segmento laminado 142a y una superficie superior 176 del segmento colado 144a. El término "superior" se utiliza por conveniencia para referirse a la orientación de las superficies respectivas, tal como se ilustra en la figura 7.

Aunque aparecen conectados entre sí en la figura 3a, se prefiere que cada uno de los segmentos laminados y colados 142a, 142b, 144a, 144b se monte de manera individual en la pala 108 y/o cojinete de paso de pala usando pernos a través de los orificios 156, 60, antes del elemento de puente 146 se conecta entonces a los segmentos 142a, 142b, 144a, 144b usando tornillos y los orificios 164. Dado que los diversos segmentos son pesados, esto facilita el montaje del sistema de paso.

Ya se ha mencionado anteriormente que los segmentos colados 144a, 144b están conectados entre sí por la viga 154. La viga 154 se describirá ahora en detalle adicional con referencia a la figura 3c. Haciendo referencia a la figura 3c, la viga 154 es un componente alargado hueco. La viga 154 tiene una sección transversal sustancialmente constante a lo largo de su longitud. En esta realización, la viga 154 es de sección transversal sustancialmente rectangular. La viga 154 se extiende entre partes de extremo primera y segunda 190, 192, y comprende superficies laterales mutuamente opuestas primera y segunda 194, 196 conectadas por superficies de borde mutuamente opuestas primera y segunda 198, 200. Cada parte de extremo de la viga 154 está dotada de una pluralidad de orificios 202. Específicamente, las superficies laterales primera y segunda 194, 196 incluyen cada una ocho orificios en las respectivas partes de extremo primera y segunda 190, 192 de la viga 154. Por consiguiente, la viga 154 en esta realización incluye treinta y dos orificios en total. Los orificios 202 en la primera superficie lateral 194 están alineados con, es decir, ubicados de manera opuesta, los orificios 202 en la segunda superficie lateral 196.

Las partes de extremo primera y segunda 190, 192 de la viga 154 también están dotadas de un respectivo corte 204, 206. Específicamente, en esta realización, se proporciona un primer corte 204 en la primera superficie de borde 198 en el primer extremo de la viga 190, y se proporciona un segundo corte 206 en la segunda superficie de borde 200 en el segundo extremo de la viga 192. El segundo corte 206 no puede verse en la figura 3c, pero puede verse por ejemplo en la figura 3b. Los cortes 204, 206 son sustancialmente en forma de U y comprenden un extremo curvado. Dado que la viga 154 está altamente tensionada en uso, los extremos curvos de los cortes 204, 206 evitan ventajosamente las concentraciones de tensión en la viga 154 y, por lo tanto, impiden el desarrollo de grietas en la viga 154.

Como se muestra en la figura 3b, las secciones de conector 150a, 150b de los segmentos colados opuestos 144a, 144b del anillo de paso 140 incluyen partes de montaje 208 para la viga. Los cortes 204, 206 en la viga 154 permiten que se inserten estas partes de montaje 208 entre las superficies laterales primera y segunda 194, 196 de la viga 154.

Las partes de montaje 208 están dotadas cada una de un conjunto de ocho orificios (no visibles en las figuras) correspondientes a los orificios 202 en los extremos respectivos 190, 192 de la viga 154. La viga 154 está conectada a las secciones de conector 150a, 150b por dieciséis pernos que se extienden a través de los orificios 202 en las respectivas partes de extremo 190, 192 de la viga 154 y a través de los orificios correspondientes en las partes de montaje 208.

La viga 154 está hecha de acero y está formada por laminación. Dado que la viga 154 está altamente tensionada en su uso, debe ser capaz de torcerse sin romperse. Se ha encontrado que un proceso de laminación en caliente es óptimo para formar la viga 154. Un proceso de laminación en caliente implica calentar el acero a una temperatura superior a su temperatura de recristalización y conformar el acero a temperaturas lo suficientemente altas como para permitir que los cristales de metal se formen de nuevo a su forma normal después de la conformación. La estructura cristalina resultante de la viga laminada en caliente permite que la viga esté altamente tensionada en su uso sin romperse o deformarse.

Haciendo referencia a la figura 3b, en esta realización se monta un portacables 210 en la primera superficie 194 de la viga 154. El portacables 210 permite que los cables se dirijan a través del anillo de paso 140. El portacables 210 es un elemento delgado alargado dotado de un orificio 212 en cada extremo. El portacables 210 está fijado en cada extremo a la viga 154 por un perno 214. El perno 214 es uno de los pernos descritos anteriormente, que se usa para conectar la viga 154 a los segmentos colados 144a, 144b. Por lo tanto, estos pernos se extienden adicionalmente a través de los orificios 212 proporcionados en el portacables 210, como se muestra en la figura 3b. Se proporciona un imán 216 entre una parte central del portacables 210 y la viga 154. El imán 216 acopla la parte central del portacables 210 con la viga 154. El uso de un imán 216 es particularmente ventajoso porque evita la necesidad de que se proporcione un orificio en la parte central de la viga 154. Como la viga 154 está altamente tensionada en su uso, un orificio en esta ubicación puede comprometer la integridad estructural de la viga 154 y llevar a grietas u otros fallos de este tipo de la viga 154.

Pueden hacerse diversas modificaciones a la realización anterior sin apartarse del alcance de la presente invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Por ejemplo, en la realización descrita, el anillo de paso 140 es un componente independiente que debe montarse entre el cojinete de paso y la pala 108; sin embargo, el anillo de paso 140 puede ser en su lugar una parte integral del cojinete de paso o pala 108. En particular, el anillo de paso 140 puede ser solidario con el anillo de cojinete de paso que está montado en la pala 108.

Aunque el anillo de paso 140 tiene cuatro segmentos (dos laminados y dos colados) en la realización descrita, puede utilizarse cualquier número de segmentos laminados adecuado y cualquier número de segmentos colados adecuado.

Si bien la realización anterior representa una alternativa al elemento de acoplamiento 26 del sistema de paso mostrado en la figura 1, debe apreciarse que la invención no está limitada a este respecto. Por ejemplo, un anillo de paso que comprende partes coladas y laminadas según la presente invención puede usarse en lugar del primer elemento de acoplamiento 24 que se muestra en la figura 1. Un anillo de paso de este tipo se conectará entre el anillo de cojinete interior 30 y el buje 6 mostrado en la figura 1.

La invención tampoco se limita al uso del sistema de paso mostrado en la figura 1, que simplemente proporciona un ejemplo del contexto en el que puede usarse el anillo de paso segmentado de la presente invención. El anillo de paso de la presente invención puede incorporarse igualmente a otras disposiciones de sistema de paso. Otras disposiciones de sistema de paso pueden tener en su lugar un anillo de cojinete interior conectado a la pala y un anillo de cojinete exterior conectado al buje, por ejemplo. El anillo de paso segmentado puede unirse a ambos lados de un anillo de cojinete interior o exterior. Por consiguiente, el anillo de paso segmentado no necesariamente tiene que ubicarse entre un anillo de cojinete y la pala, o entre un anillo de cojinete y el buje. El anillo de paso segmentado puede montarse directa o indirectamente en un anillo de cojinete y/o en la pala o buje. Por ejemplo, otros elementos intermedios como anillos o placas pueden proporcionarse entre el anillo de paso y un anillo de cojinete y/o entre el anillo de paso y el buje o la pala. La presente invención también puede materializarse en cualquier otro anillo usado en un sistema de paso de pala de turbina eólica y no se limita a elementos de acoplamiento como los mostrados en la figura 1, que proporcionan un ejemplo de la aplicación de la presente invención.

Por consiguiente, la realización descrita en el presente documento se proporciona puramente con fines ilustrativos y no debe interpretarse como limitante del alcance de la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Un anillo de paso segmentado (140) para su uso en un sistema de paso de pala de una turbina eólica (100), comprendiendo el anillo de paso segmentado (140) uno o más segmentos laminados (142a, 142b) y caracterizado porque comprende además uno o más segmentos colados (144a, 144b), en los que los segmentos laminados y colados (142a, 142b, 144a, 144b) son en forma de arco o comprenden secciones en forma de arco que en combinación definen una circunferencia sustancialmente circular del anillo de paso (140).
2. El anillo de paso segmentado (140) según la reivindicación 1, en el que los uno o más segmentos laminados (142a, 142b) están formados por un proceso de laminación en frío.
3. El anillo de paso segmentado (140) según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que los uno o más segmentos laminados (142a, 142b) forman una parte mayor de la circunferencia del anillo de paso (140) que el uno o más segmentos colados (144a, 144b).
4. El anillo de paso segmentado (140) según cualquier reivindicación anterior, en el que los uno o más segmentos laminados (142a, 142b) tiene una longitud circunferencial mayor que el uno o más segmentos colados (144a, 144b).
5. El anillo de paso segmentado (140) según cualquier reivindicación anterior, en el que los uno o más segmentos laminados (142a, 142b) están formados por un material más duro que los uno o más segmentos colados (144a, 144b).
6. El anillo de paso segmentado (140) según cualquier reivindicación anterior, en el que una anchura radial de los uno o más segmentos laminados (142a, 142b) es menor que una anchura radial de una sección en forma de arco (148a, 148b) de los uno o más segmentos colados (144a, 144b).
7. El anillo de paso segmentado (140) según cualquier reivindicación anterior, que comprende además un elemento de puente (146) que abarca una interfaz entre un segmento laminado (142a, 142b) y un segmento colado (144a, 144b).
8. El anillo de paso segmentado (140) según la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que el elemento de puente (146) está formado a partir de un material que tiene una resistencia más alta que el material usado para formar los uno o más segmentos laminados (142a, 142b).
9. El anillo de paso segmentado (140) según cualquier reivindicación anterior, en el que los uno o más segmentos colados (144a, 144b) definen partes de montaje (208) para un mecanismo de accionamiento de paso.
10. El anillo de paso segmentado (140) según cualquier reivindicación anterior, en el que el anillo de paso (140) comprende una pluralidad de segmentos laminados (142a, 142b) y una pluralidad de segmentos colados (144a, 144b), y en el que los segmentos laminados (142a, 142b) se disponen alternativamente con los segmentos colados (144a, 144b) para definir la circunferencia del anillo de paso (140).
11. El anillo de paso segmentado (140) según cualquier reivindicación anterior, que comprende además una viga (154) conectada entre los segmentos colados diametralmente opuestos primero y segundo (144a, 144b).
12. El anillo de paso segmentado (140) según la reivindicación 11, en el que la viga (154) está formada por un proceso de laminación en caliente.
13. El anillo de paso segmentado (140) según cualquier reivindicación anterior, en el que el anillo de paso (140) comprende segmentos colados sustancialmente idénticos y diametralmente opuestos primero y segundo (144a, 144b) y segmentos laminados sustancialmente idénticos y diametralmente opuestos primero y segundo (142a, 142b).
14. Una turbina eólica (100) que tiene un sistema de paso que comprende el anillo de paso segmentado (140) según cualquier reivindicación anterior.
15. Un método de fabricación del anillo de paso segmentado (140) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, comprendiendo el método: fabricar los uno o más segmentos laminados (142a, 142b) usando un proceso de laminación y fabricar los uno o más segmentos colados (144a, 144b) usando un proceso de colada.

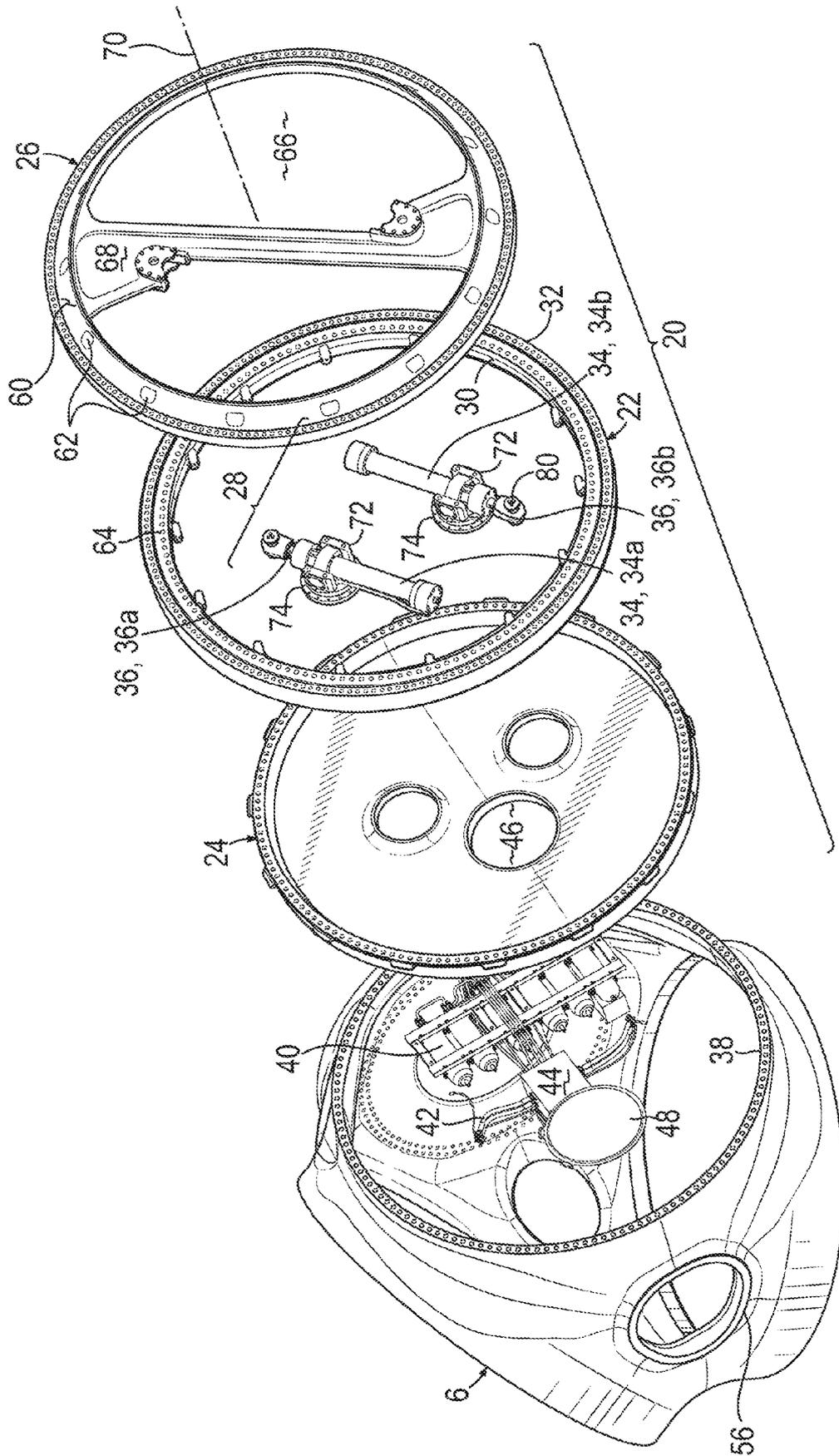
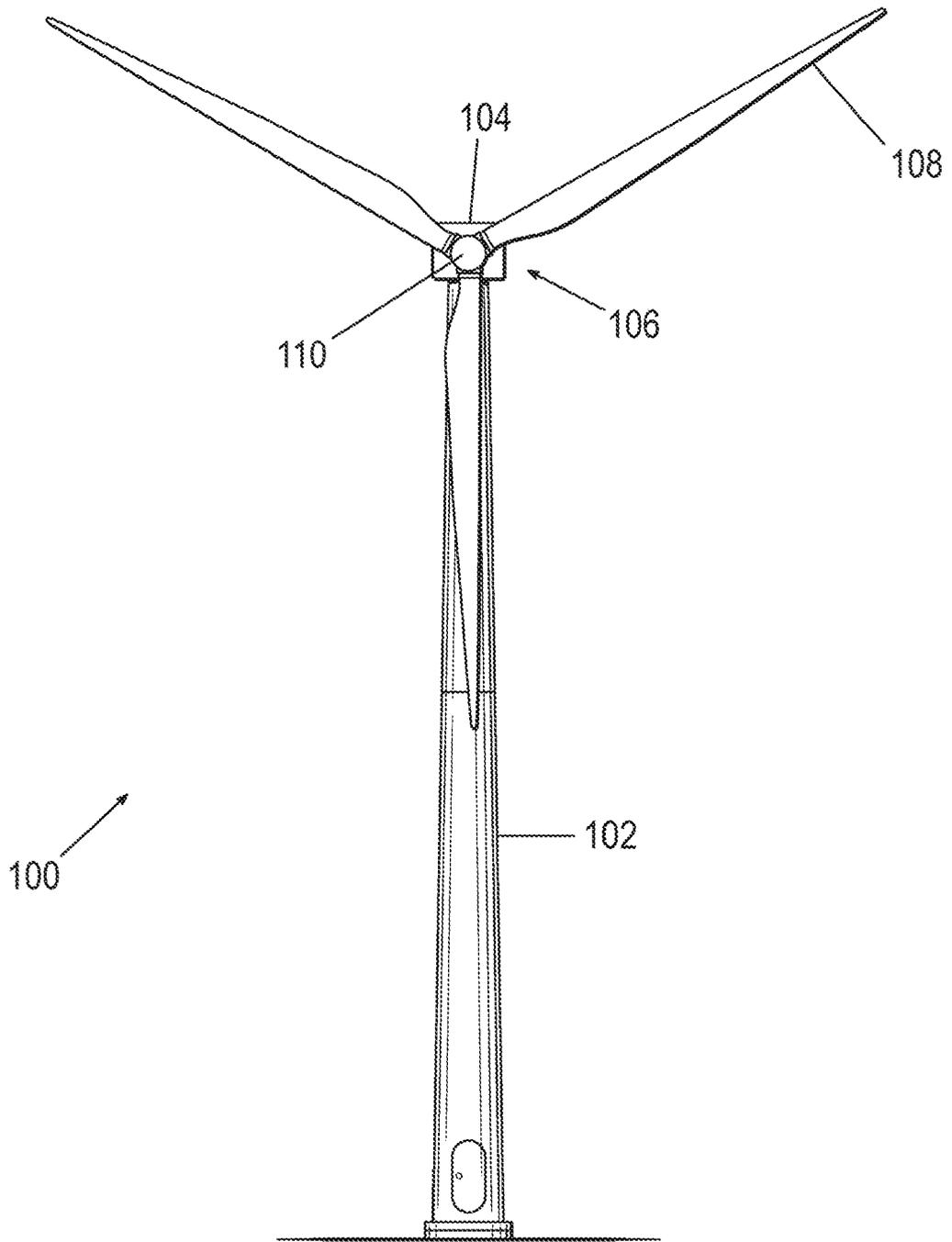


FIG. 1



**FIG. 2**

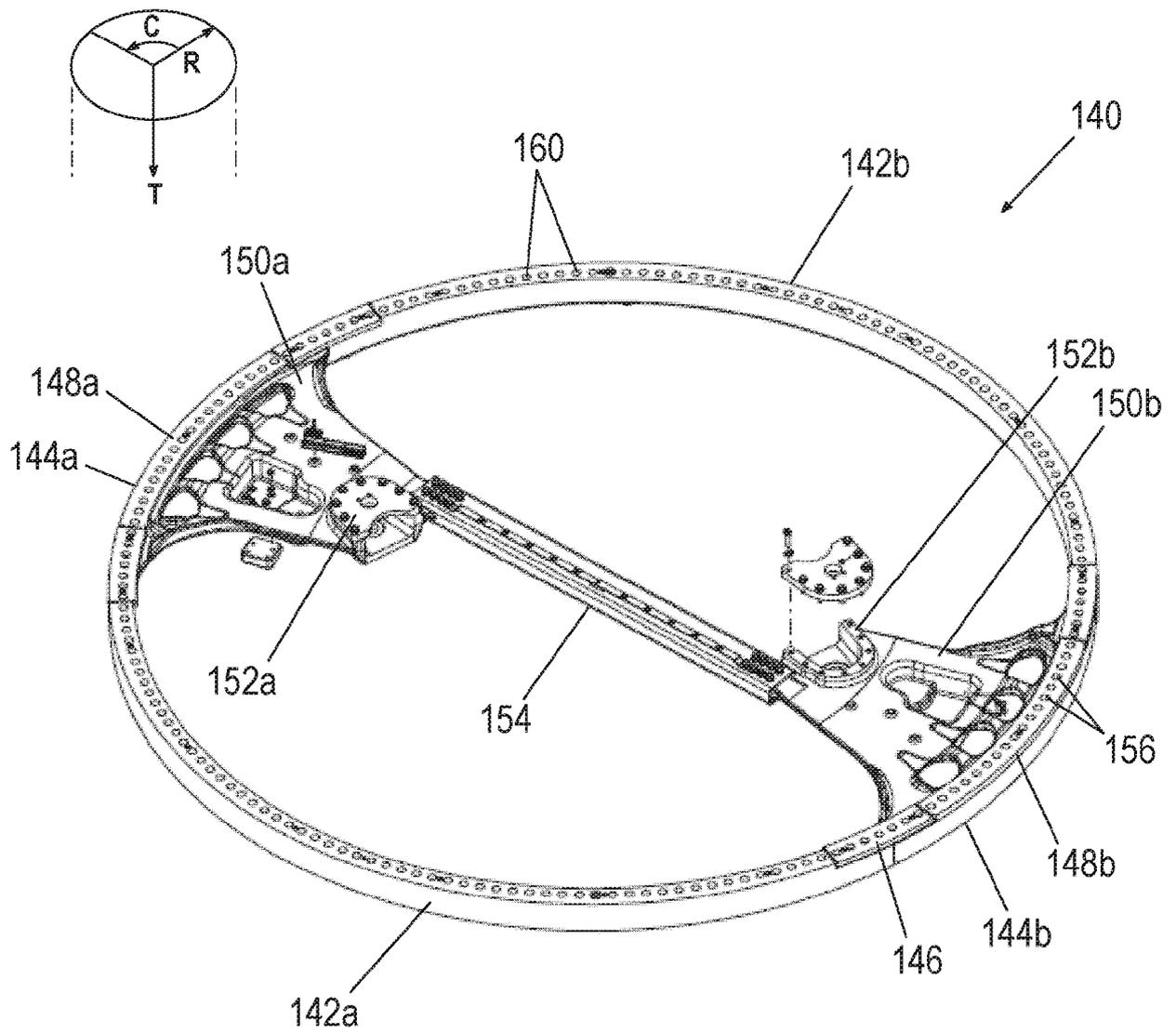
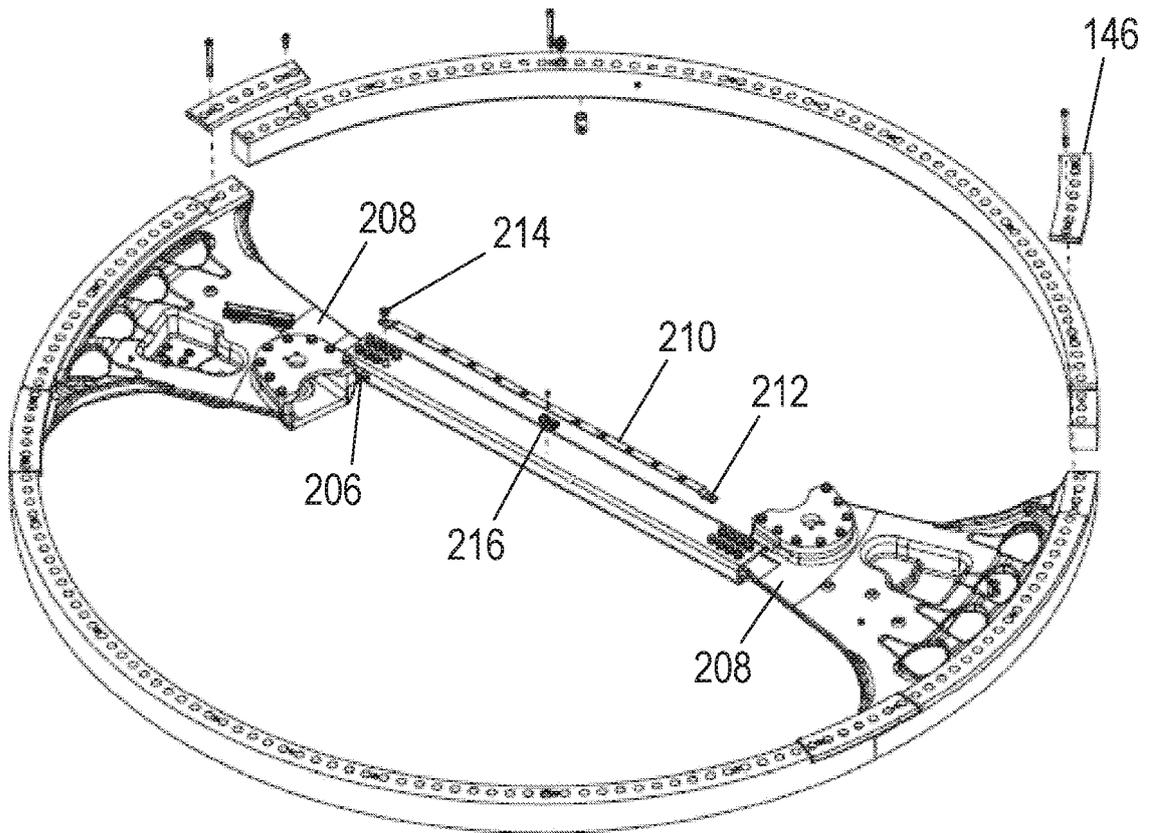
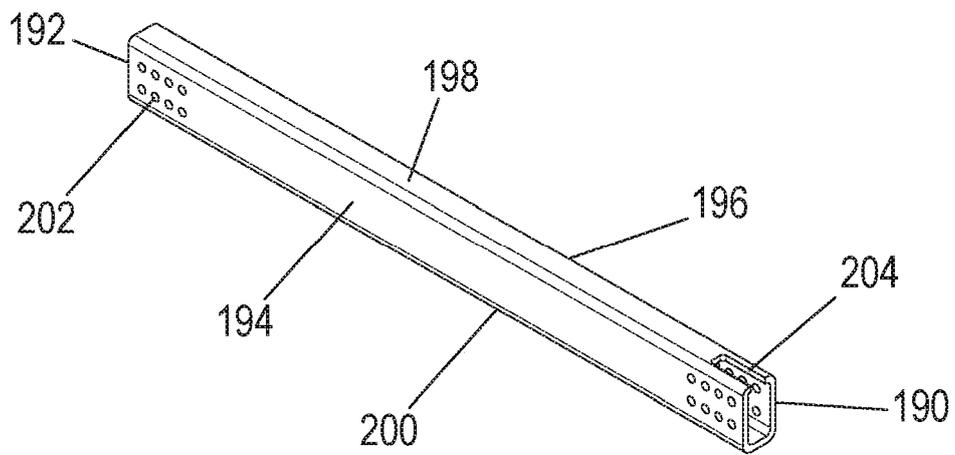


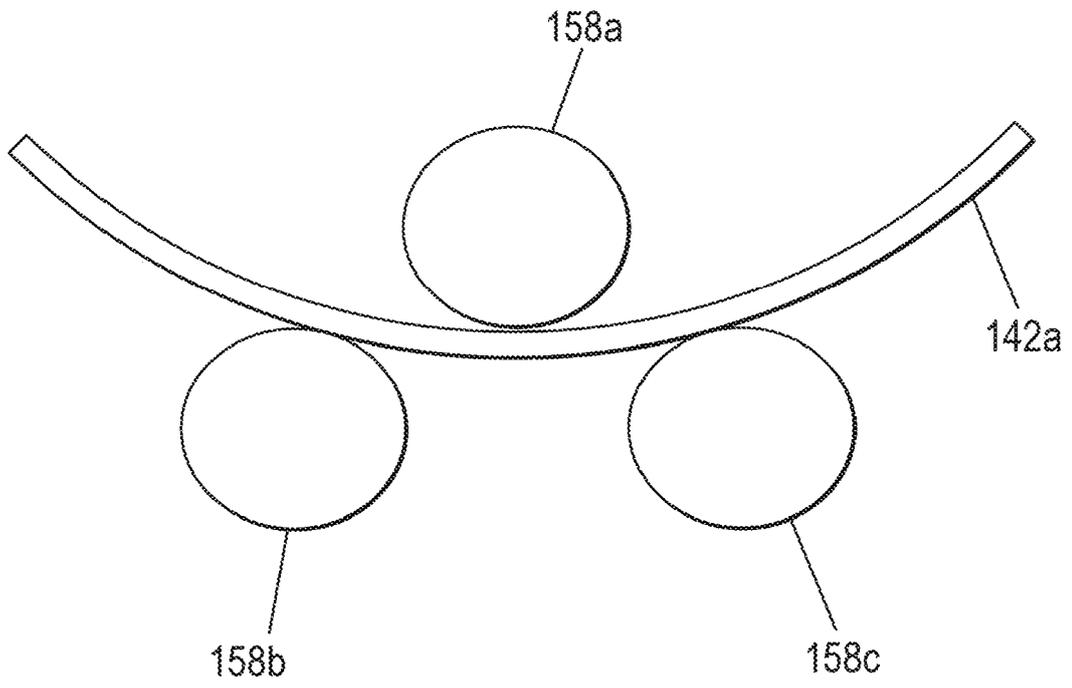
FIG. 3A



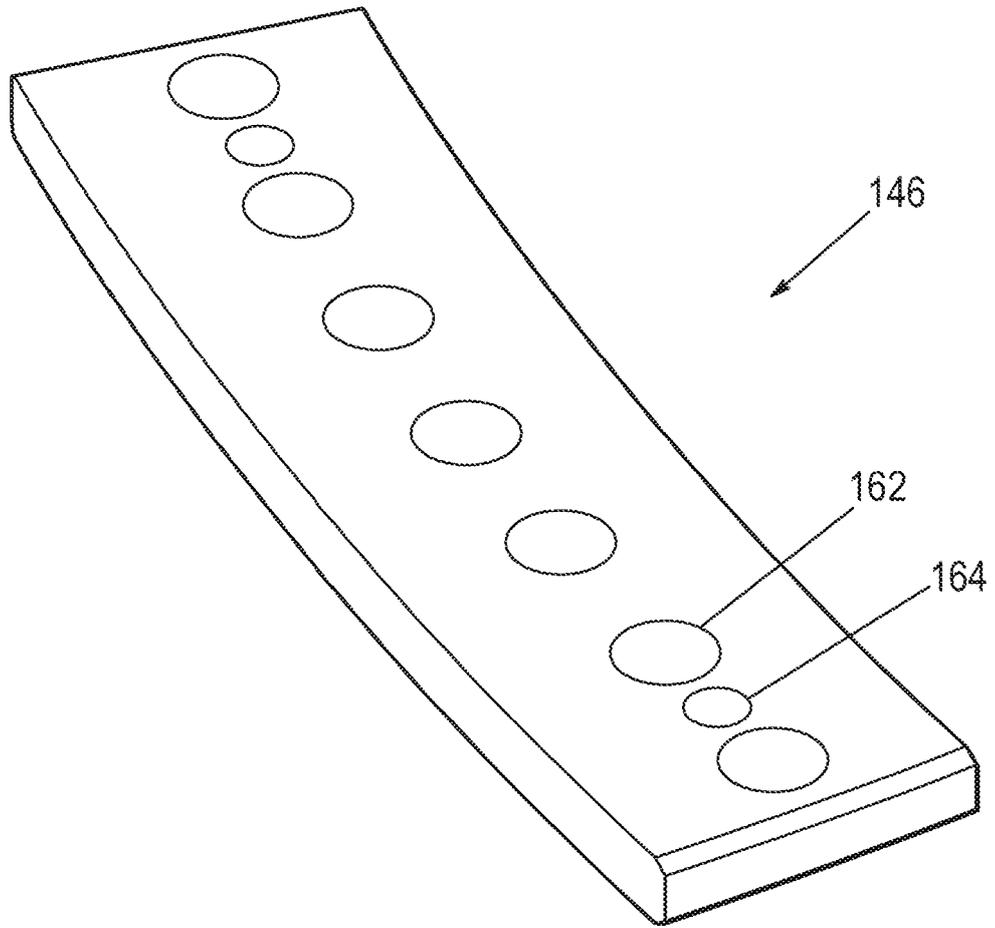
**FIG. 3B**



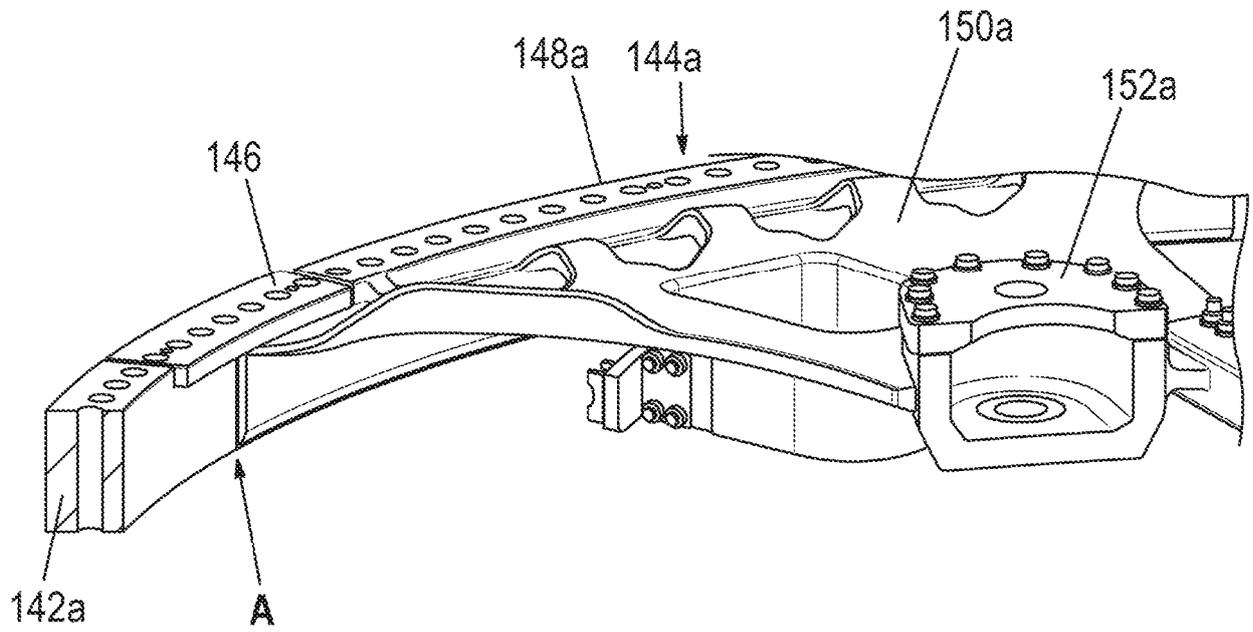
**FIG. 3C**



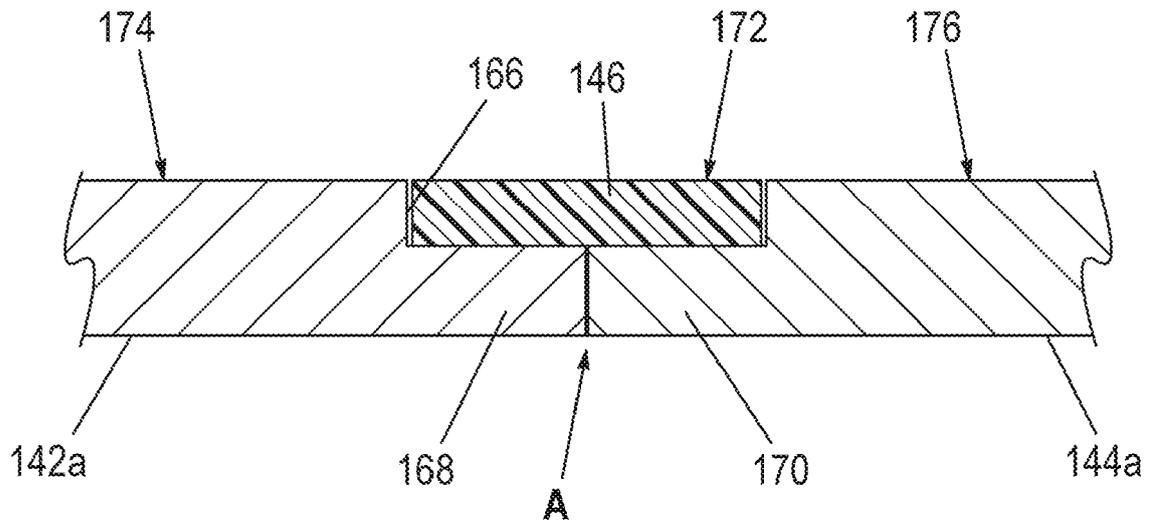
**FIG. 4**



**FIG. 5**



**FIG. 6**



**FIG. 7**