

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 934 863**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.12.2018 PCT/DK2018/050333**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.06.2019 WO19110070**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.12.2018 E 18821698 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.12.2022 EP 3721076**

54 Título: **Inserto para la raíz de pala de una turbina eólica**

30 Prioridad:

08.12.2017 US 201762596255 P
11.01.2018 DK PA201870016

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.02.2023

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

SMITH, JONATHAN;
SMITH, JAMES;
ERNST, ROBERT y
FOLSOM, MARK

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 934 863 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

Inserto para la raíz de pala de una turbina eólica

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un inserto para la raíz de pala de una turbina eólica y a un método para fabricar dicho inserto.

10 **Antecedentes de la invención**

El documento WO2010/041008 divulga un inserto para formar una conexión de extremo para un material compuesto uniaxial, por ejemplo, de un buje de turbina eólica. El inserto comprende un manguito que tiene una pluralidad de fibras con una disposición multiaxial. Al menos una parte de la superficie interior del manguito comprende una formación de rosca. La rosca se puede cortar en el manguito o el manguito se puede formar sobre un mandril. Puede usarse un inserto de rosca helicoidal para proporcionar un inserto que sea fácilmente reutilizable.

Otro ejemplo de un inserto de la técnica anterior para una raíz de pala de turbina eólica se muestra en el documento EP2952735A1.

Una pala de turbina eólica para una gran turbina eólica de eje horizontal puede tener una masa significativa, tal vez en la región de 10 toneladas o más, hasta 30 toneladas o más. Las palas se sujetan a un buje para formar un rotor. Un rotor gira sobre un árbol principal para impulsar un generador. Las palas están unidas en su extremo de raíz a una brida de buje. Una pala normalmente se conecta a una brida de buje mediante un grupo de pernos. Las tensiones en la conexión del buje de una pala son considerables, debido, principalmente, a la masa de la pala y a la fuerza del viento, así como al efecto de la rotación perpetua del rotor, que tiende a variar el grado y la dirección de las fuerzas sobre la pala con cada rotación del rotor. Las vibraciones en el sistema también pueden ser considerables. Con una vida útil esperada de 20 años y más, el rendimiento de fatiga de la conexión del buje de la pala es fundamental. Un grupo de pernos, a menudo denominados espárragos, se puede conectar a la raíz de la pala mediante bujes roscados, incrustados en el extremo de la raíz de una pala. Dichos casquillos suelen ser cilíndricos, a menudo de acero. Los bujes transfieren las cargas de la lámina a los espárragos. Los espárragos transfieren esas cargas al buje, que es un componente rígido, a menudo fundido. Teniendo en cuenta los requisitos de fatiga impuestos a una conexión de buje de pala, la manera de incrustar los casquillos en la base de una pala puede ser crítica. La presente invención aborda el diseño de un inserto, en el que se incrusta un casquillo y métodos para prepararlo. El inserto, que contiene un buje, puede estar incrustado en una raíz de pala junto con otros insertos. La raíz de la pala, con sus insertos, presenta así una cara de conexión para una conexión atornillada a un buje.

Sumario de la invención

Un primer aspecto de la invención proporciona un inserto para una raíz de pala de turbina eólica, comprendiendo el inserto: un cuerpo de inserto; un casquillo con un orificio roscado y una superficie exterior con ranuras circunferenciales; y una capa de transición que comprende estratos fibrosos que cubren la superficie exterior del casquillo, y devanados sobre dichos estratos fibrosos, de modo que dichos estratos sucesivos se alternen con dichos devanados, en donde cada estrato fibroso está anclado a las ranuras por un conjunto de devanados asociado, y dicho cuerpo de inserto rodea dicha capa de transición.

La capa de transición proporciona una capa de interfaz resistente a la fatiga entre el casquillo y el cuerpo de inserto.

Preferiblemente, el inserto comprende, además, una porción de extensión que se extiende desde el casquillo hasta una punta, en donde la porción de extensión se estrecha a medida que se extiende desde el casquillo hasta la punta.

Preferiblemente, el casquillo es un casquillo alargado que se extiende a lo largo de un eje principal. Los estratos sucesivos en dicha capa de transición alternan preferiblemente con dichos devanados en una dirección radial alrededor de dicho casquillo. El casquillo comprende un orificio interno. El orificio comprende preferiblemente una parte roscada en forma de rosca interna. En las realizaciones, el casquillo puede comprender una región de extremo y una región de cuerpo. La región de extremo puede contener el orificio roscado. La superficie exterior de la región del cuerpo puede comprender las ranuras circunferenciales. En las realizaciones, la región de extremo del casquillo puede estar desplazada de la región de cuerpo de modo que ninguna de las ranuras rodee la rosca interna. Como alternativa, las ranuras pueden distribuirse a lo largo de toda la longitud del casquillo, de modo que algunas de las ranuras rodeen la rosca interna.

Opcionalmente, la región de extremo del casquillo tiene un grosor de pared mínimo en el orificio roscado que es mayor que el grosor de pared máximo de la región de cuerpo, en particular, en las ranuras circunferenciales alrededor de dicha región de cuerpo. El grosor de pared mínimo en el orificio roscado puede coincidir con ranuras de una rosca interna en el orificio roscado. La región internamente roscada de un buje es un área de alta transferencia de carga entre un perno de tensión en el buje y el cuerpo de inserto. El alto grosor de pared mínimo en el orificio roscado hace

que la región de extremo del casquillo sea más resistente a las grietas.

Opcionalmente, la región de extremo del casquillo tiene una superficie exterior cilíndrica.

5 La superficie exterior del buje normalmente tiene un perfil en sección a través de las ranuras con una serie de crestas y valles. Cada cresta puede ser puntiaguda, pero, más preferiblemente, cada cresta es plana o redondeada. Cuando las crestas son redondeadas, entonces, por lo general, cada una de ellas está redondeada con un radio de curvatura superior a 1 mm, superior a 2 mm o superior a 3 mm. Cada canal puede ser puntiagudo, pero, más preferiblemente, cada canal es plano o redondeado. Cuando los canales son redondeados, entonces, por lo general, cada una de ellas está redondeada con un radio de curvatura superior a 1 mm, superior a 2 mm o superior a 3 mm.

10 El perfil en sección puede ser un perfil de onda cuadrada o de onda triangular, pero, más típicamente, las crestas y/o los valles son redondeados. Más preferiblemente, el perfil en sección es un perfil sinuoso con una serie de crestas redondeadas y valles redondeados.

15 Preferiblemente, cada estrato fibroso, cuando se envuelve y se ata alrededor de la superficie ondulante del buje, exhibe corrugaciones, como resultado de estar anclado a las ranuras por los devanados. Las corrugaciones exhiben ondulaciones que pueden reducir su amplitud de un estrato a otro en una dirección que se aleja de la superficie exterior del casquillo. Más específicamente, se puede decir que las corrugaciones se reducen progresivamente en amplitud, de un estrato a otro, en una dirección radial alejándose del buje. Opcionalmente, la amplitud de las corrugaciones puede reducirse a cero, por lo que la capa de transición puede tener efectivamente uno o más estratos fibrosos adicionales que no están corrugados. En el presente documento, la expresión "de un estrato a otro" puede referirse a una progresión de un estrato a un estrato posterior, p. ej., en una dirección radialmente alejada del casquillo. En las realizaciones, las corrugaciones pueden reducir su altura progresivamente, de cada estrato a cada estrato posterior, en una dirección radial alejándose del buje.

20 Cada estrato fibroso está anclado a las ranuras por un conjunto de devanados asociado. Cada conjunto de devanados puede tener solo un único devanado por ranura, o uno o más de los conjuntos de devanados pueden tener múltiples devanados por ranura. El número de devanados por ranura aplicadas sobre un estrato fibroso dado puede ser constante de un estrato a otro, o puede variar, por ejemplo, aumentando en dirección radial alejándose del casquillo. Opcionalmente, uno o más de los conjuntos de dichos devanados tienen un número de devanados por ranura superior al número de devanados por ranura de un conjunto de dichos devanados que anclan una capa fibrosa inferior. A modo de ejemplo, un primer estrato fibroso puede estar anclado a las ranuras mediante un primer conjunto de devanados asociado con dos devanados por ranura, y un segundo estrato fibroso puede anclarse a las ranuras mediante un segundo conjunto de devanados asociado con cuatro devanados por ranura. El número de vueltas por ranura puede variar de un conjunto a otro, o puede haber un solo aumento, por ejemplo, puede haber dos conjuntos de vueltas interiores con dos vueltas por ranura y dos conjuntos de vueltas exteriores con cuatro vueltas por ranura.

30 Preferiblemente, un devanado puede comprender un haz de filamentos. Preferiblemente, cada devanado puede comprender un haz de filamentos. El número de filamentos por ranura puede ser constante de un conjunto a otro, o puede variar, por ejemplo, aumentando en una dirección radial alejándose del casquillo. Esto se puede lograr cambiando el número de filamentos por devanado, o cambiando el número de devanados por ranura.

45 Preferiblemente, los devanados son haces de material filamentosos, por ejemplo, material filamentosos de carbono.

50 Las ranuras circunferenciales pueden estar conectadas de extremo a extremo, de manera que colectivamente formen una única rosca helicoidal continua (siendo cada ranura circunferencial una vuelta respectiva de la rosca). Más preferiblemente, las ranuras circunferenciales son múltiples ranuras anulares circunferenciales; en otras palabras, no son helicoidales, sino que, en cambio, están desconectadas. Típicamente, las ranuras anulares circunferenciales se alternan con crestas anulares circunferenciales. Los devanados en ranuras anulares adyacentes pueden estar desconectados, pero, más típicamente, los devanados están formados por un material filamentosos con secciones de conexión del material filamentosos que se desplazan sobre las crestas anulares circunferenciales entre las ranuras anulares circunferenciales y conectan entre sí los devanados en ranuras anulares circunferenciales adyacentes. Una forma de ranura anular permite envolver múltiples devanados en cada ranura con un solo paso de un carrete del material filamentosos.

55 Las ranuras pueden tener una profundidad A y pueden estar separadas por un paso P . Preferiblemente, las ranuras son relativamente poco profundas y el paso es relativamente grande, de modo que la proporción A/P es baja. Esto hace que las paredes de la ranura sean menos empinadas y, por lo tanto, que sea más fácil anclar los estratos fibrosos a las ranuras. Típicamente, A/P es menor que 1, menor que $2/3$, menor que $1/2$ o menor que $1/4$. Preferiblemente, A/P es mayor que $1/10$.

Típicamente, las ranuras están separadas por un paso superior a 6 mm, superior a 7 mm o superior a 8 mm.

65 Típicamente, las ranuras tienen una profundidad de menos de 4 mm, menos de 3 mm o menos de 2 mm.

El cuerpo de inserto puede estar hecho de material fibroso, por ejemplo, material compuesto reforzado con fibras.

Los devanados y los estratos fibrosos que forman la capa de transición se pueden aplicar preferiblemente "en seco" alrededor del casquillo, es decir, sin resina sin curar. A continuación, estos pueden infundirse con un material de matriz que sirve para unir la capa de transición al casquillo. Preferiblemente, el paso de infusión puede tener lugar en un proceso de moldeo por transferencia de resina (RTM) con material preferiblemente fibroso colocado alrededor de la capa de transición para formar el cuerpo de inserto. De esta forma, la capa de transición y el material circundante del cuerpo de inserto se infunden junto con un material de matriz. De este modo, la capa de transición se fija en el cuerpo de inserto resultante. La capa de transición sirve, por lo tanto, para anclar firmemente el casquillo dentro del cuerpo de inserto.

Típicamente, cada estrato fibroso de la capa de transición está formado por una o más capas de material laminar fibroso. En algunas realizaciones, cada estrato fibroso comprende una sola capa de material laminar fibroso. En otras realizaciones, uno o más estratos fibrosos se pueden formar a partir de múltiples capas de material laminar fibroso para constituir un estrato multicapa. Cada estrato multicapa se puede formar envolviendo dos o más vueltas del material laminar fibroso sobre el casquillo, una tras otra, para formar una espiral. Como alternativa, cada estrato multicapa puede formarse envolviendo simultáneamente dos o más capas del material laminar fibroso sobre el casquillo en una sola vuelta.

Los estratos fibrosos están anclados a las ranuras circunferenciales por los devanados. Cada capa del material laminar fibroso que forma un estrato fibroso puede exhibir una dirección de fibra en una sola dirección, p. ej., en el caso de tejido uniaxial. Como alternativa, el material laminar fibroso puede exhibir más de una dirección de fibra, como en el caso de un material o un tejido laminar fibroso biaxial, triaxial o multiaxial. En las realizaciones, el material laminar fibroso se puede envolver alrededor de un manguito, de modo que la dirección de la fibra de un estrato fibroso resultante pueda extenderse a través de las ranuras a 90° con respecto a las ranuras, o en un ángulo oblicuo con respecto a las ranuras, tal como 45°.

El cuerpo de inserto puede comprender dos o más listones fibrosos ajustados alrededor de la capa de transición. Cada listón puede tener una sección transversal deltoides, de modo que, conjuntamente, un conjunto, p. ej., de cuatro listones pueda dar al inserto una forma de sección transversal cuadrilátera. El cuerpo de inserto puede tener, en particular, una sección transversal rectangular o trapezoidal. El término "rectangular" se usa aquí para denotar una forma de cuadrilátero con esquinas en ángulo recto, que puede ser cuadrado o no cuadrado. Las esquinas pueden ser afiladas o redondeadas. Opcionalmente, el cuerpo de inserto comprende, además, una cubierta exterior fibrosa envuelta alrededor de los listones fibrosos.

Típicamente, cada listón fibroso puede tener una cara interior cóncava. Esta cara interior cóncava puede contactar con la capa de transición. Cada masa fibrosa también puede tener un par de caras exteriores que se encuentran en una esquina y que pueden ser afiladas o redondeadas.

El primer aspecto de la invención también proporciona un método para fabricar un inserto para una raíz de pala de turbina eólica, comprendiendo el método: proporcionar un casquillo, en donde el casquillo tiene un orificio roscado y una superficie exterior con ranuras circunferenciales; envolver un primer estrato fibroso alrededor del manguito, de modo que se superponga a las ranuras; envolver material filamentososo alrededor del primer estrato fibroso para formar un primer conjunto de devanados que atraen el estrato fibroso hacia las ranuras, de modo que el primer estrato fibroso quede anclado en las ranuras por el primer conjunto de devanados; formando dicho primer conjunto de devanados y dicho primer estrato fibroso una capa de transición alrededor del casquillo; colocar material alrededor de la capa de transición para formar un cuerpo de inserto; colocar el casquillo, la capa de transición y el cuerpo de inserto en un molde de infusión; inyectar un material de matriz en el molde de infusión, de modo que el material de matriz infunda la capa de transición; y curar el material de matriz. El primer estrato fibroso se deforma durante el proceso para adoptar un perfil corrugado, con corrugaciones ancladas a las ranuras. El método da como resultado un inserto compuesto por un cuerpo de inserto en el que se incrusta un casquillo.

La capa de transición puede consistir en un solo estrato fibroso y un solo conjunto de devanados, sino que, más típicamente, el método comprende, además: envolver un segundo estrato fibroso alrededor del manguito, de modo que se superponga a las ranuras; envolver material filamentososo alrededor del segundo estrato fibroso para formar un segundo conjunto de devanados que atraen el segundo estrato fibroso hacia las ranuras, de modo que el segundo estrato fibroso quede anclado a las ranuras por el segundo conjunto de devanados; en donde los conjuntos de devanados primero y segundo y los estratos fibrosos primero y segundo forman la capa de transición, y los conjuntos de devanados primero y segundo se alternan con los estratos fibrosos primero y segundo.

Opcionalmente, el primer y/o el segundo conjunto de devanados tiene múltiples devanados por ranura.

Opcionalmente, los conjuntos de devanados primero y segundo se forman girando el casquillo, cada rotación del casquillo forma un solo devanado, y el segundo conjunto de devanados tiene más devanados por ranura que el primer conjunto de devanados.

Se pueden envolver más estratos fibrosos alrededor del casquillo, entonces la capa de transición tiene tres, cuatro o más estratos fibrosos que se alternan con conjuntos de devanados asociados.

5 El cuerpo de inserto se puede colocar alrededor de la capa de transición envolviendo o formando de otro modo el material alrededor de la capa de transición. Opcionalmente, el cuerpo de inserto se coloca colocando dos o más listones fibrosos alrededor de la capa de transición, en donde cada listón tiene una sección transversal deltoides, de modo que los listones den al inserto una sección transversal cuadrilátera, tal como una sección transversal rectangular o trapezoidal, y el material de matriz infunde la capa de transición y opcionalmente también los listones fibrosos.

10 El material de matriz inyectado en el molde de infusión puede infundir el cuerpo de inserto, o el cuerpo de inserto puede estar preimpregnado o precurado antes de colocarlo en el molde de infusión para que el material de matriz inyectado en el molde de infusión no se infunda en el cuerpo de inserto. En este caso, el material de matriz inyectado en el molde de infusión solo infunde la capa de transición y cualquier otra parte porosa del inserto.

15 El conjunto colocado en el molde de infusión se puede utilizar para formar un solo inserto, o se puede colocar un producto intermedio en el molde de infusión y luego cortarlo por la mitad después de retirarlo del molde para producir dos insertos coincidentes.

20 Otro aspecto de la invención proporciona un inserto para una raíz de pala de turbina eólica, comprendiendo el inserto un casquillo incrustado en un cuerpo de inserto; teniendo dicho casquillo un orificio roscado; y en donde dicho cuerpo de inserto comprende dos o más listones fibrosos ajustados alrededor del casquillo, en donde cada listón tiene una sección transversal deltoides, de modo que los listones den al inserto una sección transversal cuadrilátera, como una sección transversal rectangular o trapezoidal. En la reivindicación 1 adjunta se define un inserto de acuerdo con la invención. Las características opcionales del mismo se definen en las subreivindicaciones 2-7 y 9-11.

25 En una realización preferida, el cuerpo de inserto tiene cuatro listones fibrosos, cada uno con una sección transversal deltoides; y, en otras realizaciones, el cuerpo de inserto tiene dos listones, teniendo cada listón un par de lóbulos y teniendo cada lóbulo una sección transversal deltoides.

30 Opcionalmente, el cuerpo de inserto comprende, además, una cubierta exterior fibrosa envuelta alrededor de los listones fibrosos.

35 A modo de ejemplo, cada listón puede comprender una preforma pultrusionada; o un conjunto de cuerdas, varillas u otros miembros alargados.

40 El inserto puede comprender, además, una capa de transición fibrosa que se extiende entre el casquillo y el cuerpo de inserto. Preferiblemente, la capa de transición fibrosa puede extenderse entre el casquillo y los listones. Esta capa de transición puede tener una forma generalmente similar a un manguito. La capa de transición puede exhibir una interfaz generalmente cilíndrica con el casquillo. Preferiblemente, la capa de transición puede anclarse a ranuras circunferenciales en la superficie exterior de un casquillo, como se expone en relación con el primer aspecto de la invención. Preferiblemente, la capa de transición puede comprender láminas de material fibroso envueltas alrededor del casquillo mediante devanados de material filamentoso. Preferiblemente, los devanados de material filamentosos se aplican firmemente, de una manera para anclar capas de material fibroso en las ranuras de la superficie del casquillo. La capa de transición proporciona así una excelente capa de interfaz resistente a la fatiga entre el casquillo y el cuerpo de inserto. El inserto se extiende en una dirección longitudinal a lo largo de un eje principal, y los listones fibrosos típicamente comprenden fibras que se extienden sustancialmente en la dirección longitudinal (por ejemplo +/- 5°). Típicamente, las fibras de los listones son uniaxiales. Los listones pueden ser de material compuesto fibroso pultrusionado. Las fibras de los listones se pueden pultrusionar con un material de matriz de resina líquida más o menos viscoso y posteriormente curarse. Los listones pultrusionados se pueden moldear junto con casquillos envueltos para formar insertos. Esto se puede llevar a cabo en un proceso de RTM en el que se puede infundir resina alrededor de los listones y en la capa de transición. Después del curado, los listones quedan así unidos conjuntamente dentro del cuerpo de inserto. La capa de transición está firmemente integrada en el cuerpo de inserto y firmemente fijada alrededor del casquillo.

55 Como alternativa, los listones se pueden pultrusionar usando un material aglutinante seco, tal como partículas de polvo de un material aglutinante. Por ejemplo, filamentos continuos p. ej., de fibra de vidrio o fibra de carbono se pueden pasar a través de una matriz de pultrusión junto con una proporción de material aglutinante en polvo. El material aglutinante puede ser, por ejemplo, una resina termoplástica o cualquier resina capaz de fundirse y volver a solidificarse para unir localmente los filamentos vecinos entre sí. En las realizaciones, la matriz de pultrusión puede calentarse. La matriz calentada puede calentarse lo suficiente como para hacer que las partículas de aglutinante en la pultrusión se fundan a medida que pasan a través de la matriz. Esta fusión de partículas de polvo localmente hace que el material de partículas fluya alrededor de los filamentos vecinos, p. ej., por acción capilar, a medida que los filamentos se compactan en la matriz de pultrusión. Al enfriarse, el material aglutinante une localmente los filamentos pultrusionados entre sí. El listón pultrusionado puede tener así integridad de forma, mientras permanece poroso a los líquidos. El material aglutinante puede constituir preferiblemente el 10 % o menos en volumen del listón pultrusionado acabado. El material aglutinante puede constituir preferiblemente el 7 % o menos en volumen del listón pultrusionado

acabado. El material aglutinante puede constituir preferiblemente el 5 % o menos en volumen del listón pultrusionado acabado. Al incluir una menor proporción de material aglomerante, se puede aumentar la porosidad del listón pultrusionado. Una mayor porosidad del listón pultrusionado puede mejorar la integridad estructural del cuerpo de inserto al permitir la penetración de una resina de infusión en el listón pultrusionado. Si se integran uno o más listones pultrusionados en el inserto durante el proceso de RTM, luego los listones, la capa de transición y cualquier otra parte del cuerpo de inserto se pueden curar conjuntamente después de la infusión. El curado conjunto de los elementos que forman el cuerpo de inserto puede aumentar la integridad estructural del cuerpo de inserto.

5
10 En cualquier caso, la capa de transición se puede polimerizar preferiblemente con el cuerpo de inserto, mejorando así la unión entre la capa de transición y el cuerpo de inserto.

Típicamente, cada listón fibroso tiene una cara interior cóncava y un par de caras exteriores que se encuentran en una esquina que puede ser aguda o redondeada.

15 Este aspecto de la invención también proporciona un método para fabricar un inserto para una raíz de pala de turbina eólica, comprendiendo el método: proporcionar un casquillo, en donde el casquillo tiene un orificio roscado; colocar dos o más listones fibrosos alrededor del casquillo, en donde cada listón tiene una sección transversal deltoides, de modo que los listones den al inserto una sección transversal cuadrilátera, como una sección transversal rectangular o trapezoidal; colocar el casquillo y los listones en un molde de infusión; inyectar un material de matriz en el molde de infusión, de modo que el material de matriz infunda el inserto; y curar el material de matriz para formar así un cuerpo de inserto con un casquillo incrustado. Un método de la invención aparece definido en la reivindicación 12 adjunta. Las características opcionales adicionales del mismo se definen en las subreivindicaciones 13-15

20
25 Opcionalmente, el método comprende, además, generar una capa de transición fibrosa alrededor del casquillo. Los listones fibrosos pueden colocarse alrededor de la capa de transición; y el material de matriz se puede fundir en la capa de transición y alrededor o dentro de los listones. Dicha capa de transición proporciona una interfaz segura entre el casquillo y el cuerpo de inserto.

30 Opcionalmente, el método comprende, además, envolver una cubierta exterior fibrosa alrededor del exterior de los listones fibrosos. Preferiblemente, la cubierta exterior fibrosa puede definir la periferia del cuerpo de inserto. Preferiblemente, la cubierta exterior fibrosa puede ser láminas de material fibroso en seco. Durante la infusión del inserto, el material de matriz también infunde la capa exterior fibrosa. Una cubierta exterior fibrosa de este tipo tiene la ventaja de fijar de forma segura los listones en su sitio. La cubierta exterior fibrosa puede servir adicionalmente para adaptar el material fibroso del cuerpo de inserto a la forma del molde de RTM, antes de la infusión de resina del mismo.

35
40 El material de matriz inyectado en el molde de infusión puede fundir los listones, o los listones pueden preimpregnarse o curarse previamente antes de colocarse en el molde de infusión para que el material de matriz inyectado en el molde de infusión no se infunda en los listones. En este caso, el material de matriz inyectado en el molde de infusión solo se infunde a través de la capa de transición, la cubierta exterior y otras partes porosas del inserto.

45 El molde de infusión típicamente comprende una cavidad de molde que contiene el inserto, y al menos parte de la cavidad de molde tiene una sección transversal cuadrilátera, como una sección transversal rectangular o trapezoidal. Opcionalmente, el molde de infusión tiene dos partes de molde que se unen en una línea dividida y se pueden separar para retirar el inserto. Preferiblemente, la línea divisoria coincide con una diagonal de la sección transversal del cuadrilátero.

Breve descripción de los dibujos

50 Las realizaciones de la invención se describirán a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 muestra una turbina eólica;

55 la figura 2 muestra una pala de la turbina eólica de la figura 1;

la figura 3 muestra un extremo de raíz de la pala de la figura 2;

la figura 4 es una vista de extremo ampliada de parte del extremo de la raíz de la figura 3;

60 la figura 5 muestra un inserto de raíz de pala de turbina eólica;

la figura 6a es una vista en sección transversal a lo largo de una pieza en bruto de dos extremos que está cortada a la mitad para formar un par de insertos coincidentes;

65 la figura 6b es una vista en sección transversal del conjunto mostrado en la figura 6, seccionada a lo largo de una línea y-y, mostrando, además, elementos de disposición alrededor de la capa de transición;

la figura 6c muestra un perfil en sección a través de las ranuras de un casquillo con una serie de crestas y valles poco profundos y sinuosos;

5 la figura 7 es una vista lateral esquemática de un manguito envuelto en una capa de transición y que muestra secciones de conexión de material filamentosos entre ranuras adyacentes;

la figura 8 es una vista lateral en sección que muestra dos ranuras y la capa de transición que cubre las ranuras;

10 la figura 9 es una vista lateral en sección que muestra dos ranuras y una capa de transición alternativa que cubre las ranuras;

la figura 10 es una vista lateral en sección que muestra dos ranuras y otra capa de transición alternativa que cubre las ranuras;

15 la figura 11a muestra un material filamentosos que se enrolla en un husillo para formar un conjunto de devanados sobre una capa de envoltura de material;

la figura 11b muestra material laminar fibroso que se envuelve alrededor del husillo;

20 la figura 12 muestra el material filamentosos que se enrolla alrededor de listones para asegurar sus elementos en su lugar;

25 la figura 13 es una vista figurativa isométrica que muestra listones pultrusionados colocados alrededor de uno de los casquillos;

la figura 14 muestra una disposición alternativa en la que los listones están formados por varillas de vidrio;

la figura 15 muestra un listón alternativo formado por varillas de vidrio de sección transversal variable;

30 la figura 16 muestra una disposición de moldeo por infusión;

la figura 17 es una vista isométrica de una pieza en bruto;

35 la figura 18 es una vista lateral de la pieza en bruto de la figura 17;

la figura 19 es una vista en planta de la pieza en bruto de la figura 17;

la figura 20 es una vista inferior de la pieza en bruto de la figura 17;

40 la figura 21 es una vista en sección transversal de la segunda porción de extremo de la pieza en bruto de la figura 17;

la figura 22 es una vista en sección transversal a la mitad de la pieza en bruto de la figura 17;

45 la figura 23 es una vista en sección transversal de la primera porción de extremo de la pieza en bruto de la figura 17;

la figura 24 es una vista en planta de un inserto cortado de la pieza en bruto de la figura 17;

50 la figura 25 es una vista inferior del inserto en la figura 24;

la figura 26 es una vista lateral del inserto de la figura 24;

55 la figura 27 muestra una disposición de molde de infusión dividido en diagonal;

la figura 28 muestra una sección transversal a través de una primera disposición de listones lobulados;

la figura 29 muestra una sección transversal a través de una segunda disposición de listones lobulados;

60 la figura 30 muestra una vista en sección transversal diagonal de un extremo de una pieza en bruto que muestra un casquillo incrustado;

la figura 31 es una vista isométrica de un tapón de extremo;

65 la figura 32 muestra una pieza en bruto;

la figura 33 muestra una vista isométrica que muestra el perfil exterior de una pieza en bruto con una geometría alternativa.

5 Descripción detallada de las realizaciones

La figura 1 muestra una turbina eólica de eje horizontal 10. La turbina eólica 10 comprende una torre 12 que soporta una góndola 14 en la que se monta un rotor 16. El rotor 16 comprende una pluralidad de palas de turbina eólica 18 que se extienden radialmente desde un buje central 19. En este ejemplo, el rotor 16 comprende tres palas 18.

La figura 2 es una vista de una de las palas 18. La pala 18 se extiende desde una raíz generalmente circular 20 hasta una punta 22 en una dirección longitudinal "en el sentido de la envergadura" y entre un borde delantero 24 y un borde posterior 26 en una dirección transversal "en el sentido de la cuerda". La pala 18 comprende una cubierta 27 que puede estar formada principalmente de plástico reforzado con fibra (FRP). La pala 18 comprende una superficie de succión 28 y una superficie de presión 29. Las superficies de succión y presión definen una dimensión de grosor de la lámina.

La pala 18 pasa de un perfil circular a un perfil aerodinámico que se mueve desde la raíz 20 de la pala 18 hacia un saliente 25 de la pala 18, que es la parte más ancha de la pala 18 en donde la pala tiene su máxima cuerda. La pala 18 tiene un perfil aerodinámico de grosor progresivamente decreciente en una parte hacia el exterior de la pala 18, que se extiende desde el saliente 25 a la punta 22 de la pala 18.

La figura 3 muestra la raíz 20 de una de las palas 18 y la figura 4 es una vista frontal de un sector de la raíz 20. La raíz 20 está preferiblemente unida al buje 19 mediante espárragos (no se muestran) que pueden extenderse desde o a través de una brida del buje (no se muestra) hacia casquillos metálicos 40, dos de los cuales se muestran en la figura 4. Cada buje se extiende en dirección longitudinal y tiene un orificio axial interno 109. Cada buje de acero 40 se puede incrustar en un inserto 105 que se muestra en la figura 5. El inserto 105 tiene un cuerpo de inserto 108 en el que está incrustado el casquillo 40. Los insertos 105 pueden tener una sección transversal cuadrilátera, preferiblemente trapezoidal, y se pueden colocar el uno al lado del otro en un anillo alrededor de la circunferencia de la raíz 20. Los insertos 105 se pueden incrustar entre las paredes 41 y 42. Estas paredes 41 y 42 pueden ser en particular de material compuesto reforzado con fibra de vidrio. En la realización ilustrada, la pared compuesta 41 forma una capa exterior de la carcasa 27 en la base 20 de la pala, mientras que la pared compuesta 42 forma una capa interior de la carcasa 27 en la base 20. Los insertos 105 pueden colocarse en un molde y luego integrarse con la carcasa de la pala 27 a través de un proceso de moldeo por infusión de resina tal como infusión al vacío. Para lograr esto, los insertos 105 pueden prefabricarse y colocarse en el molde colocándolos sobre material de colocación para la carcasa 27. Se puede aplicar material de colocación adicional sobre los insertos 105 en el molde, antes de la infusión.

Cabe destacar que, en las realizaciones, las caras laterales 143 de los insertos 105 son preferiblemente planas para que los insertos 105 puedan disponerse, como se muestra en la figura 4, en un anillo continuo con las caras laterales planas 143 de los insertos adyacentes 105 en contacto colindante entre sí. Si los insertos 105 tienen una forma ligeramente trapezoidal, entonces las respectivas caras laterales 143 pueden disponerse la una al lado de la otra para formar una disposición circular como se ilustra en las figuras 3 y 4, sin necesidad de espaciadores en forma de cuña entre medias.

En las figuras 6a-16 se muestran aspectos de un método preferido de fabricación de un par coincidente de insertos 105. En primer lugar, se puede configurar un husillo de doble extremo 167, sobre el que se puede formar una capa de transición 102. Ventajosamente, dos casquillos 40 pueden estar espaciados longitudinalmente en cualquier extremo de un núcleo longitudinal 62 para formar el husillo 167. El husillo 167 ilustrado comprende un núcleo 62 con extremos troncocónicos 63 y un par de casquillos de acero 40, cada uno de los cuales tiene rebajes troncocónicos 65 en los que los extremos 63 del núcleo pueden encajarse a presión como se muestra en la figura 6a. El núcleo 62 puede estar hecho de una variedad de materiales, como espuma de tereftalato de polietileno (PET), vidrio pultrusionado, material compuesto reforzado con fibra de vidrio o madera.

Con referencia a la figura 30, un casquillo 40 puede servir tanto para transferir cargas entre un elemento de conexión del buje, como un espárrago (no mostrado) y el casquillo 40, así como para transferir cargas entre el casquillo 40 y el cuerpo de inserto 108, estando incrustado el inserto 105 en una raíz de pala de turbina eólica 20. Para transferir cargas entre un elemento de conexión del buje y el casquillo 40, el buje puede estar provisto de un orificio interno 109, teniendo el orificio interno 109 a su vez un elemento de acoplamiento 66 para acoplarse a un elemento de conexión del buje (no mostrado). En el caso ilustrado, el casquillo 40 puede tener una rosca interna 66 para acoplarse con un espárrago (no se muestra), para la conexión a un buje de turbina eólica. Adicionalmente, el casquillo 40 puede tener una superficie externa texturizada (véanse las ranuras 68) para mejorar la transferencia de carga entre el casquillo 40 y el cuerpo de inserto 108. En la figura 30, la superficie exterior texturizada 68 del casquillo 40 se extiende axialmente adyacente al elemento de acoplamiento 66. Esto puede servir para maximizar el área disponible en la superficie del casquillo 40 para la transferencia de carga al cuerpo de inserto 108. En otras palabras, las dos disposiciones de transferencia de carga en el casquillo 40 pueden coincidir axialmente. Para mejorar el rendimiento de un casquillo 40, puede ser deseable separar axialmente aquellas áreas que realizan las respectivas funciones de transferencia de

carga. Dicha separación axial puede reducir las cargas máximas locales en el casquillo 40 y se ilustra a modo de ejemplo en la figura 6a. En consecuencia, un casquillo 40 puede incluir una región de extremo 61 que termina en una cara de extremo plana 61a en un extremo de raíz del casquillo, y una región de cuerpo 59 que se extiende desde la región de extremo 61 hasta el extremo opuesto del casquillo. La región de extremo 61 puede no estar texturizada, es decir, puede tener una superficie exterior predominantemente lisa. Por lisa se entiende predominantemente cilíndrica y, preferiblemente, sin características superficiales externas. Una superficie lisa puede ser rugosa para una mejor adhesión a la resina, aunque dicha rugosidad no puede considerarse como una característica de la superficie en este contexto. Una región de cuerpo 59 puede estar provista de una superficie exterior texturizada para acoplarse entre el casquillo 40 y el cuerpo de inserto 108. En dicha disposición, con la superficie exterior texturizada de la parte de cuerpo 59 desplazada axialmente de la superficie exterior lisa cilíndrica de la región del extremo de la raíz 61, la transferencia de carga entre el casquillo 40 y el cuerpo de inserto 108 puede localizarse lejos de la región del extremo de la raíz 61. En las realizaciones, una rosca interna 66, o elemento de acoplamiento de espárrago, puede colocarse en una región del extremo de la raíz 61 de un casquillo 40. De esta forma, como se ilustra en la figura 6a, la transferencia de carga entre un elemento de conexión del buje y el casquillo 40, a través del elemento de acoplamiento 66, puede separarse axialmente de la transferencia de carga entre el buje y el cuerpo de inserto 108. Esto puede reducir las cargas máximas experimentadas por el casquillo 40. En las realizaciones, la región de extremo de la raíz 61, desplazada axialmente de la región del cuerpo 59, puede exhibir un diámetro exterior mínimo mayor que el diámetro exterior mínimo de la región de extremo 61. Esta disposición puede garantizar que, en realizaciones donde una rosca 66 está desplazada axialmente desde una región texturizada de un casquillo 40, entonces el casquillo 40 tiene un mayor grosor de pared en la zona de la rosca 66 que en la zona de la superficie exterior texturizada. Esto, a su vez, puede mejorar la capacidad del casquillo 40 para soportar altos niveles de tensión a través del elemento de acoplamiento 66, quizás especialmente en niveles momentáneos de estrés.

Opcionalmente, por lo tanto, la rosca interna 66 en el orificio 109 a través del casquillo 40 puede estar dispuesta dentro de la región de extremo 61. La región de extremo 61 puede tener una superficie exterior cilíndrica lisa (sin ranuras). La región de extremo 61, desplazada de la región del cuerpo 59, puede estar configurada de modo que ninguna de las ranuras 68 rodee la rosca interna 66. Desplazando las ranuras 68 de la rosca 66 de esta manera se maximiza el grosor de la pared de la región de extremo 61, haciéndola resistente a las grietas. También separa el casquillo 40 en dos regiones funcionales espaciadas axialmente: la región de extremo 61 y la región de cuerpo 59. La región de extremo 61 transmite cargas entre el espárrago y el casquillo 40, mientras que la región de cuerpo 59 transmite cargas entre el casquillo 40 y el cuerpo de inserto 108, a través de una capa de transición 102.

Un grosor de pared efectivo h (figura 6a) del casquillo 40 puede variar entre un máximo, medido entre la extensión exterior del casquillo 40, p. ej., en su región de extremo de raíz 61 o en una cresta 69 entre ranuras adyacentes y la pared interna de un taladro 109, y una extensión mínima entre las ranuras de una rosca interna 66 y las ranuras 68 de un perfil ondulado. Un mayor grosor de pared mínimo h en el orificio roscado hace que la zona de alta transferencia de carga en una región de extremo 61 sea más resistente a la tensión.

La figura 7 es una vista lateral que muestra tres ranuras 68 en la superficie de un casquillo 40. La figura 8 es una vista en sección que muestra dos de las ranuras 68. Como se muestra más claramente en la figura 7, las ranuras 68 y las crestas 69 son anulares en lugar de helicoidales, por lo que cada una se encuentra perpendicular a la longitud del husillo 167, es decir, perpendicular a la dirección axial del casquillo 40.

Después de configurar un husillo 167, se puede construir una capa de transición 102 a su alrededor, como se muestra en la figura 8. La capa de transición 102 puede comprender estratos fibrosos 98, cada uno superpuesto con un respectivo conjunto asociado de devanados 80. En el ejemplo ilustrado mostrado en la figura 8, la capa de transición 102 puede comprender cuatro estratos fibrosos 98, cada uno superpuesto con uno respectivo asociado de cuatro conjuntos de devanados 80. En la figura 8, los cuatro estratos fibrosos 98 están numerados individualmente 81-84, siendo el estrato 81 el estrato más interno. Sin embargo, el número de estratos fibrosos 98 puede ser dos o tres o cuatro o cinco o más. Cada estrato 98 tiene preferiblemente su propio conjunto de devanados 80 asociado. En la figura 8, los cuatro conjuntos de devanados 80 están numerados individualmente 85-88, estando asociado el conjunto de devanados más interno 85 con el estrato más interno 81. La capa de transición 102 puede ser una capa continua que termina en cada extremo del husillo 167. En las realizaciones, la capa de transición 102 puede terminar donde una última ranura 68 se encuentra con la región de extremo 61 de un casquillo 40, como se muestra en la figura 6a. Como alternativa, se puede aplicar una capa de transición 102 respectiva de manera que rodee un casquillo 40 respectivo en cualquier extremo de dicho husillo 167.

Los estratos 98 pueden comprender láminas de material laminar fibroso 164, una lámina 164 que se muestra en la figura 11b. A modo de ejemplo, el material laminar fibroso 164 puede comprender fibra de vidrio o fibra de material sintético tal como fibra de material polimérico de alta resistencia a la tracción. En el presente documento se utiliza el término fibroso, aunque este puede incluir láminas fibrosas hechas de material filamentosos tal como fibra de vidrio u otro material filamentosos continuo de tipo extrudido. El material de lámina fibrosa 164 se puede seleccionar de combinaciones de una o más de: láminas unidireccionales, láminas biaxiales (p. ej., $+45^\circ/-45^\circ$) o láminas triaxiales (p. ej., $+45^\circ/0^\circ/-45^\circ$). A modo de ejemplo, el material laminar fibroso 164 puede ser una tela no tejida fabricada con capas de fibras unidireccionales apiladas en diferentes orientaciones y unidas mediante costuras de grosor total. En las realizaciones, el material laminar fibroso 164 de un estrato externo 98 puede tener un peso base mayor (g/m^2) que

- el material laminar fibroso 164 de un estrato interno 98. En una implementación típica, las láminas fibrosas 164 que constituyen los estratos 98 pueden tener un peso base entre aproximadamente 400 g/m² y 1600 g/m². A modo de ejemplo, en una realización preferida, el primer estrato (más interno) 81 puede comprender material laminar fibroso 164 en forma de una lámina biaxial de 600 gramos por metro cuadrado (g/m²) (+45°/-45°), mientras que una o más
- 5 de los otros estratos 98 pueden comprender material laminar fibroso 164 en forma de láminas biaxiales (+10°/-10°) con un peso mayor, como, por ejemplo, 1200 g/m². Como alternativa, algunos o todos los estratos 98 pueden estar formados por múltiples láminas; por ejemplo, el primer estrato (el más interno) 81 puede comprender dos láminas, teniendo cada lámina un peso base de 300 g/m².
- 10 Las figuras 11a, 11b y 12 muestran una herramienta para formar la capa de transición 102. El husillo 167 está montado de forma giratoria entre un par de cojinetes 130. En primer lugar, como se indica en la figura 11b, un estrato fibroso más interno 81 se enrolla sobre el husillo 167 desenrollándolo de un carrete 136 de material fibroso en lámina 164 y girando el husillo 167 al menos una vuelta completa. En las realizaciones, se pueden preferir dos o más vueltas completas, de modo que el estrato más interno 81 se forme a partir de múltiples capas del material laminar fibroso 164
- 15 formando una espiral. Inicialmente, el estrato 81 tiene un perfil cilíndrico como se muestra en la figura 11b y cubre las ranuras 68 y el núcleo 62. Después de enrollar una longitud del material laminar fibroso 164 alrededor del husillo 167, el material laminar 164 se puede cortar, dejando el husillo 167 completamente envuelto por al menos una vuelta del material laminar fibroso 164.
- 20 A continuación, como se muestra en la figura 11a, el husillo 167 gira mientras una línea de material filamentosos 131, como estopa filamentosos, se alimenta desde un carrete 132. Un material filamentosos típico utilizado para este fin puede ser, p. ej., fibra de carbono o fibra de vidrio o material polimérico de alta resistencia. Los ejemplos incluyen un haz de fibra de carbono 12 M. "12 M" denota el hecho de que el material filamentosos 131 es un haz de 12 000 filamentos, aunque se pueden usar otros calibres de haces, como p. ej., en cualquier lugar entre 2 M y 40 M. Inicialmente, el
- 25 carrete 132 puede colocarse en línea con una primera ranura 68 en o cerca de un extremo del casquillo 40. Por ejemplo, el carrete 132 puede colocarse inicialmente en o cerca de una región de extremo 61 del casquillo 40. Después de esto, el husillo 167 gira de modo que el material filamentosos 131 se envuelva en una primera ranura formando un devanado 80 alrededor del estrato más interno 81 y uniendo esa porción de la capa 81 en una ranura 68 del casquillo. El número de vueltas del husillo 167 en esta etapa determina el número de vueltas 80 de material filamentosos 131 en la ranura 68. Por ejemplo, se pueden dar una o dos o tres o cuatro o más vueltas del husillo 167, generando correspondientemente uno o dos o tres o cuatro o más devanados 80 en la ranura 68. Preferiblemente, el carrete 132 se puede mover a lo largo de una pista 134 hasta que el material filamentosos 131 esté alineado con la próxima ranura 68. El husillo 167 continúa girando a medida que el carrete 132 de material filamentosos 131 se mueve gradualmente entre las ranuras adyacentes 68, de modo que una sección de conexión en ángulo 70 del material filamentosos 131 se
- 30 desplaza sobre las crestas 69 entre las ranuras 68 como se muestra en la figura 7 y conecta los devanados 80 en ranuras adyacentes 68. A continuación, el proceso continúa ranura por ranura 68 hasta que se coloca un primer conjunto de devanados 80. En la figura 8, el primer conjunto de devanados se muestra con el número 85 y tiene dos devanados por ranura. Luego, el material filamentosos 131 se amarra en cada extremo, por ejemplo, envolviéndolo sobre sí mismo.
- 40 La ilustración de la figura 8 muestra cómo un primer conjunto de devanados 85 introduce un primer estrato 81 asociado en las ranuras 68 del casquillo 40 para que se deforme a partir de un perfil cilíndrico para adoptar el perfil arrugado o corrugado que se muestra en la figura 8, incluyendo corrugaciones anulares circunferenciales que están ancladas en las ranuras 68 por el primer conjunto de devanados 85 como se muestra en la figura 8.
- 45 A continuación, un segundo estrato fibroso 98, se muestra en la figura 8 con el número 82, se envuelve alrededor del husillo 167 y un segundo conjunto asociado de devanados 80, se muestra en la figura 8 con el número 86, está envuelto alrededor de él, atándolo o anclándolo a las ranuras 68, esta vez p. ej., con cuatro vueltas 80 por ranura 68 en lugar de las dos que se ilustran en la figura 8 sobre el estrato más interno 81. El segundo conjunto de devanados 86 arrastra el segundo estrato 82 asociada hacia las ranuras 68, de modo que el estrato 82 adopte el perfil ondulado o corrugado que se muestra en la figura 8, incluyendo corrugaciones anulares circunferenciales que están ancladas en las ranuras 68 por los devanados 86. El proceso puede repetirse para completar la capa de transición 102, por ejemplo, añadiendo estratos adicionales 98 (que se muestran en la figura 8 con los números 83 y 84) unidos en su lugar por conjuntos de devanados 80 asociados adicionales (que se muestran en la figura 8 con los números 87 y 88).
- 50 Los conjuntos de devanados 80 (que se muestran en la figura 8 como cuatro conjuntos de devanados 85-88) se extienden a lo largo de las ranuras 68 y se alternan con los estratos fibrosos 98 (que se muestran en la figura 8 como cuatro estratos fibrosos 81-84) que se superponen a las ranuras. 68. Los estratos más internos 98 pueden tener perfiles significativamente ondulados que incluyen corrugaciones anulares circunferenciales que están ancladas a las ranuras 68 por sus devanados asociados 80. Este anclaje proporciona una interfaz fuerte que resiste la extracción axial del casquillo 40 del cuerpo 108 del inserto terminado y es resistente a la fatiga. El material laminar fibroso 164 que forma los estratos 98 se puede envolver alrededor del casquillo 40 de tal manera que aplique una dirección de fibra que discorra a través de las ranuras en un ángulo oblicuo con respecto a las ranuras 68, tal como 45°. Como alternativa o
- 60 adicionalmente, el material laminar fibroso 164 se puede envolver alrededor del casquillo 40 para aplicar una combinación de direcciones de fibra que se extienden a través de las ranuras 68. De esta forma, por ejemplo, un estrato 98 puede exhibir una dirección de fibra a 45° mientras que otro estrato 98 puede exhibir una dirección de fibra
- 65

a 90° o 60° o 75°, etc. Como resultado del material filamentosos 131 estrechamente envuelto que forma devanados 80 alrededor de las láminas fibrosas 164, los estratos 98 que se extienden a través de las ranuras 68 adoptan así una forma ondulada u ondulaciones, ya que están anclados en las ranuras 68 por los devanados 80.

- 5 Las corrugaciones se reducen progresivamente en amplitud de un estrato a otro en una dirección que se aleja de la superficie del casquillo 40, de modo que las corrugaciones, p. ej., un estrato 98 relativamente externa puede ser relativamente poco profundo y, a diferencia de los estratos primero, segundo y tercero 98 (mostrados en la figura 8 como los estratos más internos 81-83), las corrugaciones de un estrato relativamente externo, como un cuarto estrato 98 (que se muestra en la figura 8 con el número 84) o el estrato 98 posterior, difícilmente pueden extenderse hacia las
- 10 ranuras 68. En las realizaciones, el número de vueltas 80 que recubren un estrato 98 puede aumentar progresivamente de un estrato a otro posterior en una dirección radial alejándose de la superficie del casquillo 40. En las realizaciones opcionales, el estrato fibroso más externo 98 de la capa de transición 102 (que se muestra como el estrato 89 en la figura 8) se puede envolver alrededor de un estrato corrugado más externo 80 (que se muestra como el estrato 84 en la figura 8), de modo que se mantenga un perfil cilíndrico, no corrugado porque no se aplican devanados 80 a su
- 15 alrededor. Opcionalmente, este estrato cilíndrico más externo 90 puede extenderse para cubrir la región de extremo 61 del casquillo 40, a diferencia de los estratos corrugados 81-84.

Los devanados 80 pueden formarse girando el husillo 167, formando cada rotación del husillo 167 un solo devanado 80. El número de vueltas 80 por ranura 68 para cada conjunto de vueltas puede aumentar en una dirección radial alejándose de la superficie del casquillo 40. Entonces los conjuntos de devanados 80, ilustrados en la figura 8 con los números 85-88, puede tener dos, cuatro, seis y ocho vueltas por ranura 68 respectivamente. En consecuencia, el número de filamentos por ranura 68 puede aumentar correspondientemente en una dirección radial alejándose de la superficie del casquillo 40. A modo de ejemplo, con dos devanados 80 de un haz de 12 M filamentos sobre un estrato 98 determinado en una sola ranura 68, puede haber un recuento de 24 000 filamentos individuales (p. ej., el más interno, primer conjunto de devanados 85 mostrado sobre el estrato más interno 81 en la figura 8). Esto puede aumentar, p. ej., a 96 000 filamentos por ranura 68 sobre un estrato posterior o más externo 98 (por ejemplo, el cuarto conjunto de devanados 88 sobre el cuarto estrato 84 que se muestra en la figura 8).

Como se ha mencionado anteriormente, las ranuras circunferenciales 68 y las crestas 69 son preferiblemente anulares. El término "anular" se usa en el presente documento para indicar una forma no helicoidal cerrada o sin fin, que puede o no ser circular. Por lo tanto, puede haber múltiples ranuras anulares no conectadas 68, en lugar de ranuras conectadas que formarían colectivamente una sola rosca externa helicoidal que se extiende a lo largo de toda la longitud de la región del cuerpo 59 del casquillo. La forma de la ranura anular permite envolver múltiples devanados en cada ranura con un solo paso del carrete 132. En una realización alternativa, se puede usar una rosca externa helicoidal (no ilustrada), pero en este caso se deben usar múltiples pasadas del carrete 132 a lo largo de toda la región del cuerpo ranurado 59 si se requiere envolver múltiples devanados 80 en la rosca externa.

La superficie exterior del casquillo 40 tiene un perfil en sección a través de las ranuras 68 y las crestas 69 con una serie de crestas y valles como se muestra en las figuras 6a, 6c y 8. Las crestas y valles pueden ser triangulares como en la figura 6a, o con crestas planas como en la figura 8, pero en la figura 6c se muestra un perfil en sección sinuoso más preferido. En este caso, el perfil en sección tiene crestas convexas redondeadas (correspondientes a las crestas 69). Las crestas redondeadas pueden tener, por ejemplo, un radio de curvatura de aproximadamente 4-8 mm, opcionalmente 4-6 mm, opcionalmente 4 o 5 mm, opcionalmente unos 4,54 mm. El perfil en sección también tiene canales cóncavos redondeados (correspondientes a las ranuras 68) con un radio de curvatura de aproximadamente 4-8 mm, opcionalmente 4-6 mm, opcionalmente 4 o 5 mm, opcionalmente unos 4,54 mm. Las ranuras ilustradas 68 tienen una profundidad A y están separadas por un paso P. En el caso de la figura 6c, el paso P es de 10 mm y la profundidad A es de 1,5 mm. Por lo tanto, las ranuras son relativamente poco profundas y la relación A/P es baja, en este caso, alrededor de 1/6,7. Esta relación baja hace que las paredes de las ranuras sean menos empinadas, lo que facilita el anclaje de los estratos fibrosos a las ranuras, particularmente el estrato más interno 81 que debe seguir de cerca el perfil sinuoso del casquillo, como se muestra en la figura 8. Se pueden utilizar otros valores del paso P y la profundidad A.

La figura 9 muestra una capa de transición alternativa 102a, formada usando devanados solos. En las realizaciones, un conjunto inicial de devanados 90 de material filamentosos 131 que puede extenderse en un primer ángulo con respecto a la dirección longitudinal del casquillo 40. A modo de ejemplo, el conjunto inicial de devanados puede enrollarse en un primer ángulo de 90° con respecto a la dirección longitudinal del casquillo 40. Otros devanados 91 de material filamentosos 131 pueden enrollarse alrededor del casquillo 40 en un ángulo diferente, por ejemplo, 15°, 30°, 45°, 60° o 75°. En las realizaciones, los devanados de material filamentosos 90, 91 pueden comprender estopa de fibra de vidrio o fibra de carbono. La figura 10 muestra otra capa de transición alternativa 102b también formada usando solo devanados. En el caso ilustrado en la figura 10, un solo conjunto de devanados 100 está dispuesto sobre las ranuras 68, en un ángulo de devanado dado al casquillo 40, sin devanados superpuestos adicionales 91. A modo de ejemplo, el material filamentosos 131 de los devanados ilustrados 100 puede ser fibra de vidrio o de carbono. Estos pueden girar a 90° con respecto a la dirección longitudinal del casquillo 40.

En el método descrito anteriormente, el material laminar 164 que forma cada estrato 98 de la capa de transición 102 puede extenderse casi en toda la longitud del eje, hasta una región de extremo 61 de cada casquillo 40. En otras

realizaciones (no mostradas), cada estrato 98 se puede formar a partir de múltiples láminas colocadas la una al lado de la otra, o se puede formar envolviendo una tira estrecha o cinta de material fibroso en el husillo 167 para cubrir así el casquillo 40 y todo el material fibroso o parte del núcleo 62 en una espiral.

- 5 En el ejemplo descrito anteriormente, los devanados 80 pueden estar formados opcionalmente a partir de material filamentosos 131 en forma de estopa, como haz de carbono. En realizaciones alternativas, tal vez por razones de coste, el material filamentosos 131 puede ser reemplazado por un hilo fibroso retorcido (no mostrado) siempre que se le pueda aplicar y mantener el nivel de tensión requerido. Preferiblemente, el casquillo puede estar hecho de un metal, preferiblemente acero o titanio. En una realización, los devanados de filamentos de carbono están dispuestos
10 alrededor del manguito metálico y alrededor de los estratos fibrosos, de modo que los filamentos de carbono no estén en contacto con el manguito metálico.

Una vez que se ha formado la capa de transición 102 descrita anteriormente, se pueden colocar dos o más listones fibrosos 148 alrededor de la capa de transición 102 para formar el cuerpo de inserto 108. Estos listones pueden dar
15 preferiblemente al cuerpo de inserto 108 una sección transversal cuadrada o trapezoidal. Un listón 148 puede tener diferentes formas. Estos listones pueden incluir, por ejemplo: una preforma pultrusionada 150 como se muestra en la figura 13, o conjuntos de varillas de fibra de vidrio pultrusionadas 160, 170 como se muestra en las figuras 14 y 15, respectivamente. Cabe destacar que en la figura 13, se ilustra un casquillo 40, mientras que la capa de transición 102 no se muestra. En particular, las varillas de fibra de vidrio pultrusionadas pueden ser de un solo calibre, como se
20 muestra, por ejemplo, en la figura 14 o en una combinación de calibres, como se muestra en la figura 15. En todos los casos, los listones 148 permiten generar una forma de sección transversal deseada del cuerpo de inserto 108 antes de un paso de envolver y/o moldear para seguir formando el inserto 105. Los listones dispuestos longitudinalmente 148 también dan resistencia estructural al cuerpo de inserto 108. En realizaciones, los listones 148 pueden ser porosos y capaces de ser infundidos con resina. En una realización (no mostrada), los listones se pueden formar colocando
25 tramos de cuerda junto al casquillo 40, preferiblemente a lo largo de la capa de transición 102 y adyacentes a la misma.

Como se muestra en el ejemplo de la figura 13, las preformas 150 pueden tener una sección transversal deltoides con una cara interior cilíndrica cóncava 151. Los deltoides pueden adaptarse aproximadamente al contorno exterior cilíndrico convexo de una capa de transición 102 (véase, por ejemplo, la figura 6b) y un par de caras exteriores 152
30 que se encuentran en una esquina o borde convexo o exterior 153. En las realizaciones, una preforma 150 puede estar hecha de material fibroso pultrusionado en una matriz de resina. Como alternativa, en las realizaciones, una preforma 150 puede comprender un material de fibra pultrusionada "en seco" que contiene material aglutinante pero no resina, por lo que permanece poroso. El material fibroso "en seco" se puede estirar recubriendo las fibras en el material aglutinante, o añadiendo material aglutinante en polvo al material fibroso, y luego tirando de ellas a través de
35 una matriz calentada que tenga la sección transversal deltoides requerida. El material aglutinante mantiene unidas las fibras de manera que la preforma 150 retiene la sección transversal del deltoides. En el contexto de los deltoides, o preformas, el término "fibra" pretende designar material filamentosos tal como material filamentosos continuo tal como fibra de vidrio o fibra de carbono u otro material filamentosos extrudido tal como material polimérico filamentosos.

40 En la figura 13 o la figura 6b, el inserto se muestra con cuatro listones fibrosos 148 en forma de preformas pultrusionadas 150. Cada preforma 150 tiene preferiblemente una sección transversal deltoides con una cara interna cóncava 151 que se encuentra adyacente, y, preferiblemente, puede estar en contacto con la capa de transición 102. Cabe destacar que, con fines ilustrativos, la capa de transición 102 no se muestra en la figura 13, para permitir que se vea la superficie exterior ranurada del casquillo. Cabe destacar también que, en esta solución, las ranuras en la
45 superficie exterior se muestran casi hasta el extremo de la raíz del buje, a diferencia de la figura 6a, en la que la región de extremo 61 del casquillo no tiene ranuras.

El par de caras exteriores 152 se encuentran en una esquina exterior 153 de la preforma del deltoides 150. Cada preforma 150 puede tener una sección transversal idéntica. De esta forma, las preformas deltoides 150 dan al cuerpo de inserto 108 una sección transversal cuadrada. En el ejemplo alternativo de la figura 14, el cuerpo de inserto 108
50 puede tener solo dos listones 148, cada uno en forma de una mitad de reloj de arena, que tiene dos lóbulos deltoides.

Una pluralidad de varillas pultrusionadas 160 o 170 pueden agregarse o ensamblarse conjuntamente en una forma aproximada de deltoides. En una realización, como se muestra en la figura 14, las varillas pultrusionadas 160 que
55 pueden ser del mismo calibre pueden agregarse para formar formas deltoides que se extienden longitudinalmente. Estas varillas agregadas 160 pueden colocarse luego junto a un casquillo envuelto 40 para generar un cuerpo de inserto 108 que tenga la forma de sección transversal deseada y que tenga las propiedades estructurales deseadas.

En realizaciones adicionales (no mostradas) pueden usarse tramos de cuerda para formar los listones 148 en lugar de preformas pultrusionadas 150 o varillas 160, 170. Dicha cuerda puede ser porosa. Las longitudes de la cuerda se
60 pueden colocar aproximadamente como se ilustra en la realización de la figura 14, aunque puede ser preferible utilizar un solo cable de mayor calibre que, según lo requerido, puede tener forma de deltoides, ocupando el espacio correspondiente a lo largo de un casquillo envuelto 40.

65 El uso de cuatro listones fibrosos separados 148 (como en la figura 13) puede preferirse a dos listones 148 como en la figura 14, ya que se pueden mover independientemente para adaptarse mejor alrededor de un casquillo 40 y

proporcionar un efecto de "cuña" que puede mejorar la consolidación en el producto moldeado final.

La figura 15 ilustra otro listón fibroso deltoides alternativo 148, en este caso formado por un conjunto de varillas de fibra de vidrio porosa 170 que tienen áreas de sección transversal circular variables para que formen la sección transversal del deltoides requerida. Las varillas 170 se pueden estabilizar uniéndolas a una malla 171 envuelta alrededor de la capa de transición, o colocándolas en un molde y uniéndolas juntas en ubicaciones discretas. Las secciones transversales se aproximan a una forma deltoides, por lo que los listones le dan a la pieza una sección transversal cuadrada. De acuerdo con la realización ilustrada en la figura 15, una varilla pultrusionada de gran calibre 170 puede colocarse en una posición de esquina que se extiende longitudinalmente de un cuerpo de inserto 108. Las varillas pultrusionadas de menor calibre 170 pueden colocarse en regiones de flanco adyacentes a la varilla de esquina 170. En algunas realizaciones, las varillas flanqueantes también pueden ser de calibre variable. Las varillas flanqueantes 170 pueden disminuir en tamaño de sección transversal en una dirección que se aleja de una varilla de esquina 170 de mayor calibre.

Una ventaja de usar cuerdas o varillas 160, 170 para los listones 148, en comparación con el uso de preformas pultrusionadas 150, es que las cuerdas o varillas 160, 170, al ser productos fácilmente disponibles, se pueden conseguir a bajo coste y no requieren un troquel de pultrusión a medida.

Los listones 148 pueden extenderse a lo largo de toda la longitud del casquillo y el núcleo 62, cubriendo no solo la capa de transición 102, sino también la región de extremo 61 del casquillo. Como alternativa, los listones 148 pueden terminar en el extremo de la región del cuerpo 59 donde la región del cuerpo 59 se encuentra con la región del extremo 61. En consecuencia, las tapas de extremo de una pieza (expuestas a continuación con referencia a la figura 31) pueden colocarse sobre las regiones de extremo 61, teniendo las tapas de los extremos el perfil exterior cuadrado o trapezoidal requerido del cuerpo de inserto 108.

El perfil cilíndrico del estrato más externo 89 de la capa de transición 102 asegura una superficie de conexión suave para interactuar con los listones deltoides 148 descritos anteriormente. Después de colocar los listones 148, una capa de cubierta exterior 186 (que se muestra en la figura 6b) compuesta por láminas de material fibroso 164 puede envolverse alrededor del conjunto, para así unir el conjunto de los listones 148 y el casquillo envuelto 40. La capa exterior de la cubierta 186 puede formar así una región exterior del cuerpo de inserto 108. Las láminas fibrosas 164 de la capa exterior 186 pueden comprender fibras unidireccionales o capas de fibras biaxiales o triaxiales. El material laminar fibroso de la capa de cubierta exterior 186 puede tener opcionalmente un peso base más alto que uno o más de los estratos 98 de la capa de transición 102 alrededor del casquillo 40. Como alternativa, el material laminar fibroso de la capa exterior 186 puede ser opcionalmente del mismo material o tipo que uno o más de los estratos 98 de la capa de transición 102 alrededor del casquillo 40. Opcionalmente, el material laminar fibroso 164 de la capa de cubierta exterior 186 se puede aplicar desenrollando el material 164 del carrete 136 y girando el husillo 167 un número requerido de vueltas. En las realizaciones, se puede aplicar una sola vuelta, aunque se puede preferir aplicar dos o tres o más vueltas del material laminar 164 para formar el estrato externo 186. Por último, la capa de cubierta exterior 186 se puede asegurar en su lugar enrollando material filamentosos 131 a su alrededor, como se muestra en la figura 12. El haz de filamentos 131 alrededor de la capa de cubierta exterior 186 puede ser del mismo tipo o de un tipo diferente que el material de filamentos 131 de los devanados 80 sobre los estratos 98 de la capa de transición 102. Opcionalmente, se puede enrollar estopa de fibra de carbono 12 M alrededor de los listones deltoides 148 antes de que se apliquen las láminas de la capa exterior 186, para sujetar los listones 148 al casquillo 40 y al núcleo 62.

Una vez que se ha completado el proceso de enrollado del material laminar fibroso 164 y el material filamentosos 131 alrededor de los casquillos 40 y el núcleo 62, el conjunto final 120 que se muestra en la figura 12 puede luego retirarse de los cojinetes 130.

Como se muestra en la figura 6a, el casquillo 40 puede tener un tapón 75 que bloquea su orificio interno 109. Opcionalmente, el tapón 75 se puede colocar entre el rebaje troncocónico 65 y el orificio 109. El tapón 75 puede evitar que el material de matriz fluya desde el rebaje 66 hacia el orificio 109 durante el proceso de infusión. Opcionalmente, el tapón 75 puede ser integral con el casquillo. Como alternativa, el tapón se puede agregar como un elemento separado en el orificio 109.

Cada preforma pultrusionada 150 en el conjunto 120 puede comprender un material de fibra "en seco" que contiene material aglutinante, pero no resina, por lo que es poroso y se infunde con resina epoxi en el molde de infusión. En una realización alternativa, cada preforma pultrusionada 150 en el conjunto 120 puede suministrarse como un material compuesto reforzado con fibra curado, tal como un material fibroso en una resina de éster de vinilo curada.

Después de haber sido moldeado en la cavidad del molde y curado, el producto intermedio que se muestra en las figuras 17-20 se puede retirar del molde de infusión. El producto intermedio de las figuras 17-20 se denomina a continuación como pieza en bruto 190. Las paredes 182, 183, 185 de la cavidad del molde pueden dar a la pieza en bruto 190 un perfil exterior deseado, un ejemplo de lo cual se muestra en las figuras 17-20. Cabe señalar que en las figuras 17-20 y a lo largo de esta memoria descriptiva, el ángulo de arrastre, es decir el ángulo de convergencia de las caras laterales 343, 344 de la pieza en bruto 190, en sus respectivas caras de extremo 312a, 312b es muy exagerado, por motivos de claridad. En la práctica, la desviación de un ángulo recto puede ser del orden de uno o dos grados,

entre ambas caras laterales 343, 344.

El propósito de fabricar insertos 105, mediante el método de colocar dos casquillos 40 en cada extremo de un material de núcleo longitudinal 62 para formar un husillo 167, consiste en optimizar y racionalizar el proceso de formación de los insertos 105. El proceso está optimizado porque permite hacer dos insertos 105 a partir de una sola pieza en bruto 190, dividiendo la pieza en bruto de dos extremos 190 en dos partes, para formar dos insertos. En otras palabras, se puede usar un solo proceso de moldeo o formación de una pieza en bruto 190 para hacer dos insertos 105. Al usar el proceso de RTM para formar las piezas en bruto 190, surge el problema de que es difícil obtener la forma óptima de los insertos 105 mediante este método. Es posible obtener un prisma rectangular por moldeo de RTM, aunque puede ser difícil extraer un prisma moldeado paralelo de su molde de RTM sin usar un inserto de molde extraíble, en forma de una porción de pared lateral desmontable que se puede estrechar para permitir su extracción del molde junto con la pieza en bruto moldeada. A continuación, la pieza en bruto moldeada puede liberarse del inserto de molde desmontable fuera del molde. Se puede utilizar la misma técnica cuando se moldean piezas con muescas. Pero el uso de una porción de pared removible de un molde crea dificultades cuando se trabaja con técnicas de infusión de resina, porque la resina tiende a pegar entre sí los elementos del molde supuestamente desmontables, o a obstruir los elementos del molde separables. En cualquier caso, incluso si se moldeara una forma de prisma rectangular de lados paralelos para formar una pieza en bruto de dos extremos 190, las inserciones 105 generadas a partir de una pieza en bruto de este tipo tendrían que mecanizarse en una forma ligeramente trapezoidal para permitir la creación de una disposición circular de las inserciones 105 alrededor de la raíz de una pala, cuando estos insertos 105 se unen el uno al lado del otro como en la figura 4. Es posible moldear una forma de prisma en forma de trapezoide, cuyos lados inclinados permitirían la extracción de un molde de RTM. Pero si se va a dividir un prisma trapezoidal en dos insertos idénticos 105, la división solo puede ser por medio de una bisección de la extensión longitudinal de la pieza en bruto 190. En el caso de los insertos de raíz 105, esto genera una forma subóptima para el proceso de fabricación y para los insertos colocados 105 en una raíz de pala 20. En particular, es deseable proporcionar insertos que muestren una parte cónica, estrechándose hacia abajo en una dirección que se aleja de la cara de la raíz de una pala de turbina eólica. Esta forma cónica de un inserto 105 permite una transferencia de carga más gradual entre un inserto 105 y el material compuesto de la carcasa de la pala de la turbina eólica 27. La creación de un inserto cónico a partir de una pieza en bruto de dos extremos 190 requiere preferiblemente que se haga un corte diagonal a través de la pieza en bruto 190, dividiendo el blanco 109 en dos insertos idénticos 105. Cuando un blanco 190 tiene la forma de un prisma rectangular, dicho corte diagonal genera dos insertos idénticos 105. Por otro lado, si la pieza en bruto tiene la forma de un trapezoide, los dos insertos 105 generados a partir de un corte de sección diagonal no serán idénticos, como en un zapato izquierdo y derecho, o similares. Esto significa que, cuando se forma un círculo a partir de los insertos trapezoidales cónicos 105 dispuestos el uno al lado del otro, un conjunto de insertos dejará las caras ahusadas orientadas en una dirección opuesta a la orientación de las caras ahusadas del otro conjunto de insertos. En otras palabras, un conjunto de inserciones sería inutilizable. En cualquier caso, ya sea moldura de piezas en bruto rectangulares o trapezoidales 190, sería necesario realizar un paso de mecanizado adicional en las inserciones 105 seccionadas para generar inserciones 105 que puedan acoplarse entre sí para crear un círculo de inserciones 105 que tengan una geometría consistente. Para superar este problema, se sugiere generar la pieza en bruto 190 en forma de doble trapezoide. Esta pieza en bruto 190 con forma de doble trapezoide permite la creación de dos insertos cónicos 105 idénticos que tienen cada uno una sección transversal ligeramente trapezoidal, simplemente seccionando diagonalmente la pieza en bruto 190. Dichos insertos 105 pueden colocarse en una porción de raíz 20 de una pala de turbina eólica 18 sin más mecanizado y, preferiblemente, sin requerir la inserción de cuñas en forma de cuña entre insertos adyacentes 105. Una pieza en bruto de doble trapezoide 190 tiene una forma ventajosa, permitiéndole dividirse en dos insertos idénticos o casi idénticos 105. Los aspectos de la presente invención pueden incluir un proceso para hacer dicha pieza en bruto 190, proceso que se adapta de ciertas maneras, así como aspectos de la propia pieza en bruto.

La figura 32 muestra una pieza en bruto alargada compuesta 190 que tiene un cuerpo de pieza en bruto alargada 300. El cuerpo de pieza en bruto 300 se extiende longitudinalmente alrededor de un eje longitudinal (no dibujado) entre las caras de extremo trapezoidales 312a, 312b. Las caras de extremo ilustradas incluyen una primera cara de extremo 312a y una segunda cara de extremo 312b. Cada cara de extremo 312a, 312b está delimitada por aristas que definen su forma trapezoidal. Una primera cara frontal 312a comprende dos bordes paralelos opuestos: un primer, borde de extremo menor 361a y un segundo, borde de extremo mayor 362a. La primera cara de extremo 312a comprende dos bordes laterales opuestos no paralelos o de longitud igual o casi equivalente: un tercer borde lateral 363a y un cuarto borde lateral 364a. Una segunda cara de extremo 312b comprende dos bordes paralelos opuestos: un primer borde de extremo mayor 361b y un segundo borde de extremo menor 362b. La segunda cara frontal 312b comprende dos bordes laterales opuestos no paralelos: un tercer borde lateral 363b y un cuarto borde lateral 364b. El cuerpo de pieza en bruto 300 tiene cuatro caras periféricas, longitudinales, principales que incluyen una primera cara periférica 341, una segunda cara periférica 342, una tercera cara periférica 343 y una cuarta cara periférica 344. Cada una de dichas caras periféricas 341-344 se extiende en una dirección longitudinal de la pieza en bruto 190. Cada una de dichas caras longitudinales 341-344 conecta pares correspondientes de bordes laterales 361a y b; 362a y b; 363a y b; 364a y b. Dicha primera cara periférica 361, se une a un primer borde de extremo menor 361a con un segundo borde de extremo mayor 361b; dicha segunda cara periférica 362, se une a un primer borde de extremo mayor 362a con un segundo borde de extremo menor 362b; dicha tercera cara periférica 363 se une a un tercer borde lateral 363a con una primera cara frontal 312a con un tercer borde lateral 363b de una segunda cara frontal 312b; dicha cuarta cara periférica 364 se une a un cuarto borde lateral 364a de una primera cara frontal 312a con un cuarto borde lateral 364b de una

segunda cara frontal 312b. En la realización ilustrada en la figura 32, el cuerpo de pieza en bruto 300 define una parte de transición de la pieza en bruto 190, a lo largo de la cual la sección transversal de la pieza en bruto 190 pasa de una forma trapezoidal en un primer extremo 312a de la región de transición a una forma trapezoidal invertida en un segundo extremo 312b de la parte de transición 200. En la realización de la figura 32, la parte de transición 200 se extiende entre las caras de extremo 312a, 312b de la pieza en bruto 190. En otras realizaciones, una porción de transición 200 puede comenzar y terminar longitudinalmente en el interior de dichas caras de extremo 312a, 312b, entre las porciones de extremo 192a, 192b del cuerpo de pieza en bruto 300. Las caras periféricas primera y segunda 341, 342 de la pieza en bruto 190 pueden ser planas; preferiblemente planas y paralelas; preferiblemente también planas. La tercera cara lateral 343 y la cuarta cara lateral 344 pueden ser predominantemente planas, aunque no estrictamente. La tercera cara lateral 343 y la cuarta cara lateral 344 puede ser predominantemente plana y ligeramente curvada o arqueada. Partes de las caras laterales 343, 344 pueden ser planas. En particular, las caras laterales 343, 344 pueden comprender más de una cara plana. La parte de transición 200 puede tener una sección transversal variable a lo largo de su longitud. La porción de transición puede tener una sección transversal generalmente cuadrilátera a lo largo de su longitud. Una sección transversal de la parte de transición 200 puede incluir bordes rectores superior e inferior paralelos y bordes laterales no paralelos. Los bordes laterales de una sección transversal a través de la parte de transición 200 pueden ser parcialmente cóncavos o ligeramente cóncavos. Cada porción de extremo 192a y 192b puede comprender un casquillo incrustado respectivo (no mostrado). La sección transversal trapezoidal de la primera porción de extremo 192a está invertida con respecto a la sección transversal cuadrilátera de la segunda porción de extremo 192b. Las caras superior e inferior 341, 342 del cuerpo en bruto 200 pueden ser trapecios planos y paralelos, que se estrechan en direcciones opuestas. Las caras laterales 343, 344 pueden ser superficies continuamente curvadas no planas que giran a lo largo de la pieza en bruto. La pieza en bruto 190 que se muestra en la figura 32 se puede dividir en partes iguales, en particular, para formar dos insertos 105 de igual dimensión. Un plano de bisección puede pasar transversalmente a través de la pieza en bruto 190. El plano de bisección puede cruzarse diagonalmente con las caras laterales 343, 344. El plano de bisección puede intersectarse en una línea recta transversal con las caras superior e inferior 341, 342. Cada inserto puede extenderse desde un extremo de cara de raíz 232 hasta un extremo de incrustación 236.

En una realización alternativa y con referencia a las figuras 17-20, la pieza en bruto 190 tiene preferiblemente la forma aproximada de un prisma. La pieza en bruto 190, además de su parte de transición 200, también puede comprender un par de partes de extremo 192a y 192b, siendo unas porciones de extremo respectivas primera 192a y una segunda 192b. Cada porción de extremo 192a y 192b puede contener un casquillo 40 respectivo. Cada porción de extremo 192a o b tiene preferiblemente cuatro caras periféricas que se encuentran en cuatro bordes o esquinas para formar preferiblemente una sección transversal ligeramente trapezoidal. De este modo, por ejemplo, las caras de la primera porción de extremo 192a pueden comprender una cara principal respectiva de la primera porción de extremo 194a; una primera cara menor de la porción de extremo 196a; y un par de caras laterales de la primera porción de extremo 198a. Por otro lado, las caras de la segunda porción de extremo 192b pueden comprender una cara principal de la segunda porción de extremo 194b; una cara menor 196b de la segunda porción de extremo; y un par de caras laterales de la segunda porción de extremo 198b. Cabe destacar que el grado de convergencia del ángulo subtendido por las caras laterales de la porción de extremo 198a y 198b está exagerado en las figuras 17-23 para enfatizar la forma trapezoidal de esa parte de la pieza en bruto 190. Preferiblemente, todas las caras periféricas de las porciones de extremo 192a, 192b se extienden en paralelo a un eje longitudinal a través de dicha pieza en bruto 190.

En un extremo primero o segundo respectivo de la pieza en bruto 190, cada una de dichas caras principales 194a o b de la pieza en bruto 190 es más ancha que su cara menor asociada 196a o b. Como se muestra más claramente al comparar la figura 21 con la figura 23, la sección transversal trapezoidal de la primera porción de extremo 192a de la pieza en bruto 190 está invertida con respecto a la sección transversal trapezoidal de su segunda porción de extremo 192b. Entonces, la cara principal 194a de la primera porción de extremo 192a (que se muestra en la figura 23) está en la cara inferior 342 de la pieza en bruto, mientras que la cara mayor 194b de la segunda porción de extremo 192b (que se muestra en la figura 21) está en su cara superior 341. De igual manera, dicha cara menor 196a de la primera porción de extremo 192a está en la cara superior de la pieza en bruto 341, mientras que dicha cara menor 196b de la segunda porción de extremo 192b está en su cara inferior 342.

En las realizaciones, una porción de transición 200 puede extenderse entre las dos porciones de extremo 192a, b de la pieza en bruto 190. Como se ha mencionado anteriormente, cada porción de extremo 192a y 192b puede contener un casquillo respectivo 40 y la sección transversal trapezoidal de cada porción de extremo 192a, b preferiblemente no varía a lo largo de la dirección longitudinal de la pieza en bruto, en otras palabras, cada porción de extremo tiene una forma prismática de lados paralelos. La porción de transición 200, por otro lado, tiene una forma de sección transversal que preferiblemente varía continuamente a lo largo de la dirección longitudinal de la pieza en bruto. Por lo tanto, en la realización de las figuras 17-23, la región de transición 200 define la parte de la pieza en bruto 190 a lo largo de la cual hay una transición de forma entre las formas transversales trapezoidales mutuamente invertidas de la primera porción 192a y la segunda porción 192b.

La porción de transición 200 puede comprender un par de caras laterales opuestas 343, 344, cada uno de los cuales se encuentra con una respectiva cara lateral 198a y 198b de la porción de extremo en cada una de las porciones de extremo 192a y 192b. Una de las caras laterales 343 de la parte de transición 200 se muestra en la figura 17 y la cara lateral opuesta correspondiente 344 se muestra en la figura 18. Cada cara lateral 343, 344 de la parte de transición

200 de la pieza en bruto 190 puede ser lisa, continua. Como alternativa, cada una de dichas caras laterales puede comprender múltiples facetas planas. Por ejemplo, una cara lateral 343, 344 de una región de transición 200 puede tener dos caras triangulares planas 202a, b. De acuerdo con esta realización, las facetas superiores 202b pueden encontrarse con las facetas inferiores 202a en un borde diagonal o esquina 204. La pieza en bruto 190 de la figura 17 se puede cortar en un par de insertos coincidentes cortando a lo largo de un borde diagonal 204 a lo largo de una cara lateral 343, 344.

La porción de transición 200 tiene una cara superior preferiblemente plana 206b que se muestra desde arriba en la figura 19 que se encuentra con la cara principal de la segunda porción de extremo 194b y la cara menor de la primera región de extremo 196a de las porciones de extremo 192a, 192b; y una cara inferior preferiblemente plana 206a que se muestra desde abajo en la figura 20 que se encuentra con la cara menor de la segunda porción de extremo 196b y la cara mayor de la primera porción de extremo 194a de las porciones de extremo 192a, 192b.

Las figuras 21 a 23 muestran cómo la sección transversal de la pieza en bruto 190 puede cambiar a lo largo de su longitud. En el punto medio, la sección transversal tiene un perfil entallado que se muestra en la figura 22 con el borde diagonal o esquina 204 en un punto medio entre la superficie superior 206b y una superficie inferior 206a.

Ahora se describirá un inserto 105 que se muestra en las figuras 24-26, utilizando los mismos números de referencia que la pieza en bruto 190 a partir de la cual se puede cortar. El inserto ilustrado 105 se extiende desde un extremo de cara de raíz 232 hasta un extremo de incrustación 236. Tiene una porción de extremo de raíz 192a con caras que forman una sección transversal trapezoidal, las caras que comprenden una cara mayor 194a, una cara menor 196a y un par de caras laterales en ángulo 198a. La cara mayor 194a es más ancha que la cara menor 196a. Cuando se integra en una pala de turbina eólica 20, la cara mayor 194a está en el exterior del anillo de insertos 105 y la cara menor 196a está en el interior. El inserto 105 también tiene una porción de extensión 200a, formada a partir de la mitad inferior de la parte de transición 200 de la pieza en bruto 190, que se estrecha hacia dentro tanto en altura como en anchura a medida que se extiende alejándose de la parte de extremo hasta una punta puntiaguda 224a. La porción de extensión 200a tiene una cara exterior 206a (mostrada en la figura 25) que se encuentra con la cara mayor 194a de la porción de extremo; una cara interior cortada 226a (figuras 24 y 26) que se encuentra con la cara menor 196a de la porción de extremo en un borde; y un par de caras laterales triangulares 202a. Las caras laterales triangulares 202a se pueden formar a partir de las caras inferiores de las caras laterales 343, 344 de la pieza en bruto 190. Aunque el inserto 105 ilustrado en la figura 24 se muestra con una región de extremo 192a que tiene todos los lados periféricos paralelos a su eje longitudinal, que también pueden ser paralelos a un eje longitudinal de un casquillo 40 incrustado en él.

Como se muestra en la figura 25, el inserto 105 puede exhibir una dimensión de ancho máximo W1 en su extremo de cara de raíz 232, mayor que una dimensión de ancho máximo W2 en su extremo de incrustación 236. El inserto puede reducir uniformemente su ancho de W1 a W2 a medida que se extiende alejándose de la cara del extremo de la raíz 323, hacia el extremo de incrustación 236, en su punta 224. Como alternativa, la cara exterior 206a de una porción de extensión 200a puede tener un ancho que se reduce uniformemente de W1 a W2 a medida que se extiende desde la porción de extremo 192a hasta la punta 224a.

El inserto 105 tiene una altura H1 entre sus caras superior e inferior 341, 342. La altura H1 en un extremo de cara de raíz 232 puede reducirse progresivamente a cero en un extremo de incrustación 236. En realizaciones alternativas, como se muestra en la figura 26, la altura H1 en una porción de extremo 192a, entre las caras exterior e interior 206a, 226a puede reducirse uniformemente de H1 a cero a medida que se extiende alejándose de la porción de extremo 192a hacia la punta 224a de la porción de extensión 192a.

Como se ha descrito anteriormente con referencia a la figura 4, un inserto 220a puede integrarse en una raíz de pala 20 entre las paredes de material compuesto de fibra de vidrio 41 y 42 con sus caras exteriores 194a, 206a unidas a la pared exterior compuesta 41 y sus caras interiores 196a, 226a unidas a la pared compuesta interior 42. El ángulo de conicidad entre las caras exterior e interior 206a, 226a de la porción de extensión del inserto puede ser de entre 2 grados y 20 grados; preferiblemente entre aproximadamente 2 grados y aproximadamente 15 grados; preferiblemente entre aproximadamente 2 grados y aproximadamente 10 grados; preferiblemente entre aproximadamente 3 grados y aproximadamente 10 grados; preferiblemente entre aproximadamente 4 grados y aproximadamente 8 grados. En una realización, el ángulo de conicidad entre las caras exterior e interior 206a, 226a de la porción de extensión del inserto puede ser de aproximadamente $\arctan(0,1)$, es decir, de aproximadamente 6° (cabe destacar que este ángulo de conicidad está exagerado en la figura 26). Este bajo ángulo de conicidad significa que los estratos de la pared compuesta interna 42 pueden caerse gradualmente. Esto puede resultar en una baja concentración de tensión cuando las cargas se transfieren entre un inserto 220a y una pala 20. Por ejemplo, se pueden dejar caer unos cinco o diez o más estratos a lo largo de la cara interior en ángulo 226a.

Preferiblemente, los elementos ensamblados para hacer una pieza en bruto 190 pueden colocarse en un molde de infusión de moldeo por transferencia de resina (RTM), un ejemplo de lo cual se muestra en la figura 16. El molde de infusión ilustrado 250 puede comprender una base 180 con paredes laterales opuestas 182, un suelo 185 y una tapa 181, que definen conjuntamente una cavidad de molde. La tapa 181 puede tener una superficie superior moldeada 183 opuesta al suelo 185. La figura 16 muestra las dos partes 180, 181 del molde 250 que contiene un conjunto de

- inserción 120. Después de colocar la tapa 181, se inyecta un material de matriz (como resina epoxi) en el molde de infusión 250 para que el material de matriz se infunda a través del material fibroso poroso que forma la capa de transición 102, alrededor o a través de los listones 148 y la capa exterior 186. El conjunto 120 adopta así el perfil de la cavidad del molde. Todavía con referencia a la figura 16: el suelo 185 de la base 180 y la superficie de moldeo 183 de la tapa 181 pueden contactar y moldear las caras laterales 343 y 344 de la pieza en bruto 190. Las paredes laterales 182 de la base pueden contactar y moldear su cara superior 341 (o incluyendo 194a, 206a, 196b) y su cara inferior 342 (o incluyendo 196a, 206b, 194b). Cabe destacar que los ángulos de las superficies superior e inferior 183, 185 pueden estar exagerados en la figura 16 con fines ilustrativos.
- En la pieza en bruto 190 terminada, las caras superior e inferior 341, 342 pueden ser paralelas, en cumplimiento de la sección transversal trapezoidal de las porciones de extremo de una pieza en bruto 190. Sin embargo, para moldear la pieza en bruto en un molde rebajado que tiene paredes laterales opuestas 182 fijadas y una superficie de suelo 185 fija, según la figura 16, es posible que las paredes laterales 182 de la base 180 deban formarse con un pequeño estiramiento en lugar de ser paralelas para permitir la extracción de la pieza moldeada 190 de la base del molde 180. Opcionalmente, la pieza en bruto 190 se puede mecanizar para eliminar el exceso de material causado por el pequeño no el arrastre divergente no paralelo, de modo que las caras superior e inferior 343, 344 se hagan paralelas para que las secciones transversales de las porciones de extremo 192a, b se vuelvan precisamente trapezoidales.
- Los cuatro listones 148 pueden ser preferiblemente similares o idénticos, por lo tanto, el perfil exterior del conjunto 120 puede ser cuadrado en lugar de trapezoidal cuando se ajusta al molde de infusión 180, como se muestra en la figura 16. Opcionalmente, se puede colocar una torsión o trenza de fibra de vidrio en la esquina inferior 188 de la base del molde 180 en la parte ancha de la sección trapezoidal, preferiblemente debajo de cualquier lámina de fibra de vidrio unidireccional que constituya la carcasa 186. De igual manera, se puede colocar una trenza o trenza de mecha de fibra de vidrio en la esquina superior 189 en la parte ancha de la sección trapezoidal. La mecha de vidrio se puede colocar debajo de una o más láminas de material laminar de fibra de vidrio unidireccional que forman la carcasa 186. Estos giros/trenzas dan al conjunto 120 una forma ligeramente trapezoidal antes del moldeo y fomentan una mayor conformidad en las esquinas del molde.
- Una vez que la pieza en bruto 190 ha sido curada y retirada del molde 250, se puede cortar diagonalmente en dos partes de igual dimensión. La provisión de una pieza en bruto 190 con una forma de doble trapecioide como la descrita en este documento, en donde un extremo trapezoidal 192a está invertido en relación con el otro extremo trapezoidal 192b, asegura que los dos insertos 105 que se forman como resultado de la bisección de la pieza en bruto 190 son de iguales dimensiones y sustancialmente idénticos. En las realizaciones, el corte puede llevarse a cabo a lo largo de los bordes diagonales 204 para proporcionar un par de insertos 105 coincidentes. Uno de los insertos 105 del par coincidente se muestra en las figuras 24-26.
- En la figura 27 se muestra un molde de infusión 250 alternativo para infundir y dar forma a la pieza en bruto 190 a partir de un conjunto 120. El molde 250 comprende unas partes de molde primera y segunda que se encuentran en una línea dividida 259: en concreto, una base 251 y una tapa 252. La base 251 tiene un par de caras de moldeo 254, 255 y la tapa 252 tiene un par de caras de moldeo 256, 257.
- A diferencia del molde de infusión de la figura 16, cada parte del molde 251, 252 contacta y moldea una cara lateral respectiva 343, 344 de la pieza en bruto 190, de modo que la cara de moldeo 255 de la base puede hacer contacto con una cara lateral 343, y la cara de moldeo 256 de la tapa, diagonalmente opuesta, puede hacer contacto con la otra cara lateral 344.
- A modo de ejemplo, la cara inferior 342 de la pieza en bruto 190 puede estar en contacto con la cara de moldeo 254 de la base 251; y la cara superior 341 de la pieza en bruto 190 puede estar en contacto con la cara de moldeo 257 diagonalmente opuesta de la tapa 252. La base 251 puede de este modo moldear tanto la cara menor 196b de la segunda porción de extremo como la cara mayor 194a de la primera porción de extremo, y la tapa 252 puede moldear la cara mayor 194b de la segunda porción de extremo y la cara menor 196a de la primera porción de extremo.
- La línea divisoria entre la base 251 y la tapa 252 coincide sustancialmente con una diagonal de la sección transversal cuadrilátera de la pieza en bruto 190, que es su dimensión máxima de la sección transversal. Esta disposición de molde dividido en diagonal tiene por lo tanto un ángulo de estirado intrínseco que permite que la pieza en bruto curada 190 se retire del molde en su forma final, sin requerir ningún mecanizado después de que se haya retirado del molde, a diferencia de la disposición de la figura 16. El molde dividido en diagonal elimina así la necesidad de un mecanizado adicional de la pieza en bruto o de los insertos antes de su uso en una disposición de raíz de pala 20.
- La cavidad de molde del molde dividido en diagonal 250 de la figura 27, por lo tanto, tiene preferiblemente una sección transversal trapezoidal en cada extremo, de modo que las porciones de extremo de la pieza en bruto moldeada y curada 190 tienen las secciones transversales trapezoidales descritas. En otra disposición de moldeo alternativa, la cavidad de molde del molde dividido en diagonal 250 de la figura 27 puede tener una forma de sección transversal cuadrada o rectangular en lugar de trapezoidal doble. La pieza en bruto moldeada y curada puede luego mecanizarse para darle la forma de doble trapecioide que se muestra en las figuras 17-23 antes de cortarla en diagonal para proporcionar el par de insertos coincidentes, aunque esta variante no es la preferida.

La figura 14 muestra una disposición de dos listones en la que cada listón 148 tiene opcionalmente un par de lóbulos. Los lóbulos se pueden formar a partir de preformas fibrosas pultrusionadas 150 o, p. ej., formadas por varillas de fibra de vidrio 160. Las figuras 28 y 29 muestran disposiciones de listones lobulados similares formadas a partir de preformas pultrusionadas 150. De acuerdo con una realización ilustrada en la figura 28, las dos preformas 150 pueden tener un primer y un segundo lóbulo unidos por una porción de conexión. Los listones lobulados 148 pueden estar dispuestos en lados opuestos de un conjunto 120, para formar parte del cuerpo 108 de un inserto 105. También como alternativa, como se muestra en la figura 29, los listones de dos lóbulos 148, en forma de preformas 150, pueden disponerse en la parte superior e inferior del conjunto 120. Cada lóbulo tiene preferiblemente una sección transversal deltoides con una cara interior cóncava que hace contacto con la capa de transición 102 y un par de caras exteriores 261 que se encuentran en una esquina convexa 262.

Los listones 148 pueden extenderse a lo largo de toda la longitud de un manguito y un núcleo 62 hasta el extremo de la raíz del manguito 40. La figura 30 muestra un ejemplo de una disposición de este tipo. En este caso, el casquillo 40 puede tener ondulaciones formadas en toda su longitud, a diferencia de la realización de la figura 6a en la que el casquillo tiene una región de extremo de raíz 61 con una superficie exterior cilíndrica lisa sin ondulaciones.

Puede ser deseable separar axialmente las funciones, por un lado, de transferir cargas entre un perno de conexión del buje y un casquillo 40 y, por otro lado, transferir cargas entre un casquillo 40 y un cuerpo de inserto 108. Por lo tanto, puede ser deseable desplazar axialmente la posición de una rosca 66 u otra característica de conexión dentro de un orificio 109 de un casquillo 40, de la capa de transición 102, que proporciona anclaje entre el casquillo y el cuerpo de inserto 108. Para tal fin, como se ha comentado, la capa de transición 102 puede terminar axialmente en el interior de una cara del extremo de la raíz de un casquillo 40. Al mismo tiempo, una rosca 66 u otra característica de conexión dentro de un orificio 109 puede colocarse en una región de extremo del casquillo 40 desplazada axialmente de la capa de transición 102. Al mismo tiempo, en las realizaciones, los listones 148 pueden terminar en el extremo de la región del cuerpo 59 donde se encuentra con la región del extremo 61. En particular, los listones 148 en el cuerpo 108 de un inserto en bruto 190 pueden terminar antes de un extremo de la cara de raíz 232 de un inserto o casquillo 40. En este caso, las tapas de extremo flexibles 310 de una pieza pueden colocarse sobre las regiones de extremo 61. Las tapas de extremo pueden tener, en particular, el perfil exterior cuadrado o trapezoidal requerido del cuerpo de inserto 108. En la figura 31 se muestra un ejemplo de una tapa de extremo 310 de este tipo. La tapa de extremo 310 ilustrada puede tener cuatro lóbulos de esquina 312 con la sección transversal deltoides requerida, y un orificio con una superficie interior cilíndrica lisa 311 que se apoya en la superficie exterior cilíndrica lisa de la región del extremo del casquillo 61. La tapa de extremo 310 puede evitar la entrada de agua o aceite en el cuerpo de inserto 108.

Preferiblemente, la tapa de extremo 310 se puede formar a partir de un material plástico de módulo bajo. Por ejemplo, la tapa de extremo 310 puede estar formada por un material con un módulo inferior a 1 GPa, que es mucho menor que el módulo de los listones 148 (típicamente del orden de 40 GPa). El módulo relativamente bajo de la tapa de extremo 310 asegura un campo de tensión simple con la ruta de carga principal desde la rosca interna 66 hacia los listones 148 a través de la región del cuerpo 59 y la capa de transición 102, y no a través de la tapa de extremo 310. La tapa de extremo 310 se puede pegar opcionalmente en su lugar.

La figura 33 muestra una pieza en bruto 190 con otra geometría alternativa. En la realización ilustrada en la figura 33, cada faceta triangular 202a, b puede extenderse solo a lo largo de la mitad de la longitud de la parte de transición 200 hasta un borde vertical 205.

Aunque la invención se ha descrito anteriormente con referencia a una o más realizaciones preferidas, se apreciará que se pueden realizar diversos cambios o modificaciones sin alejarse del alcance de la invención, tal y como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un inserto (105) para la raíz de pala de una turbina eólica, comprendiendo el inserto (105) un casquillo (40) incrustado en un cuerpo de inserto (108), teniendo dicho casquillo (40) un orificio roscado (66); **caracterizado por que** dicho cuerpo de inserto (108) comprende dos o más listones fibrosos (148) ajustados alrededor del casquillo (40), y cada listón (148) tiene una sección transversal deltoides, de modo que los listones (148) den al inserto (105) una sección transversal cuadrilátera.
2. Un inserto (105) de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende, además, una capa de transición fibrosa (102) entre dicho casquillo (40) y dicho cuerpo de inserto (108), en particular, entre dicho casquillo (40) y dichos listones (148).
3. Un inserto (105) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en donde dichos dos o más listones fibrosos (148) comprenden cuatro listones fibrosos (148).
4. Un inserto (105) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde dichos dos o más listones fibrosos (148) comprenden dos listones fibrosos (148) en forma de preformas pultrusionadas (150), teniendo cada preforma pultrusionada (150) un par de lóbulos, en donde cada lóbulo tiene una sección transversal deltoides.
5. Un inserto (105) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 que comprende, además, una cubierta exterior fibrosa (186) alrededor de los listones fibrosos (148).
6. Un inserto (105) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde cada listón (148) comprende una preforma pultrusionada (150); o un conjunto de varillas fibrosas (160, 170); o una cuerda.
7. Un inserto (105) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde el inserto (105) se extiende en dirección longitudinal, y los listones fibrosos (148) comprenden fibras que se extienden sustancialmente en dirección longitudinal.
8. Una pala de turbina eólica (18) que comprende: una raíz (20) y una punta (22), extendiéndose la pala de turbina eólica desde la raíz hasta la punta; y una pluralidad de insertos (105) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores incrustados en la raíz (20).
9. Un inserto (105) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, teniendo dicho casquillo (40) una superficie exterior con ranuras circunferenciales (68); y teniendo adicionalmente dicho inserto (105) una capa de transición (102) que comprende estratos fibrosos (98) que cubren la superficie exterior del casquillo, y devanados (80) sobre dichos estratos fibrosos (98), de modo que dichos estratos (98) sucesivos se alternen con dichos devanados (80), en donde cada capa fibrosa (98) está anclada a las ranuras (68) por un conjunto asociado de dichos devanados (80), y dicho cuerpo de inserto (108) rodea dicha capa de transición (102).
10. Un inserto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 o 9, en donde las ranuras circunferenciales son ranuras anulares circunferenciales.
11. Un inserto de acuerdo con la reivindicación 10, en donde las ranuras anulares circunferenciales se alternan con crestas anulares circunferenciales, y los devanados están formados por un material filamentososo con secciones de conexión del material filamentososo que se desplazan sobre las crestas anulares circunferenciales entre las ranuras anulares circunferenciales y conectan los devanados en ranuras anulares circunferenciales adyacentes.
12. Un método para fabricar un inserto (105) para la raíz de pala de una turbina eólica (20), comprendiendo el método: proporcionar un casquillo (40), en donde el casquillo (40) tiene un orificio roscado (66); ajustar dos o más listones fibrosos (148) alrededor del casquillo (40), en donde cada listón (148) tiene una sección transversal deltoides, de modo que los listones (148) den al inserto (105) una sección transversal cuadrilátera; colocar el casquillo (40) y los listones (148) en un molde de infusión (250); inyectar un material de matriz en el molde de infusión (250), de modo que el material de matriz infunda el inserto (105); y curar el material de matriz para formar un cuerpo de inserto (108) con un casquillo incrustado (40).
13. Un método de acuerdo con la reivindicación 12, en donde el molde de infusión (250) comprende unas partes de molde primera y segunda que se unen en una línea de división (259); y la línea de división (259) coincide con una diagonal de la sección transversal del cuadrilátero.
14. Un método de acuerdo con la reivindicación 12 o 13, que comprende, además, envolver una capa de transición fibrosa (102) alrededor del casquillo (40), de modo que los listones fibrosos (148) se ajusten alrededor de la capa de transición (102), en donde el material de matriz infunde la capa de transición fibrosa (102), de modo que dicha capa de transición (102) forme una interfaz entre dicho casquillo (40) y dicho cuerpo de inserto (108).
15. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, que comprende, además, envolver una

cubierta exterior fibrosa (186) alrededor de los listones fibrosos (148), en donde el material de matriz infunde la cubierta exterior fibrosa (186).

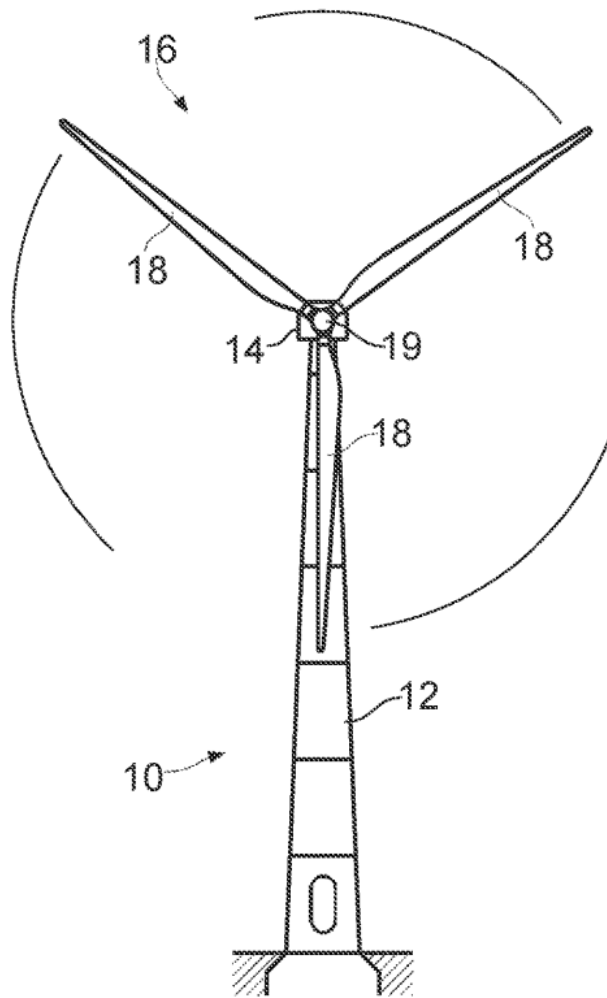


FIG. 1

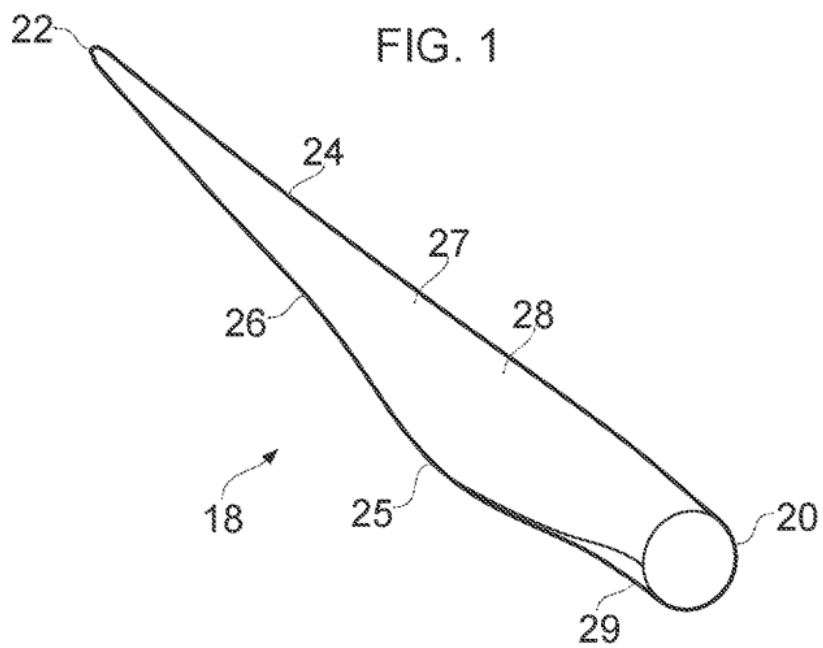


FIG. 2

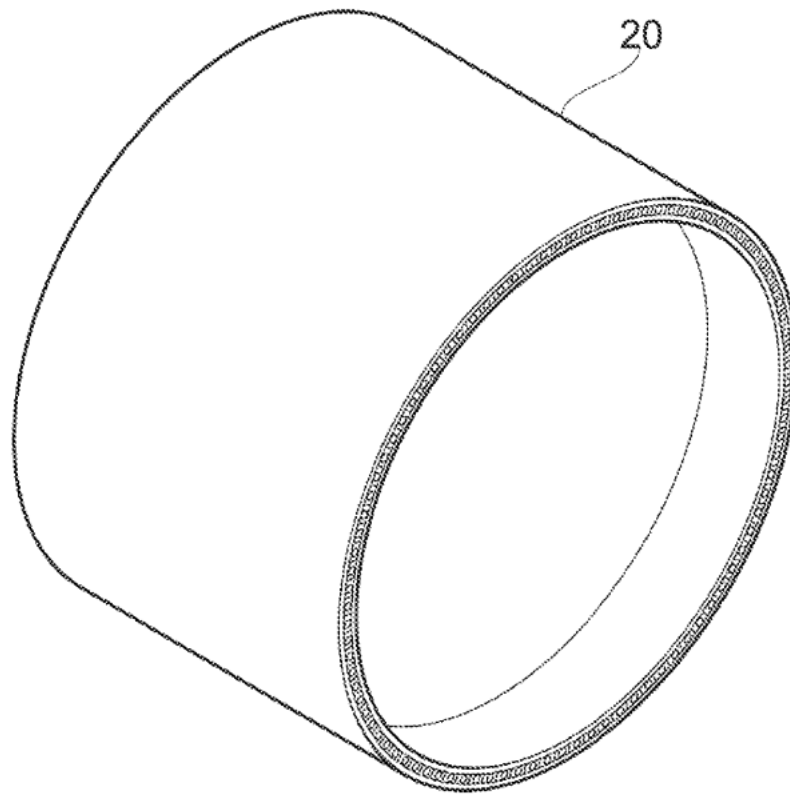


FIG. 3

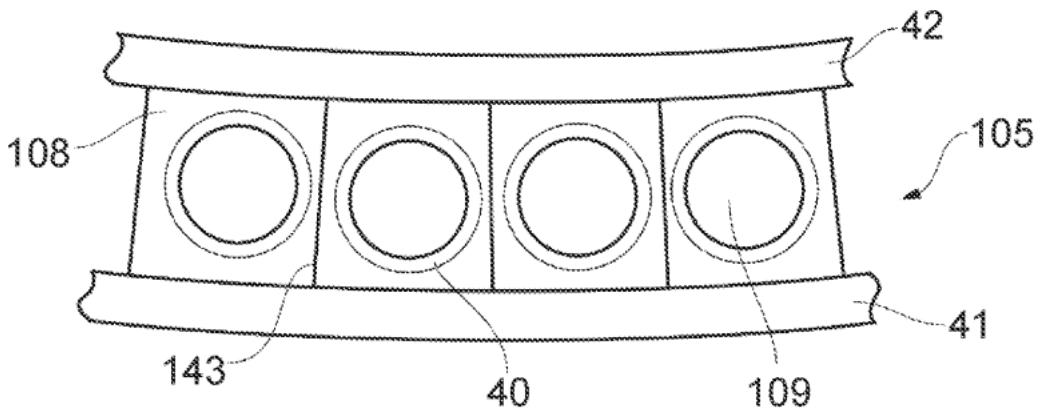


FIG. 4

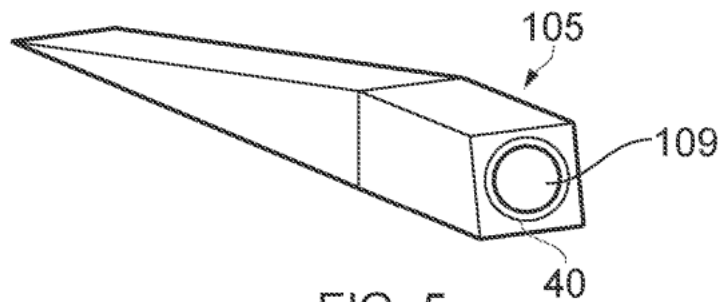


FIG. 5

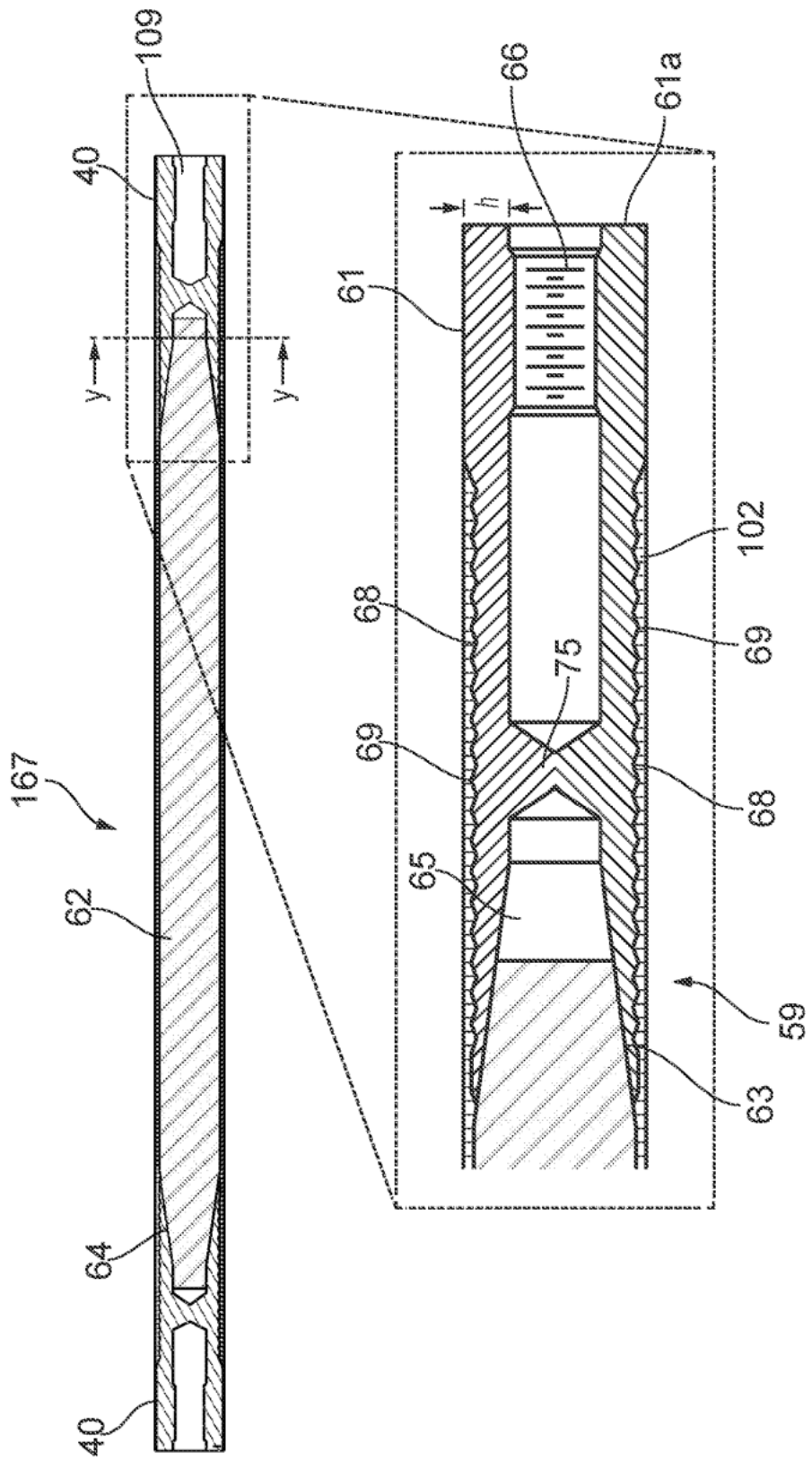


FIG. 6a

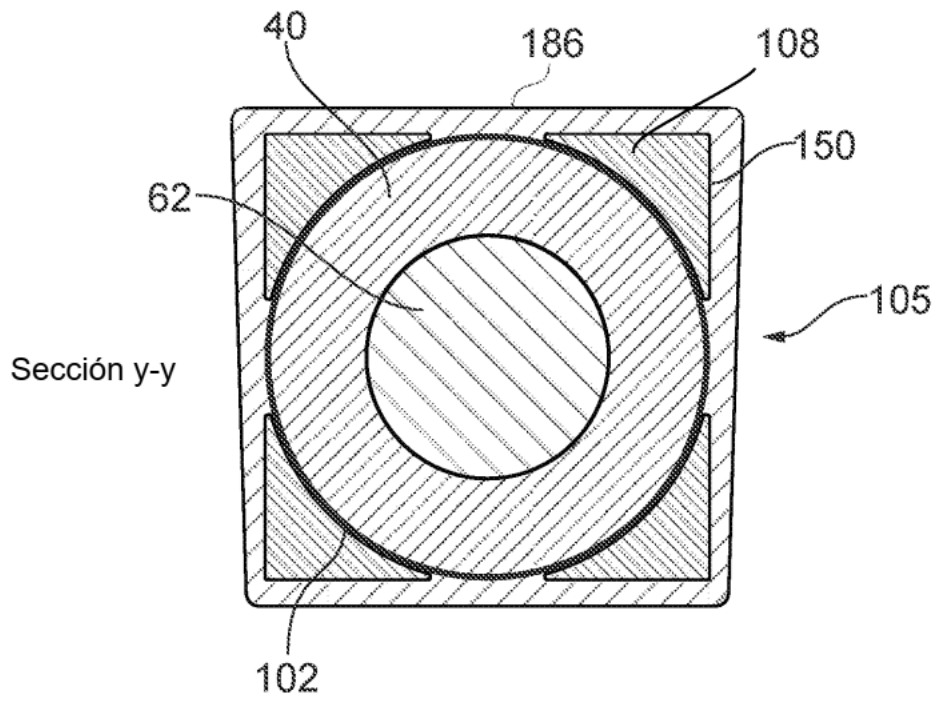


FIG. 6b

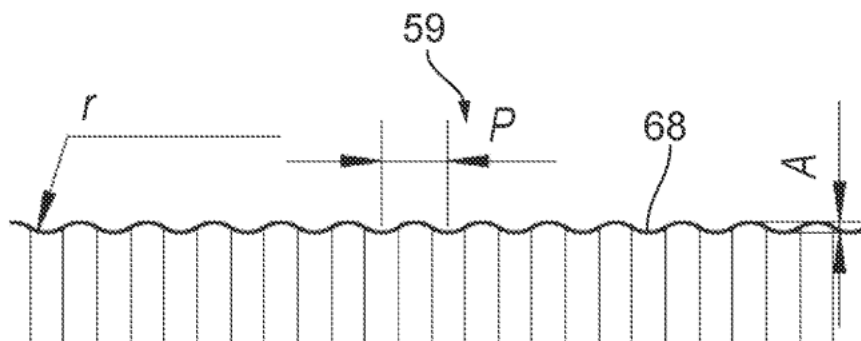


FIG. 6c

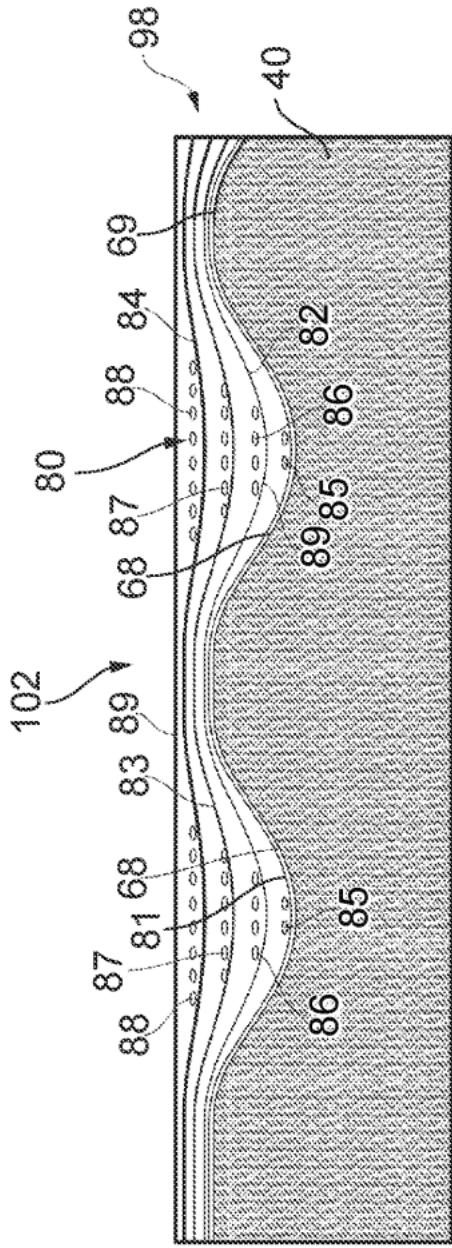


FIG. 8

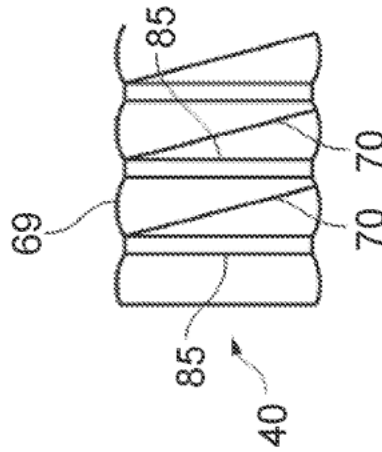


FIG. 7

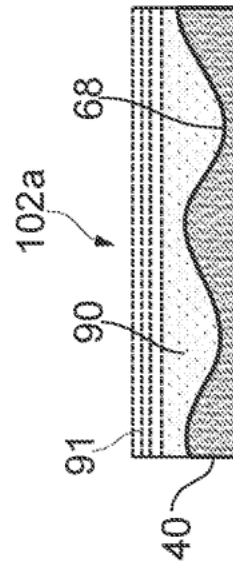


FIG. 9

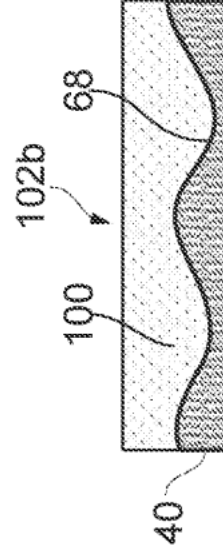


FIG. 10

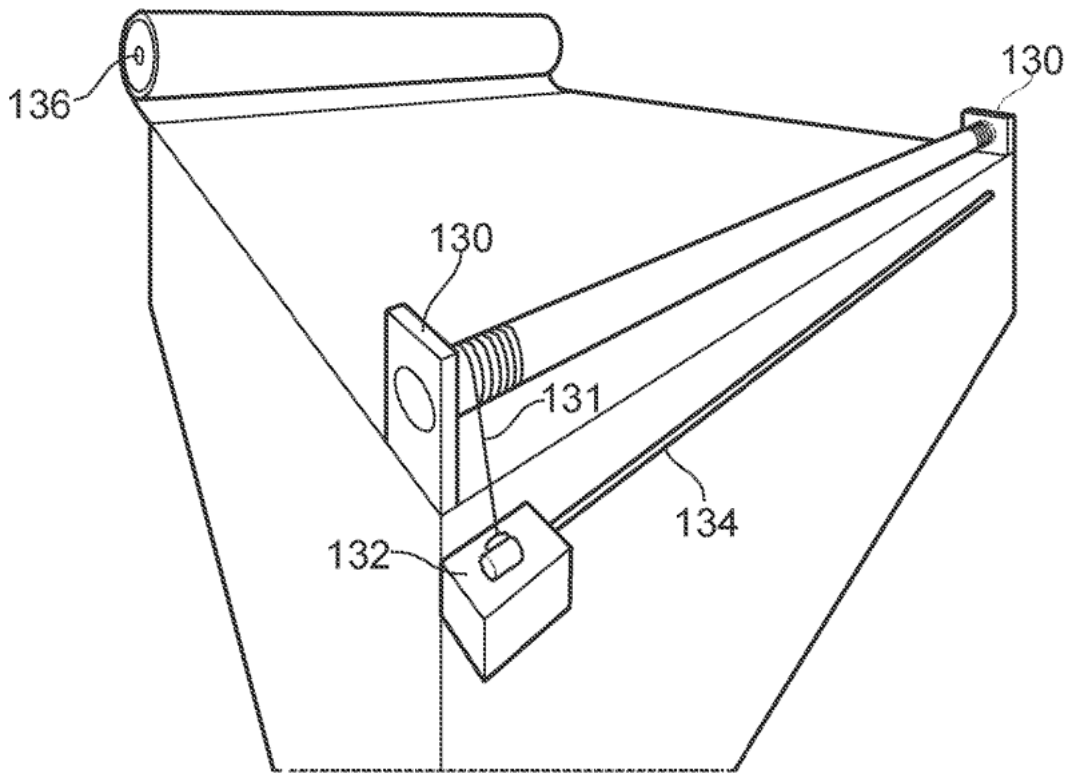


FIG. 11a

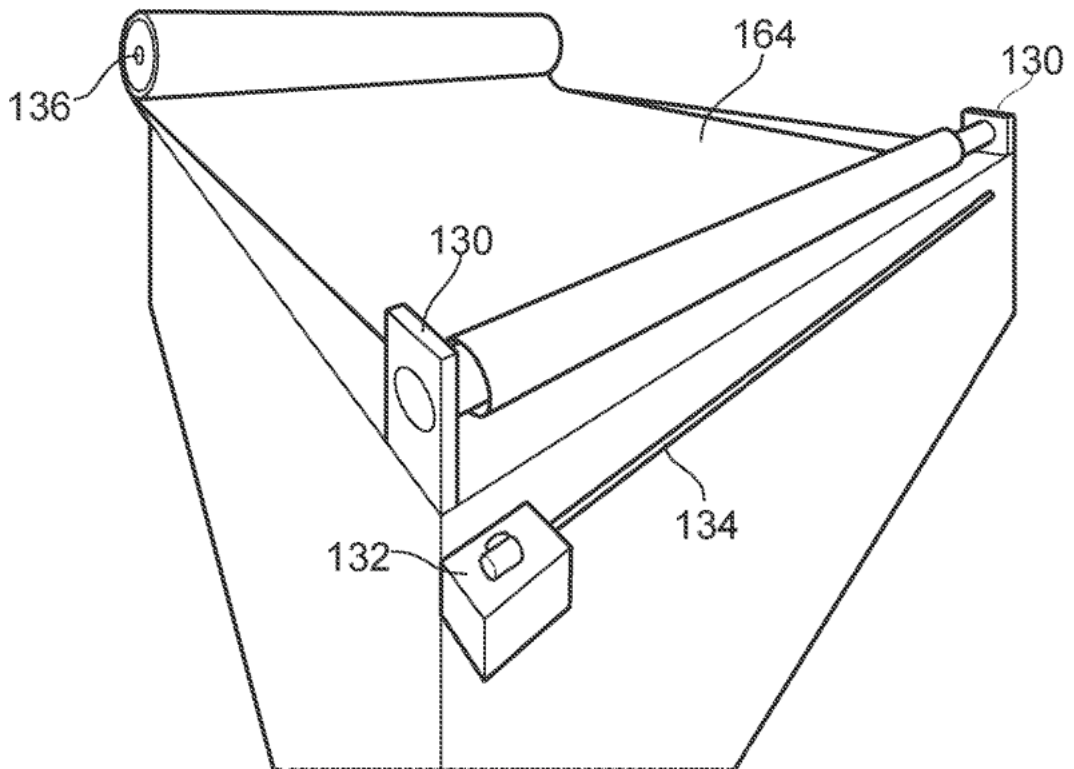


FIG. 11b

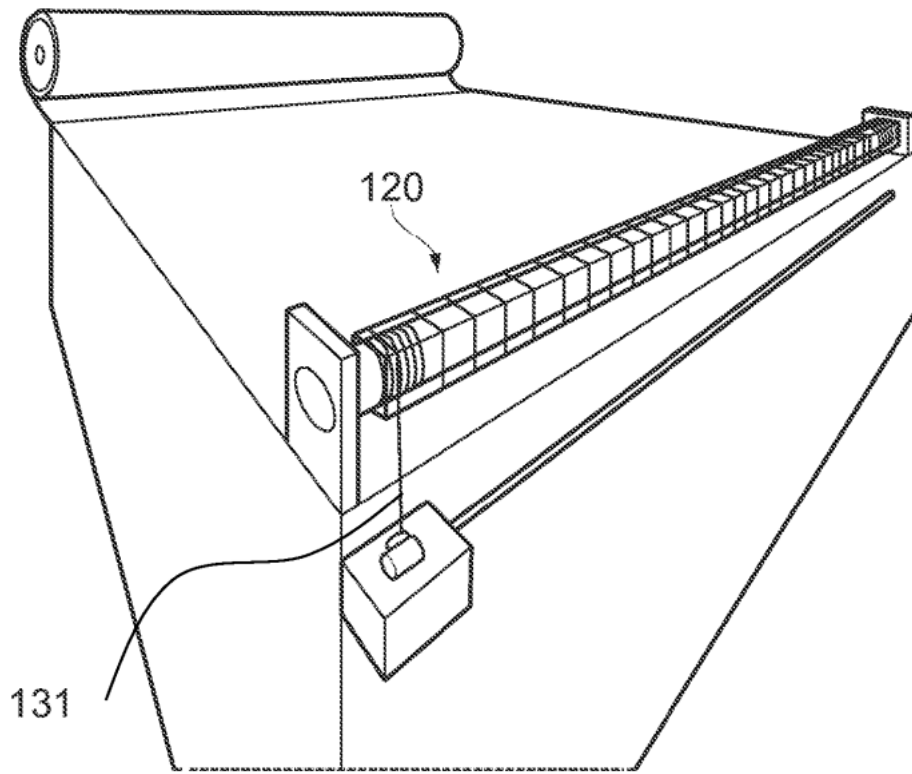


FIG. 12

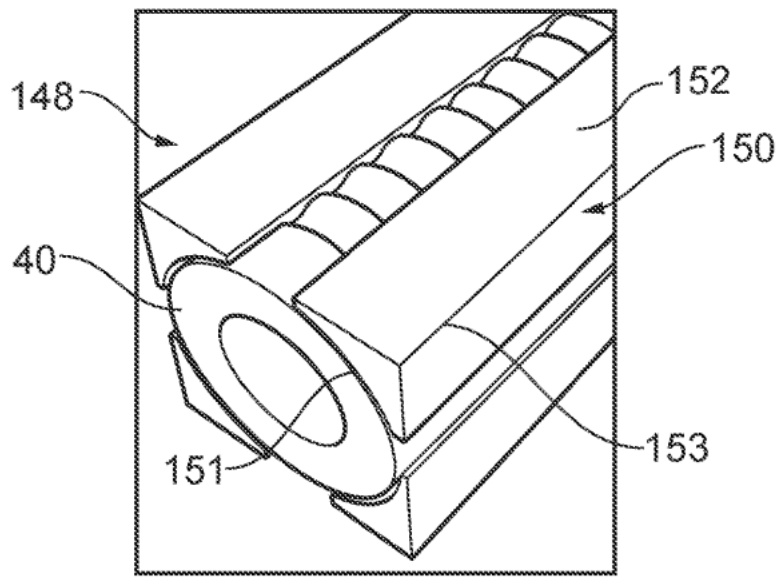


FIG. 13

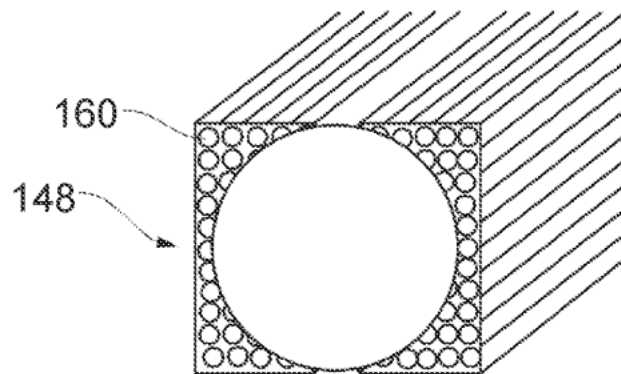


FIG. 14

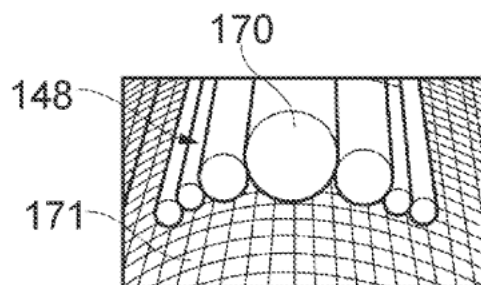


FIG. 15

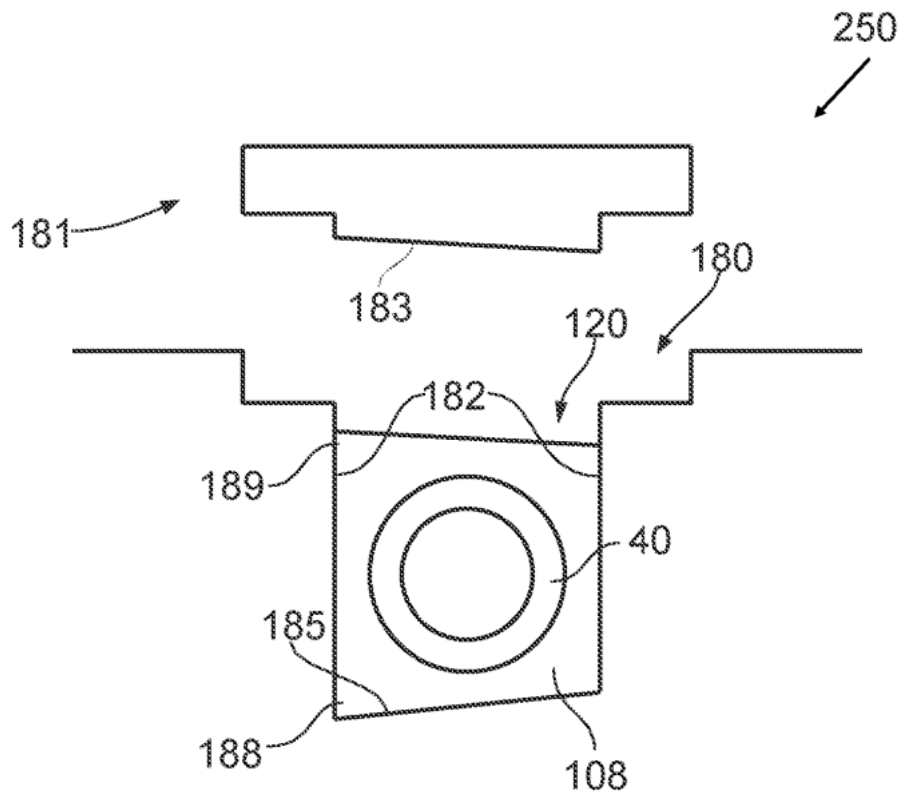


FIG. 16

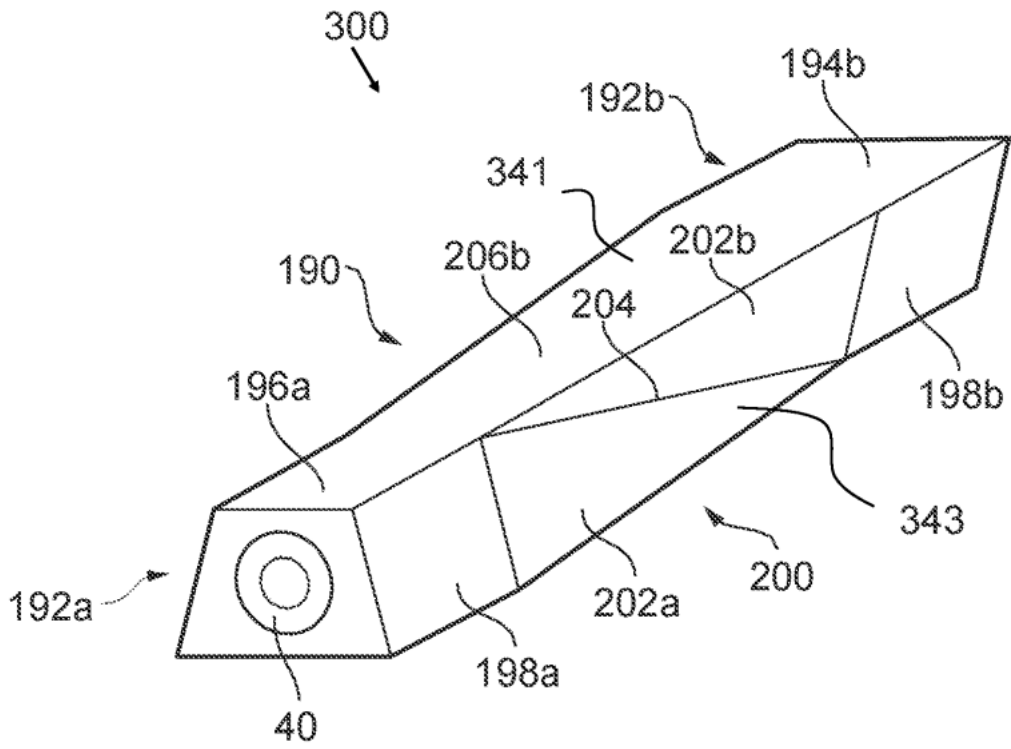


FIG. 17

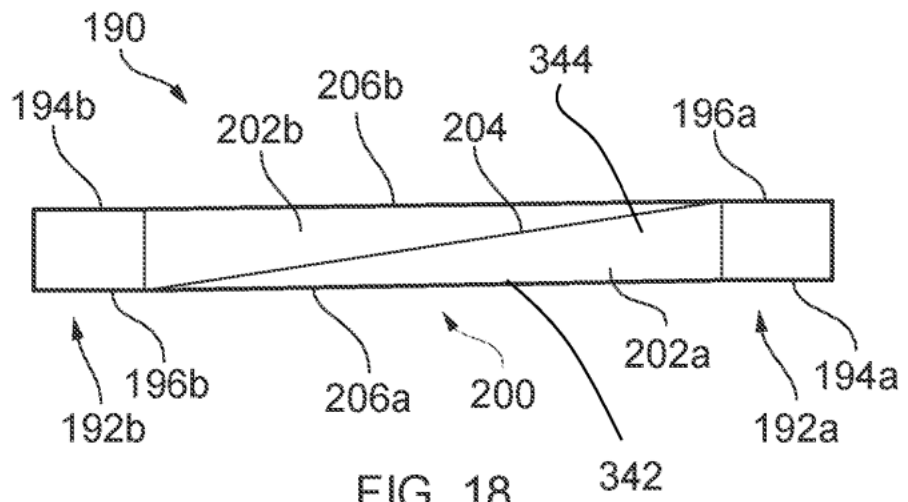


FIG. 18

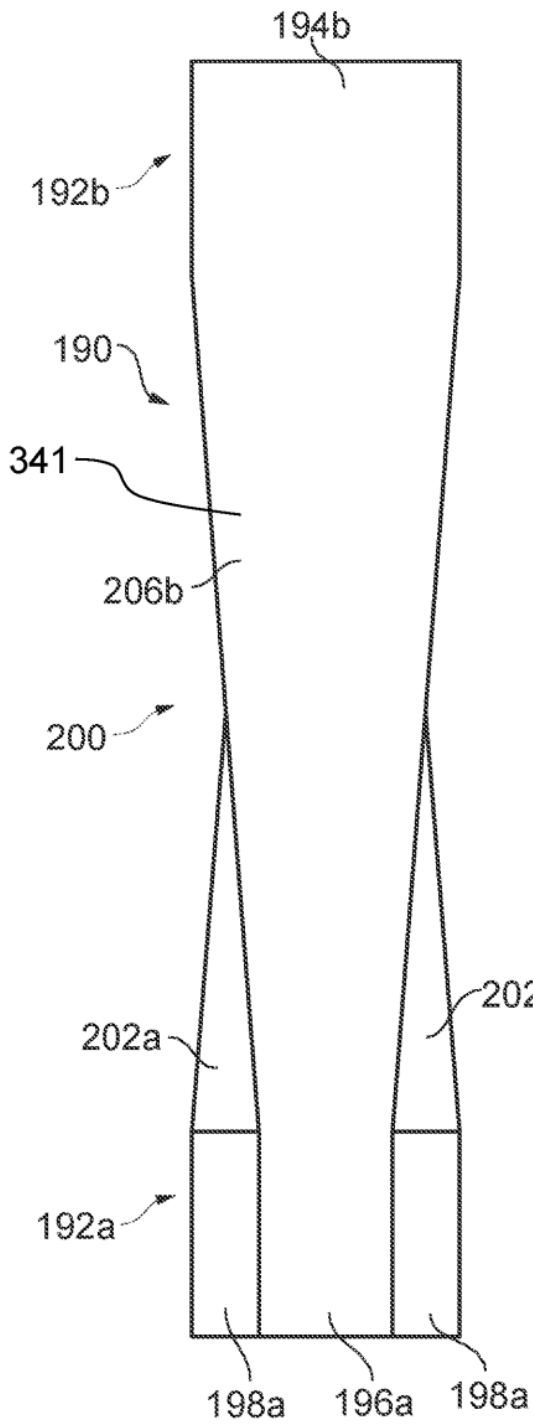


FIG. 19

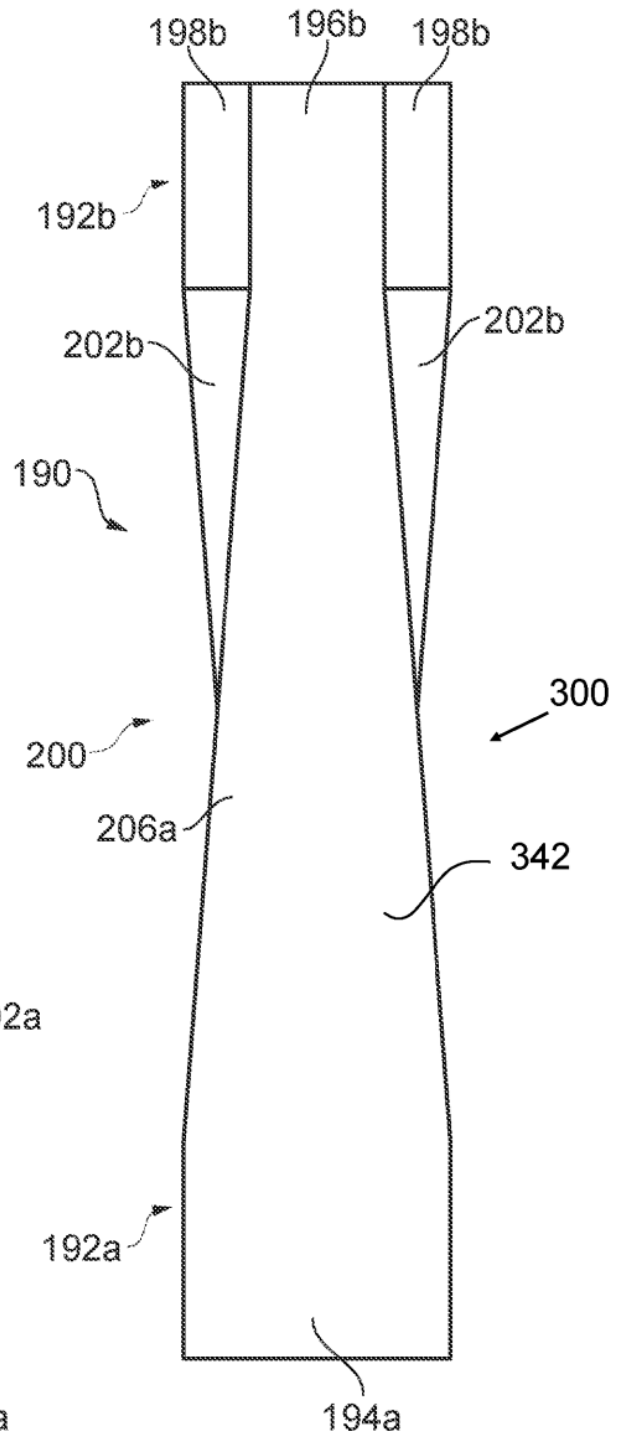


FIG. 20

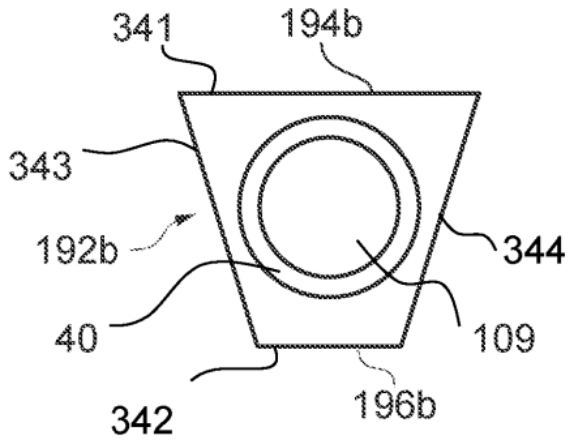


FIG. 21

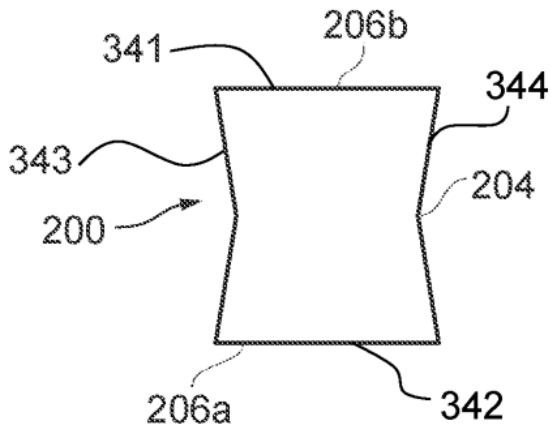


FIG. 22

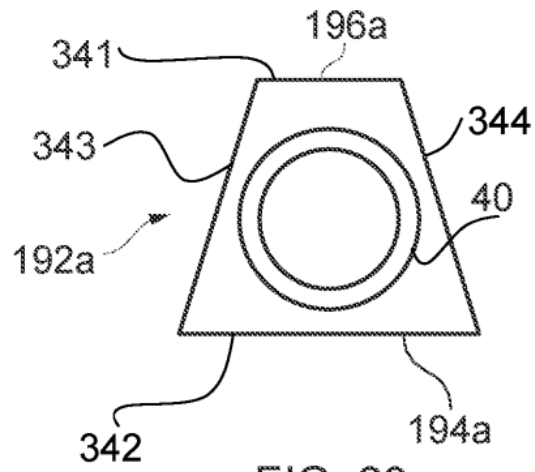


FIG. 23

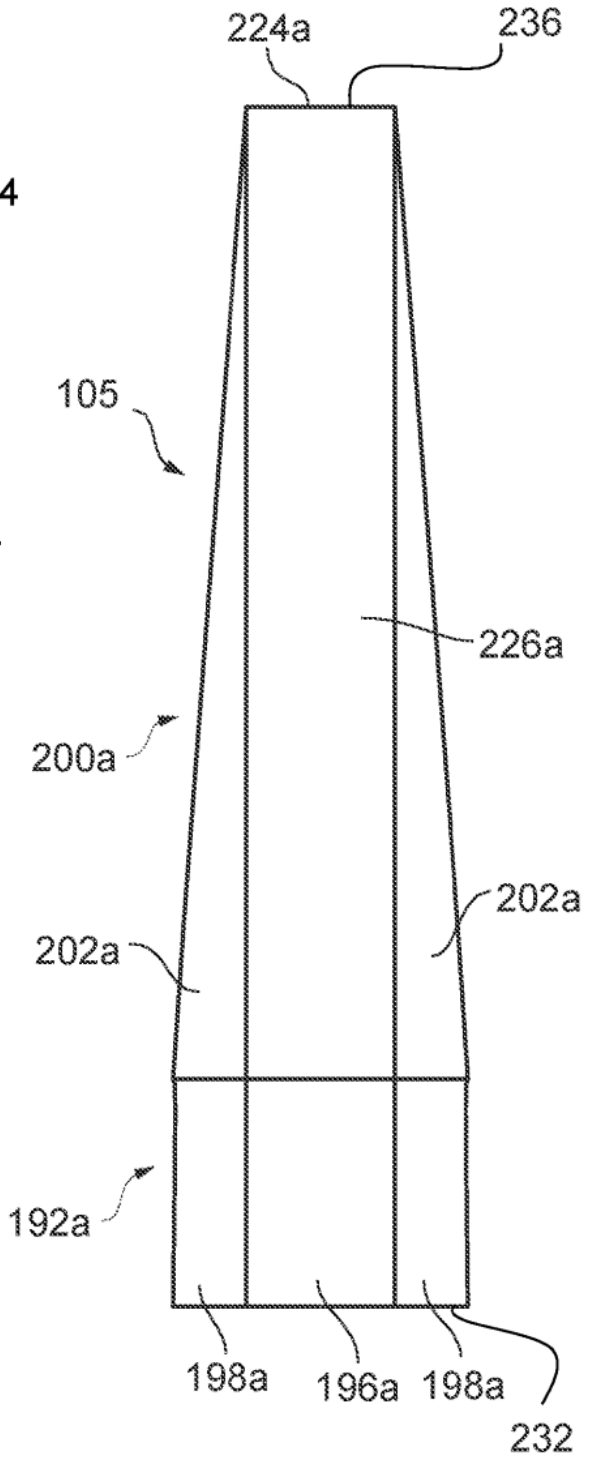


FIG. 24

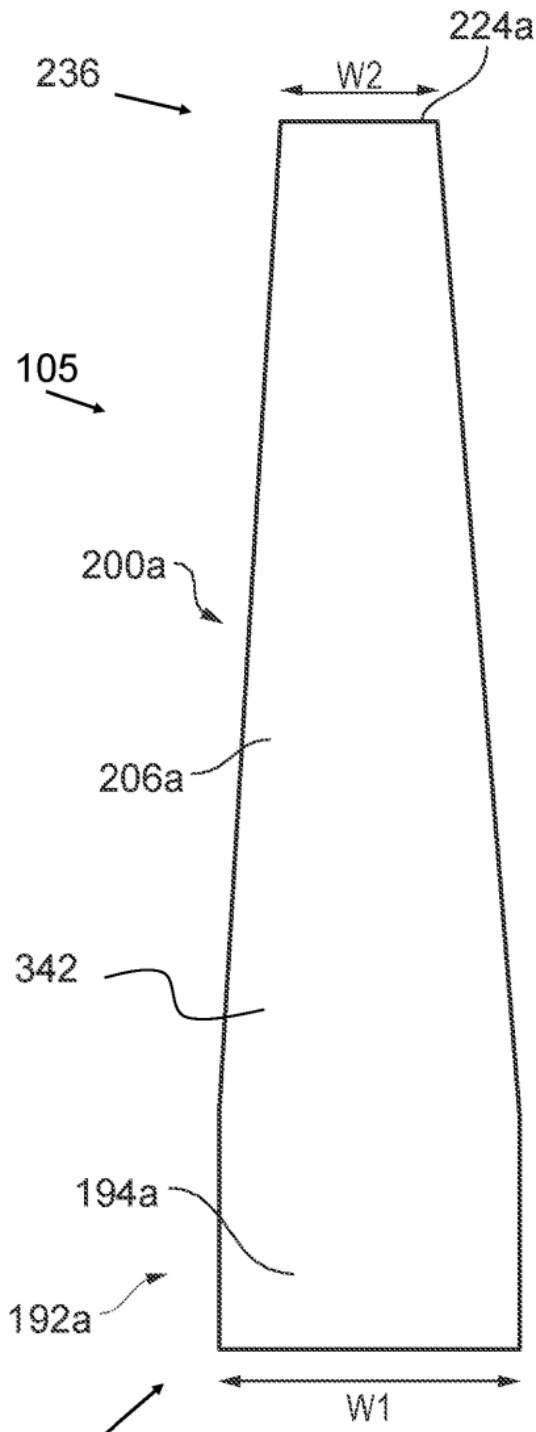


FIG. 25

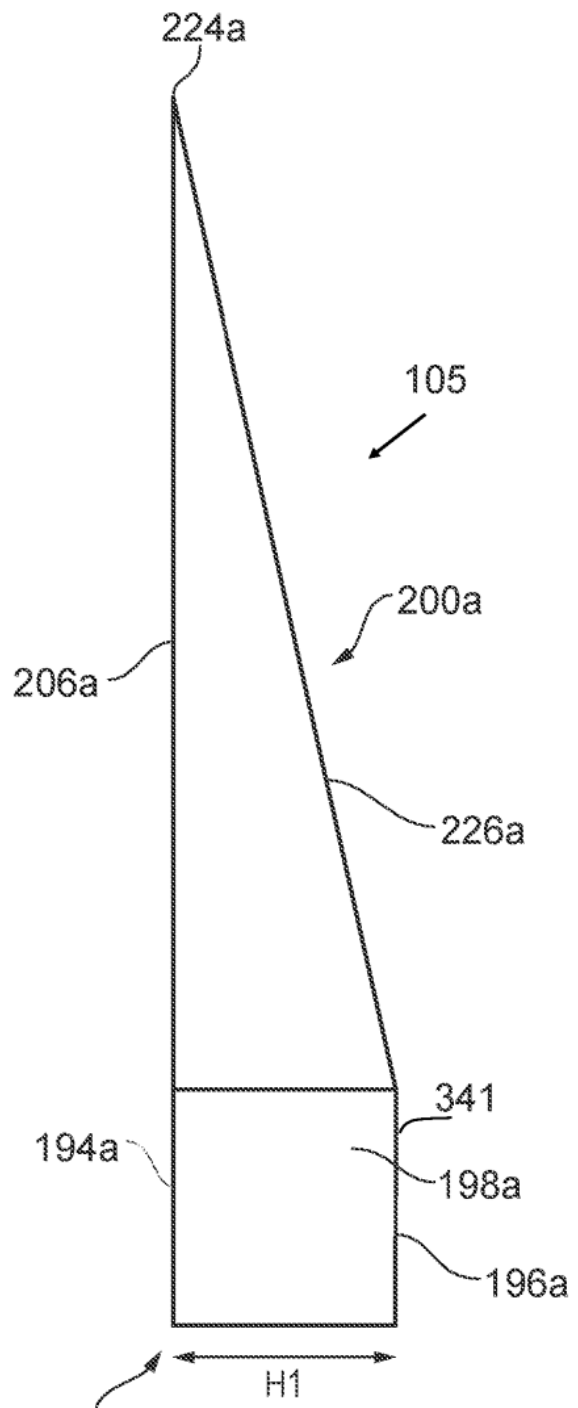


FIG. 26

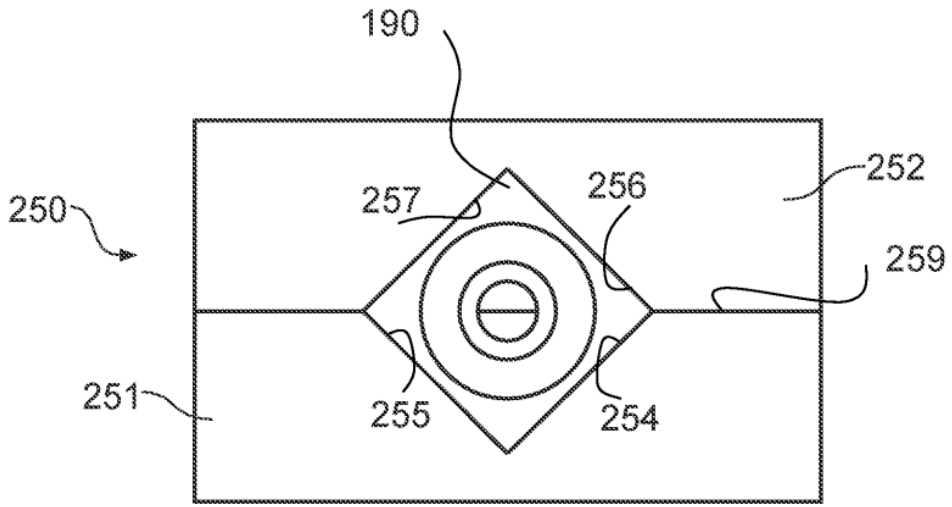


FIG. 27

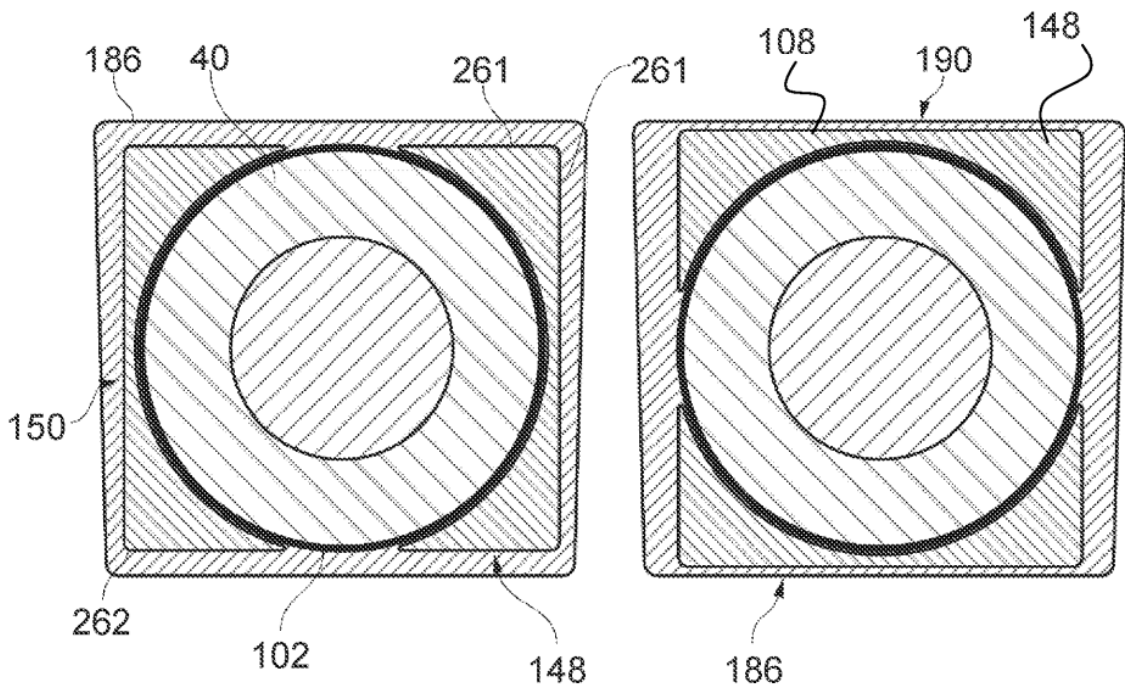


FIG. 28

FIG. 29

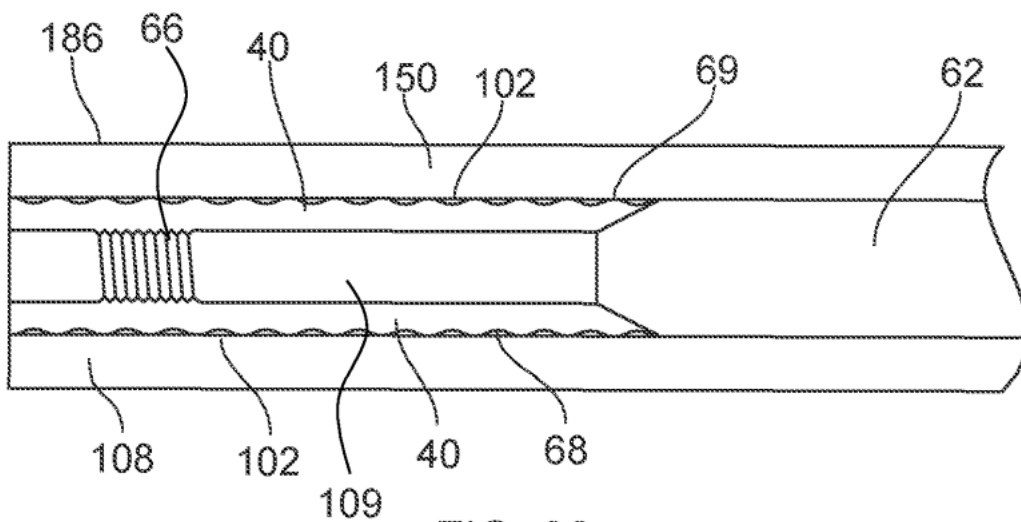


FIG. 30

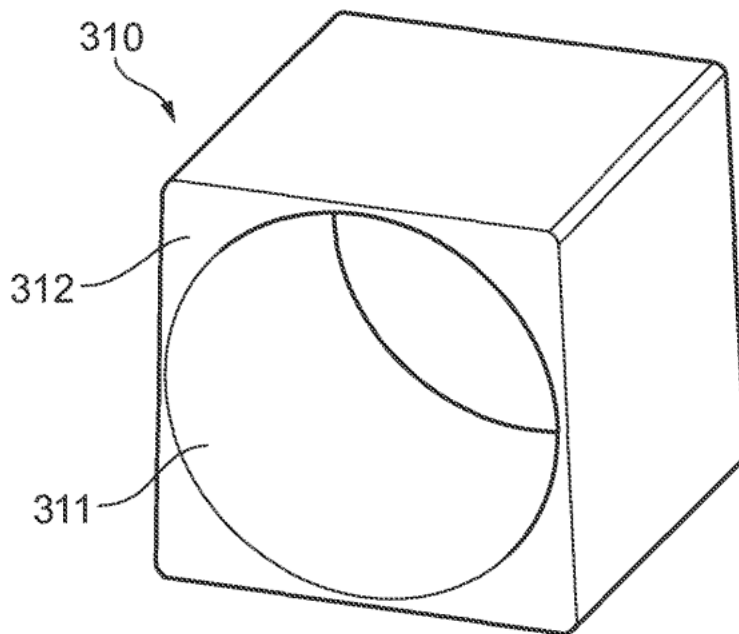


FIG. 31

