

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 758**

51 Int. Cl.:

**B29D 99/00** (2010.01)

**F03D 1/06** (2006.01)

**B29C 70/34** (2006.01)

**B29L 31/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.11.2016 PCT/DK2016/050388**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.06.2017 WO17088885**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.11.2016 E 16805277 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.08.2019 EP 3380313**

54 Título: **Mejoras relativas a la fabricación de palas de turbina eólica**

30 Prioridad:

**26.11.2015 DK 201570763**

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

**20.02.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**BECH, ANTON**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 743 758 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

Mejoras relativas a la fabricación de palas de turbina eólica

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a la fabricación de palas de turbina eólica.

10 **Antecedentes**

Las palas de turbina eólica modernas comprenden típicamente una concha de pala que tiene una estructura laminada de construcción compuesta. La concha se fabrica comúnmente usando un proceso de infusión de resina asistido por vacío. El proceso implica en general disponer material de refuerzo fibroso seco en un molde de pala para formar un tendido.

15 El material fibroso seco que forma el tendido comprende típicamente fibras de vidrio y/o carbono. El material puede proporcionarse como una tela tejida o no tejida y/o en la forma de manojos de fibras o fibras sueltas. El tendido comprende típicamente una pluralidad de capas de material dispuestas en el molde. Las capas se apilan una encima de la otra de acuerdo con el grosor y estructura requeridos de la concha. Dado que el molde de pala incluye generalmente zonas de alta curvatura, las capas se conectan a veces entre sí, por ejemplo mediante cosido. Esto impide que las capas se deslicen relativamente entre sí en el molde.

20 Una vez que el tendido se ha ensamblado en el molde, se cubre a continuación con una película de vacío, que se sella contra los rebordes del molde para formar una zona sellada que encapsula el tendido. El aire se extrae de la zona sellada para formar un vacío efectivo. Se introduce a continuación resina dentro de la zona sellada evacuada. La resina se infunde a todo lo ancho del material fibroso seco. Finalmente, se aplica calor para curar la resina.

25 Aunque el proceso anterior proporciona buenos resultados, es relativamente consumidor de tiempo dado que el tejido seco puede ser difícil de situar con precisión en el molde y es propenso a plegados y arrugas. Típicamente las capas de tejido seco se cosen juntas fuera de línea para fijar sus posiciones relativas, pero esto añade complejidad y tiempo adicional al proceso. También se requiere un cuidadoso control sobre la composición y la cantidad de la resina administrada durante el proceso de infusión y es crítico asegurar que no se desarrollan fugas en la película de vacío durante el proceso, lo que podría comprometer el proceso de infusión.

30 Es también conocido el uso de materiales preimpregnados en lugar de tejido seco para la fabricación de palas de turbina eólica. El material preimpregnado incluye material de refuerzo fibroso que se impregna previamente con resina. El uso de materiales preimpregnados evita la necesidad de suministrar resina al tendido. Sin embargo, los materiales preimpregnados son significativamente más caros que los materiales secos y son más difíciles de manejar debido a la resina impregnada. El uso de material preimpregnado también introduce complicaciones cuando se crean estructuras gruesas en donde puede requerirse que se acumulen varias capas apiladas de material preimpregnado hasta el grosor requerido de la estructura. Esto es debido a que la resina contenida en las capas impide la extracción del aire través de las capas apiladas durante el proceso de vacío. En consecuencia, se requiere en general realizar una serie de procesos de des-acumulación sobre las capas preimpregnadas apiladas según se disponen en el molde para eliminar el aire atrapado. El proceso de des-acumulación añade tiempo y complejidad al proceso de fabricación de palas.

35 Como antecedente, el documento WO2014/094787 describe un método de fabricación de una pala de turbina eólica usando pilas prefabricadas de material de refuerzo. El documento WO2010/083840 describe un método de fabricación de una pala de turbina eólica o una parte de una pala de turbina eólica y en particular a un método de fabricación que comprende el uso de capas de fibras preimpregnadas con resina. El documento WO2014/131770 describe un método de fabricación de una estructura de laminado que comprende la localización de una o más capas de un material de refuerzo fibroso que se impregna al menos parcialmente con una primera matriz de resina curable en relación con una o más capas de material de refuerzo fibroso para formar una pila y posteriormente infundir la pila con una segunda infusión de resina hasta curar la primera y segunda resinas.

40 55 Contra estos antecedentes, la presente invención se dirige a proporcionar un método de fabricación de una pala de turbina eólica que presenta una o más ventajas sobre los métodos actuales anteriormente detallados. La invención también se dirige a proporcionar una pala de turbina eólica que tenga una estructura de concha novedosa y mejorada.

60 **Sumario de la invención**

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un método de fabricación de una pala de turbina eólica que comprende una concha exterior que tiene una estructura laminada, comprendiendo el método: proporcionar un molde de pala que define una forma de al menos parte de la concha exterior de la pala, extendiéndose en una dirección de la envergadura entre un extremo de raíz y un extremo de punta y extendiéndose en una dirección de la cuerda entre un borde de ataque y un borde de salida; proporcionar una pluralidad de láminas secas que

- comprenden material fibroso estructural seco; proporcionar una pluralidad de láminas preimpregnadas que comprenden el material fibroso estructural impregnado con resina; disponer la pluralidad de láminas secas y la pluralidad de láminas preimpregnadas en el molde para formar una pluralidad de capas de la estructura laminada de la concha exterior de la pala, en el que las láminas se disponen en el molde de modo que las láminas secas se
- 5 intercalan con láminas preimpregnadas para formar una estructura de concha híbrida en la que las láminas se disponen en una relación escalonada de modo que los bordes correspondientes de las láminas secas están desfasados entre sí en la dirección de la envergadura y/o de la cuerda del molde y/o los bordes correspondientes de las láminas preimpregnadas están desplazados entre sí en la dirección de la envergadura y/o de la cuerda del molde.
- 10 Los bordes correspondientes de las láminas secas pueden desplazarse respecto a los bordes correspondientes de las láminas preimpregnadas. Los bordes correspondientes de las láminas pueden desplazarse en ambas direcciones de la envergadura y de la cuerda.
- 15 El método puede comprender la disposición de una o más preformas en el molde para formar la estructura de concha híbrida. Cada preforma puede comprender al menos una lámina seca de la pluralidad de láminas secas adherida a al menos una lámina preimpregnada de la pluralidad de láminas preimpregnadas.
- 20 Sucesivas láminas y/o preformas en la estructura híbrida pueden tener dimensiones disimilares en las direcciones de la cuerda y/o envergadura. Por ejemplo, el método puede comprender la formación de la estructura híbrida mediante la disposición sucesiva de una serie de láminas o preformas para disminuir progresivamente el ancho y/o la longitud.
- 25 El método puede comprender la formación de una estructura de concha híbrida a partir de la pluralidad de láminas secas y la pluralidad de láminas preimpregnadas fuera del molde. El método puede comprender la elevación de la estructura de concha híbrida, una vez formada, dentro del molde.
- El método puede comprender la formación de la estructura de concha híbrida en una o más zonas discretas del molde. Las zonas discretas del molde pueden corresponder a zonas de la concha exterior en donde se requiere un grosor incrementado.
- 30 El método puede comprender la formación de la estructura de concha híbrida específicamente en el extremo de raíz del molde y/o en el extremo de punta del molde y/o adyacente al borde de ataque del molde y/o adyacente al borde de salida del molde.
- 35 El método puede comprender la disposición o formación de un elemento de refuerzo alargado en el molde. Uno o ambos extremos de la estructura de refuerzo pueden disponerse en la parte superior o entre una o más láminas de la estructura de concha híbrida. El elemento de refuerzo alargado puede ser un larguero o un tirante o una parte componente de los mismos, por ejemplo una cabeza de larguero o parte de un tirante.
- 40 El método puede comprender la disposición de la estructura de concha híbrida para formar una continuación del elemento de refuerzo en el extremo de raíz y/o en el extremo de punta del molde.
- 45 Un primer extremo del elemento de refuerzo puede estar separado del extremo de raíz del molde. La estructura de concha híbrida puede disponerse para extenderse en una dirección de la envergadura entre el extremo de raíz del molde y el primer extremo del elemento de refuerzo.
- La estructura de concha híbrida puede estrecharse en ancho en la dirección de la cuerda al moverse desde el extremo de raíz del molde hacia el primer extremo del elemento de refuerzo.
- 50 El método puede comprender proporcionar uno o más insertos de raíz en el extremo de raíz del molde. Los insertos de raíz pueden proporcionarse encima de o entre láminas de la estructura de concha híbrida.
- 55 La estructura de concha híbrida puede disponerse para formar parte de un revestimiento interior y/o exterior de la concha exterior de la pala.
- El método puede comprender proporcionar una capa inicial de material preimpregnado en el molde previamente a la disposición de la estructura de concha híbrida en la parte superior.
- 60 El método puede comprender hacer que la resina de las capas preimpregnadas se infunda en las láminas secas. Esto puede conseguirse incrementando la temperatura de las láminas. El método puede comprender el curado de la resina.
- 65 El método puede comprender integrar conjuntamente los materiales que comprenden la concha exterior de la pala. Esto puede conseguirse por medio de la resina contenida en los materiales preimpregnados. El método puede comprender integrar los materiales sin suministrar resina adicional desde una fuente externa.
- Una pala de turbina eólica puede fabricarse de acuerdo con el método anterior.

Una turbina eólica que comprende una pala de turbina eólica puede fabricarse de acuerdo con el método anterior.

**Breve descripción de los dibujos**

- 5 Se describirá en detalle ahora un ejemplo no limitante de la invención con referencia a las figuras que siguen, en las que:
- la Figura 1 muestra una turbina eólica;
- 10 la Figura 2 es una vista en perspectiva de una pala de la turbina eólica de la Figura 1;
- la Figura 3 es una vista en sección transversal esquemática de la pala de turbina eólica tomada a lo largo de la línea 3-3 en la Figura 2;
- 15 la Figura 4a son vistas en planta esquemáticas de una lámina seca y una lámina preimpregnada;
- la Figura 4b es una vista en planta esquemática de una preforma que comprende las láminas secas y preimpregnadas de la Figura 4a;
- 20 la Figura 4c es una vista en sección transversal esquemática de la preforma tomada a lo largo de la línea 4c-4c en la Figura 4b;
- la Figura 4d es una vista en sección transversal esquemática de la preforma tomada a lo largo de la línea 4d-4d en la Figura 4b;
- 25 la Figura 4e muestra la preforma de las Figuras 4b-4d siendo preparada sobre una mesa;
- la Figura 5 es una vista en planta esquemática de un molde de pala de turbina eólica para la formación de la mitad de la concha exterior de la pala de turbina eólica de las Figuras 2 y 3;
- 30 la Figura 6 muestra una primera estructura de concha híbrida dispuesta en una raíz del molde de pala para formar parte del revestimiento exterior de la concha exterior de la pala;
- la Figura 7a es una vista aislada de una pila de láminas que forman una estructura híbrida;
- 35 la Figura 7b es una vista en sección transversal esquemática en el sentido de la cuerda de la pila mostrada en la Figura 7a tomada a lo largo de la línea 7b-7b en la Figura 7a;
- la Figura 7c es una vista en sección transversal esquemática en el sentido de la cuerda de la pila mostrada en la Figura 7a tomada a lo largo de la línea 7c-7c en la Figura 7a;
- 40 la Figura 7d es una vista en sección transversal esquemática en el sentido de la envergadura de la pila mostrada en la Figura 7a tomada a lo largo de la línea 7d-7d en la Figura 7a;
- 45 la Figura 7e es una vista en sección transversal esquemática en el sentido de la envergadura de la pila mostrada en la Figura 7a tomada a lo largo de la línea 7e-7e en la Figura 7a;
- la Figura 7f muestra una disposición alternativa de capas apiladas en las que las láminas secas se alinean en una dirección de la envergadura con las láminas preimpregnadas contiguas;
- 50 la Figura 8 muestra una segunda estructura de concha híbrida dispuesta en un extremo de punta del molde de pala y tercera y cuarta estructuras híbridas dispuestas en el extremo de raíz del molde de pala para formar partes adicionales del revestimiento exterior;
- 55 la Figura 9 muestra cabezas de larguero y tiras de refuerzo dispuestas en el molde sobre la parte superior de las estructuras híbridas;
- la Figura 10 muestra paneles de espuma e insertos de raíz dispuestos en el molde;
- 60 la Figura 11 muestra tiras de refuerzo adicionales dispuestas en la parte superior de los paneles de espuma; y
- la Figura 12 muestra primera, segunda, tercera y cuarta estructuras híbridas que forman parte de un revestimiento interior de la concha de pala dispuesta en el molde.
- 65 **Descripción detallada**

La Figura 1 muestra una turbina eólica 10 que 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 20. En este ejemplo, el rotor 16 comprende tres palas 18.

5 La Figura 2 es una vista en perspectiva de una de las palas 18 de la turbina eólica 10. La pala 18 se extiende desde un extremo de raíz 22 generalmente circular a un extremo de punta 24 en una dirección "en el sentido de la envergadura" longitudinal S, y entre un borde de ataque 26 y un borde de salida 28 en una dirección "en el sentido de la cuerda" transversal C. La pala transita desde un perfil circular a un perfil aerodinámico al moverse desde el extremo de raíz 22 de la pala 18 hacia un hombro 30 de la pala 18, que es la parte más ancha de la pala 18 en donde la pala 10 18 tiene su máxima cuerda. La pala 18 tiene un perfil aerodinámico de grosor progresivamente decreciente en una parte hacia el exterior 32 de la pala 18, que se extiende desde el hombro 30 a la punta 24 de la pala 18.

La Figura 3 es una sección transversal a través de la pala 18 tomada a lo largo de la línea 3-3 en la Figura 2, es decir a través del hombro 30 de la pala 18. Haciendo referencia a la Figura 3, la pala 18 tiene una concha exterior 38 que define una zona interior 40 sustancialmente hueca de la pala 18. La concha exterior 38 es una estructura laminada de construcción compuesta y se fabrica a partir de dos semiconchas: una concha de sotavento 42 y una concha de barlovento 44. Las conchas 42, 44 se moldean principalmente a partir de plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP).

La concha exterior 38 comprende revestimientos interior y exterior 46, 48 fabricados principalmente a partir de GRP. Como se describirá con detalle adicional posteriormente, partes de los revestimientos interior y exterior 46, 48 de la pala 18 tienen una estructura híbrida en la que se forman a partir de capas alternas de tejido de fibra de vidrio seco y tejido de fibra de vidrio preimpregnado. En ciertas zonas de la concha 38, se proporciona un núcleo 50 de espuma ligera (por ejemplo poliuretano) entre los revestimientos 46, 48.

La concha exterior 38 incluye adicionalmente primer y segundo pares de cabezas de larguero 52, 54, 56, 58 insertadas dentro de la estructura laminada de la concha 38. Una cabeza de larguero de cada par 52, 56 se integra con la concha de barlovento 44 y la otra cabeza de larguero de cada par 54, 58 se integra con la concha de sotavento 42. Las cabezas de larguero 52, 54, 56, 58 de los pares respectivos están mutuamente opuestas y se extienden longitudinalmente a lo largo de la longitud de la pala 18.

Una primera alma de conexión extendida longitudinalmente 60 puentea el primer par de cabezas de largueros 52, 54 y una segunda alma de conexión extendida longitudinalmente 62 puentea el segundo par de cabezas de larguero 56, 58. Las almas de conexión 60, 62 en combinación con las cabezas de larguero 52, 54, 56, 58 forman un par de estructuras de viga en I, que transfieren las cargas desde la pala 18 en rotación al buje 20 de la turbina eólica 10 (véase la Figura 1). Las cabezas de larguero 52, 54, 56, 58 en particular transfieren las cargas de tracción y de flexión comprensiva, mientras que las almas de conexión 60, 62 transfieren las tensiones cortantes en la pala 18.

Cada cabeza de larguero 52, 54, 56, 58 tiene una sección transversal sustancialmente rectangular y está fabricada de un apilado de tiras de refuerzo 64 prefabricadas. Las tiras 64 son tiras pultrudidas de plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP) y son sustancialmente planas y de sección transversal rectangular. El número de tiras 64 en el apilado depende del grosor de las tiras 64 y del grosor requerido de la concha 38, pero típicamente puede haber entre cuatro y doce tiras 64 en el apilado. Las tiras 64 tienen una alta resistencia a la tracción y por ello tienen una alta capacidad de soporte de carga.

Las tiras 64 se forman mediante pultrusión, un proceso continuo similar a la extrusión, en el que se tira de las fibras a través de un suministro de resina líquida y a través de troqueles que forman la tira 64. A continuación se cura la resina, por ejemplo mediante calentamiento en una cámara abierta o empleando troqueles calentados que curan la resina según se pultrude la tira 64.

Aunque no se muestra en la Figura 3, la pala 18 puede incluir también tirantes en el borde de ataque y salida en la forma de tiras de fibra de vidrio o fibra de carbono dispuestas en partes adyacentes de los bordes de ataque y de salida 26, 28 de la pala 18 en ambos lados del material del núcleo de espuma 50. Los tirantes proporcionan refuerzo adicional en los bordes de ataque y salida 26, 28.

El así llamado "diseño de concha estructural" mostrado en la Figura 3, en el que las cabezas de larguero 52, 54, 56, 58 se integran dentro de la estructura de la concha exterior 38, evita la necesidad de un larguero formado por separado tal como una viga de refuerzo, que se une típicamente a una superficie interior de la concha 38 en muchas palas de turbina eólica convencionales.

Se ha mencionado anteriormente que piezas de la concha de pala 38 tienen una estructura híbrida porque se compone de un apilado de capas alternas de material seco y preimpregnado. Se describirá en detalle a continuación un método para la fabricación de la pala 18 para producir la estructura de concha híbrida con referencia a las Figuras 5 a 12. Sin embargo, para facilitar la explicación del método, sigue primero una breve explicación de los materiales usados para construir la estructura híbrida.

65 Con referencia por lo tanto a la Figura 4a, esta es una vista en planta esquemática de una lámina seca 66 y una lámina

preimpregnada 68, que se usan para formar capas de laminado de la estructura de concha de pala híbrida. La lámina seca 66 comprende una capa de material fibroso estructural seco. El material fibroso estructural seco puede comprender fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras de aramida o cualesquiera otras fibras estructurales usadas en la construcción compuesta. En este ejemplo particular la lámina seca es un tejido de vidrio biax cosido. La lámina preimpregnada 68 comprende material fibroso estructural que se impregna con resina. El material fibroso estructural puede comprender fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras de aramida o cualquier otro material fibroso estructural adecuado usado en la construcción compuesta. La resina puede comprender resina epoxi o cualquier otra resina adecuada usada en materiales preimpregnados. Sin embargo, en este ejemplo particular la lámina preimpregnada es un tejido de vidrio biax cosido preimpregnado con resina epoxi.

La lámina seca 66 y la lámina preimpregnada 68 son ambas sustancialmente rectangulares en este ejemplo y son sustancialmente de la misma longitud y ancho. En otros ejemplos, las láminas 66, 68 podrían tener una forma diferente y la lámina preimpregnada 68 puede no tener las mismas dimensiones que la lámina seca 66. Las láminas 66, 68 comprenden cada una un primer y segundo bordes 70, 72, como se indica en la Figura 4a. En la explicación posterior del proceso de fabricación de la pala, se hará referencia a los primeros bordes 70 como bordes "en el sentido de la cuerda" y se hará referencia a los segundos bordes 72 como bordes "en el sentido de la envergadura", correspondientes a la orientación general de estos bordes cuando las láminas 66, 68 se disponen en un molde de pala.

Con referencia ahora a la Figura 4b, esta muestra la lámina preimpregnada 68 dispuesta en la parte superior de la lámina seca 66 para formar una preforma 74. En este ejemplo, las láminas secas y preimpregnadas 66, 68 se disponen en una relación escalonada de modo que los bordes en el sentido de la cuerda 70 correspondientes de las láminas 66, 68 están desplazados en una distancia de desplazamiento 76 predeterminada. Los bordes en el sentido de la envergadura 72 correspondientes de las láminas secas y preimpregnadas 66, 68 se alinean sustancialmente en este ejemplo. Sin embargo, en otros ejemplos estos bordes 72 pueden también desplazarse ya sea en lugar de o además del desplazamiento de los bordes en el sentido de la cuerda 70. En otras realizaciones, ambos bordes en el sentido de la cuerda y de la envergadura 70, 72 de las láminas 66, 68 respectivas pueden estar sustancialmente alineados de modo que las láminas 66, 68 que forman la preforma 74 no estén escalonadas.

Las Figuras 4c y 4d son secciones transversales esquemáticas a través de la preforma 74 tomadas a lo largo de las líneas 4c-4c y 4d-4d respectivamente en la Figura 4b. La lámina seca 66 se indica por la línea sin relleno y la lámina preimpregnada 68 se indica por la línea rellena. La Figura 4c ilustra la relación escalonada entre las láminas 66, 68 y muestra el desplazamiento entre los bordes en el sentido de la cuerda 70 correspondientes de las láminas 66, 68, en tanto que la Figura 4d ilustra la alineación entre los bordes en el sentido de la envergadura 72 correspondientes de las láminas 66, 68.

Con referencia a la Figura 4e, la preforma 74 se monta mediante la disposición de la lámina seca 66 sobre una superficie plana 78, por ejemplo sobre una mesa 80 tal como se muestra en la Figura 4e. La lámina seca 66 se alisa sobre la superficie 78 de la mesa 80 para eliminar cualquier arruga y la lámina preimpregnada 68 se coloca en la parte superior de la lámina seca 66 en una relación escalonada. La resina en el tejido preimpregnado 68 da como resultado que la preimpregnación sea pegajosa. En consecuencia, el tejido seco 66 se pega al tejido preimpregnado 68 y el tejido preimpregnado 68 sirve para mantener la forma del tejido seco 66 manteniéndole libre de arrugas y dobleces.

El tejido seco 66 facilita el manejo posterior de la preforma 74 dado que el operario puede evitar tocar el preimpregnado 68 cuando la preforma 74 se coloca posteriormente en el molde. El agregado de la preimpregnación 68 impide ventajosamente que se desarrollen arrugas o dobleces en el tejido seco 66 cuando la preforma 74 se posiciona posteriormente en el molde.

Se describirá ahora el método de fabricación de la pala de turbina eólica 18 con referencia a las Figuras 5 a 12.

Haciendo referencia a la Figura 5, esta muestra un semimolde 82 para el moldeo de la semiconcha de barlovento 44 (véase la Figura 3) de la pala de turbina eólica 18. Se hará referencia al semimolde 82 de aquí en adelante por conveniencia como el molde. El molde 82 comprende una superficie de molde 84 que tiene una forma correspondiente a la forma de la semiconcha 44 a ser formada. En la Figura 5 la superficie del molde 84 se cubre mediante un recubrimiento de gel 85 y una capa de triax preimpregnado 86, como se explicará más adelante, pero por razones ilustrativas se indica mediante el rayado en una parte de corte parcial de la Figura 5. El molde 82 comprende adicionalmente rebordes 87, 88 del borde de ataque y de salida extendiéndose a lo largo de los bordes de ataque y salida 90, 92 de la superficie del molde 84 respectivamente.

La superficie del molde 84 se extiende en una dirección en el sentido de la envergadura S entre un extremo de raíz 94 y un extremo de punta 96 y se extiende en la dirección en el sentido de la cuerda C entre el borde de ataque 90 y el borde de salida 92. La superficie del molde 84 tiene una forma generalmente curvada cóncava entre los bordes de ataque y salida 90, 92. Una parte del extremo de raíz 98 del molde 82 transita desde un perfil generalmente semicircular en el extremo de raíz 94 a un perfil semi-aerodinámico en un hombro 100 del molde 82. Una parte del exterior 102 del molde 82 entre el hombro 100 y el extremo de punta 96 tiene un perfil semi-aerodinámico de disminución progresivamente de la profundidad relativa de los rebordes del molde 87, 88 al moverse desde el hombro 100 a la

punta 96.

El proceso de fabricación de la concha comienza con la aplicación de un recubrimiento de gel 85 a la superficie del molde 84. El recubrimiento de gel 85 se muestra esquemáticamente en la parte parcialmente cortada de la Figura 5. Una vez se ha aplicado el recubrimiento de gel 85, se dispone el revestimiento exterior 48 de la semiconcha 44 (mostrada en la Figura 3) en la parte superior del recubrimiento de gel 85. Esto implica en primer lugar cubrir la superficie del molde 84 con una capa de tejido triax de fibra de vidrio preimpregnado 86. Como se apreciará por un experto en la materia, el triax preimpregnado comprende grupos o capas de fibras en paralelo típicamente orientadas en ángulos relativos de cero grados y +/-45 grados, que se preimpregnan con un material de matriz, tal como resina epoxi.

Haciendo referencia a la Figura 6, el tendido de revestimiento exterior 48 (mostrado en la Figura 3) continúa mediante el ensamblaje de una primera estructura de concha híbrida 104 en la parte del extremo de raíz 98 del molde 82. La estructura de concha híbrida 104 se ensambla disponiendo una serie de preformas similares a la preforma 74 mostrada en la Figura 4b en el molde 82. Las preformas se disponen en la parte superior de la capa de triax preimpregnada 86 y se colocan en el molde 82 secuencialmente, una encima de la siguiente, en una formación solapada y escalonada.

El proceso de formación de la estructura híbrida 104 comienza con la disposición de una serie de preformas solapadas de similar ancho en el sentido de la cuerda en una relación escalonada en una parte cilíndrica del molde 82 en el extremo de raíz 94. El proceso continúa mediante la disposición de preformas adicionales de ancho en el sentido de la cuerda progresivamente decreciente en una relación solapada y escalonada para formar una parte del extremo ahusado de la estructura híbrida 104, que se reduce progresivamente en ancho al moverse en la dirección de la envergadura S separándose del extremo de raíz 94 del molde 82.

La estructura híbrida 104 comprende por lo tanto una serie de láminas apiladas y solapadas en la que las láminas secas 66 se intercalan, es decir se disponen alternativamente, con láminas preimpregnadas 68. La estructura híbrida 104 proporciona a la concha de la pala un grosor adicional en esta zona de la concha en donde se requiere un refuerzo adicional. La relación escalonada entre las láminas 66, 68 es conceptualmente similar a un mazo de cartas extendido.

En otras realizaciones, la estructura híbrida 104 puede ensamblarse a partir de preformas que comprenden más de dos láminas 66, 68 o toda la estructura híbrida 104 puede ensamblarse fuera del molde 82 antes de ser elevada dentro del molde 82 en una única etapa. Alternativamente, la estructura híbrida 104 puede formarse mediante la disposición de cada lámina 66, 68 en el molde 82 individualmente, es decir sin la formación de las láminas 66, 68 en preformas. Como una alternativa adicional, el método puede comprender cualquier combinación de estas técnicas.

Como se ha mencionado anteriormente, en este ejemplo las preformas se disponen en el molde 82 comenzando con la preforma más cercana al extremo de raíz 94 del molde 82. La primera preforma se dispone de tal manera que su lámina seca 66 se posiciona directamente en la parte superior de la capa de triax preimpregnada 86 que forma la capa más externa de la concha exterior 44 (mostrada en la Figura 3). La pegajosidad de la capa más externa preimpregnada 86 sirve para mantener la preforma en la posición correcta en el molde 82. Se disponen preformas posteriores dispuestas de modo que la lámina seca 66 de la preforma se superponga a la lámina preimpregnada 68 de la preforma previamente colocada. La pegajosidad de la lámina preimpregnada 68 previamente colocada sirve ventajosamente para mantener la posición correcta de la preforma posteriormente colocada en el molde 82.

Con referencia a la Figura 7a, esta muestra una estructura de concha híbrida 105 de ejemplo aisladamente. La estructura híbrida 105 se asemeja a la parte del extremo ahusado de la estructura de concha híbrida 104 mostrada en la Figura 6 y la siguiente explicación está dirigida a ilustrar los principios de las capas escalonadas aplicables a las diversas estructuras híbridas descritas en el presente documento.

La estructura híbrida 105 de la Figura 7a comprende una pila de láminas secas y preimpregnadas 66 y 68 intercaladas y se forma a partir de una serie de preformas 106a-h en una forma similar a la estructura híbrida 104 descrita en relación con la Figura 6. En este ejemplo, cada preforma posteriormente colocada 106b-h tiene un ancho ligeramente reducido en la dirección de la cuerda C en comparación con la preforma previamente colocada 106a-g. Esto da como resultado el ahusado de la estructura híbrida 105 del ancho en el sentido de la cuerda al moverse en la dirección de la envergadura S. También da como resultado que las preformas 106a-h queden escalonadas en la dirección de la cuerda C porque los bordes en el sentido de la envergadura 72 correspondientes de las preformas 106a-h adyacentes están desplazados entre sí en la dirección de la cuerda C.

La Figura 7b es una sección transversal esquemática a través de la estructura de concha híbrida 105 tomada a lo largo de la línea 7b-7b en la Figura 7a. Aquí puede verse que esta parte de la estructura híbrida 105 tiene un grosor local compuesto de dos preformas 106a, 106b, de aquí que tenga cuatro capas. Las cuatro capas comprenden dos láminas secas 66 dispuestas alternativamente con dos láminas preimpregnadas 68. La flecha de doble punta 108 en la Figura 7b indica la relación escalonada entre las preformas 106a, 106b en la dirección de la cuerda C, estando los bordes en el sentido de la envergadura 72 correspondientes de la primera y segunda preformas 106a, 106b desplazados entre sí en la dirección de la cuerda C.

La Figura 7c es una sección transversal esquemática a través de la estructura de concha híbrida 105 tomada a lo largo de la línea 7c-7c en la Figura 7a. Aquí puede verse que esta parte de la estructura híbrida 105 tiene un grosor local compuesto de cuatro preformas 106a-d, de aquí que tenga ocho capas. Las ocho capas comprenden cuatro láminas secas 66 dispuestas alternativamente con cuatro láminas preimpregnadas 68.

5 La Figura 7d es una sección transversal esquemática a través de la estructura de concha híbrida 105 tomada a lo largo de la línea 7d-7d en la Figura 7a. Aquí puede verse que esta parte de la estructura híbrida 105 tiene un grosor local compuesto de dos preformas 106a, 106b, de aquí que tenga cuatro capas. La figura ilustra la relación escalonada entre las láminas 66, 68 en la dirección de la envergadura S. La flecha de doble punta 110 indica el desplazamiento entre los bordes en el sentido de la cuerda 70 correspondientes (véase la Figura 7a) de las láminas seca y preimpregnada 66, 68 de la primera preforma 106a en la dirección de la envergadura S. La flecha de doble punta 112 indica el desplazamiento entre bordes en la dirección de la cuerda 70 correspondientes de las láminas secas 66 en la dirección de la envergadura S. La flecha de doble punta 114 indica el desplazamiento entre bordes en el sentido de la cuerda 70 correspondientes de las láminas preimpregnadas 68 en la dirección de la envergadura S.

15 La Figura 7e es una sección transversal esquemática a través de la estructura de concha híbrida 105 tomada a lo largo de la línea 7e-7e en la Figura 7a. Aquí puede verse que esta parte de la estructura híbrida 105 tiene un grosor local compuesto de tres preformas 106a-c, de aquí que tenga seis capas.

20 Se apreciará por las Figuras 7a-7e que la relación escalonada entre láminas 66, 68 permite que se controle el grosor local de la estructura híbrida 105 y por ello el grosor local de la concha de pala 44. Los diversos desplazamientos entre los bordes 70, 72 correspondientes descritos anteriormente pueden variarse y/o seleccionarse para conseguir un grosor local particular.

25 La Figura 7f indica un ejemplo adicional por el que los bordes en el sentido de la cuerda 70 correspondientes de las láminas seca y preimpregnada 66, 68 en las preformas 106a-c no están desplazados sino que están sustancialmente alineados. Esta figura muestra que es aún posible variar el grosor local de la estructura híbrida con dichas preformas 106a-c controlando el desplazamiento entre bordes correspondientes de las diversas preformas 106a-c. En particular, en este ejemplo, el desplazamiento en el sentido de la envergadura 116 entre bordes en el sentido de la cuerda 70 correspondiente de la primera y segunda preformas 106a, 106b es menor que el desplazamiento en el sentido de la envergadura 118 entre bordes en el sentido de la cuerda 70 correspondiente de la segunda y tercera preformas 106b, 106c. La adecuada selección de estos desplazamientos 116, 118 permite que el grosor local de la estructura híbrida 105 se controle en la dirección de la envergadura S.

35 Mientras que los ejemplos de las Figuras 7b-7f anteriores se refieren a preformas que comprenden dos capas 66 y 68, se apreciará que estas estructuras pueden conseguirse igualmente mediante la disposición de las láminas 66, 68 individualmente en el molde 82 o mediante la formación de preformas que tengan más de dos capas. Los principios explicados anteriormente en relación con las Figuras 7a-7f se aplican a la estructura híbrida 104 mostrada en la Figura 6 y a las estructuras híbridas adicionales que se describirán posteriormente.

40 Con referencia ahora a la Figura 8, la siguiente etapa en el proceso de disposición implica la formación de estructuras híbridas adicionales del revestimiento exterior 48 en zonas adicionales del molde 82. Específicamente se proporciona una segunda estructura híbrida 120 cerca de la punta 96 del molde 82 y se proporcionan tercera y cuarta estructuras híbridas 122, 124 adyacentes a los bordes de ataque y salida 90, 92 del molde 82 respectivamente. Las tercera y cuarta estructuras híbridas 122, 124 se proporcionan en la parte del extremo de raíz 98 del molde 82. Estas estructuras híbridas adicionales 120, 122, 124 se forman de una manera similar a la primera estructura híbrida 104 descrita anteriormente. En particular, cada una de ellas comprende una serie de capas alternas de tejido de fibra de vidrio seco 66 y tejido de fibra de vidrio preimpregnado 68 dispuesto en una relación escalonada.

45 Haciendo referencia a la Figura 9, el proceso de tendido continúa con la colocación de las cabezas de larguero primera y segunda 52, 56 en el molde 82. Tal como se ha descrito previamente, las cabezas de larguero 52, 56 comprenden cada una un apilado de tiras pultrudidas de CFRP. En este ejemplo solamente la primera cabeza de larguero 52 se extiende hasta cerca de la punta 96 del molde 82 pero en otros ejemplos ambas cabezas de larguero 52 y 56 pueden extenderse hasta cerca de la punta 96. Las cabezas de larguero 52, 56 se disponen de modo que un extremo de raíz 126 de cada cabeza de larguero 52, 56 se superpone a la primera estructura híbrida 104 en la parte del extremo de raíz 98 del molde 82, mientras que un extremo de punta 128 de la primera cabeza de larguero 52 se superpone a la segunda estructura híbrida 120 cerca de la punta 96 del molde 82.

50 Las tiras de CFRP primera y segunda 130a, 132a se disponen entonces en la parte adyacente de los bordes de ataque y salida 90, 92 del molde 82 respectivamente. Estas tiras 130a, 132a forman parte de unos tirantes del borde de ataque y salida respectivamente. Un extremo de raíz 134 de la primera tira 130a se superpone en la parte de la tercera estructura híbrida 122 mientras que un extremo de raíz 136 de la segunda tira 132a se superpone en la parte de la cuarta estructura híbrida 124. Las tiras primera y segunda 130a, 132a podrían formarse también a partir de GRP, por ejemplo.

65 Puede verse en las Figuras 8 y 9 que la cuarta estructura híbrida 124 sigue una trayectoria curvada adyacente al borde



de salida 92 del molde 82. La trayectoria curvada se consigue mediante el ajuste del ángulo relativo entre láminas o preformas sucesivas de la estructura híbrida 124. En este ejemplo, las preformas sucesivamente dispuestas se giran ligeramente con respecto a preformas previamente dispuestas de modo que la cuarta estructura híbrida 124 siga la curvatura del borde de salida 92 para conectar el tirante del borde de salida con la raíz de la concha de pala. La relación solapada escalonada entre las láminas permite ventajosamente que la estructura híbrida 124 siga una trayectoria curvada.

Haciendo referencia a la Figura 10, los paneles 50 del material del núcleo de espuma de poliuretano (o de cualquier otro polímero adecuado o madera de balsa) se disponen en el molde 82. Los paneles 50 se disponen a lo largo del borde de ataque 90, entre las cabezas de larguero 52, 56 y a lo largo del borde de salida 92. Se dispone a continuación una pluralidad de insertos de raíz 138 en el extremo de raíz 94 del molde 82. Los insertos de raíz 138 en este ejemplo son estructuras de GRP previamente curadas provistas con un agujero 140 para recibir un perno para conectar la pala 18 al cojinete de paso. Los insertos de raíz 138 se posicionan en la parte superior de la primera estructura híbrida 104 formando al revestimiento exterior 48 de la concha de pala 44.

Haciendo referencia a la Figura 11, se disponen tiras de CFRP tercera y cuarta 130b, 132b en la parte superior de los paneles de espuma 50 en los bordes de ataque y salida 90, 92 del molde 82. Estas tiras 130b, 132b corresponden a las tiras de CFRP primera y segunda 130a, 132a mostradas en la Figura 9 y forman parte de unos tirantes del borde de ataque y salida respectivos. Las tiras tercera y cuarta 130a, 132a podrían formarse también a partir de GRP, por ejemplo.

Haciendo referencia a la Figura 12, la siguiente etapa en el proceso de disposición es el ensamblaje del revestimiento interior 46 (mostrado en la Figura 3). El proceso corresponde sustancialmente a la disposición de la capa exterior 48, aunque a la inversa. En consecuencia, la primera, segunda, tercera y cuarta estructuras híbridas 104a, 120a, 122a, 124a correspondientes a la primera, segunda, tercera y cuarta estructuras híbridas 104, 120, 122, 124 del revestimiento exterior 48 se disponen en el molde 82. Estas estructuras híbridas 104a, 120a, 122a, 124a también comprenden capas alternas de tejido seco y preimpregnado 66, 68 en relación escalonada. Parte de la primera estructura híbrida 104a del revestimiento interior 46 se superpone en los extremos de raíz 126 de las cabezas de larguero primera y segunda 52, 56. Parte de la segunda estructura híbrida 120a del revestimiento interior 46 se superpone en el extremo de punta 128 de la primera cabeza de larguero 52. Parte de las estructuras híbridas tercera y cuarta 122a, 124a del revestimiento interior 46 se superponen en extremos de punta 134, 136 de las tiras de CFRP tercera y cuarta respectivas 130b, 132b de los tirantes del borde de ataque y salida. Una vez se han ensamblado estas partes en el molde 82, se dispone una capa de triax preimpregnada (no mostrada) sobre todo el conjunto para completar el tendido del revestimiento interior. Esto también completa el tendido de la concha.

El tendido de la concha se cubre a continuación con una película de vacío (no mostrada), que se sella contra los bordes 87, 88 del molde para formar una zona sellada que encapsula el tendido. Se extrae el aire desde la zona sellada y se aplica calor. El calor aplicado provoca inicialmente que la resina en las capas preimpregnadas se movilice e infunda a través de los diversos componentes del tendido. Las capas preimpregnadas 68 en las estructuras de revestimiento híbridas comprenden resina en exceso, que se infunde dentro de las capas secas 66. Hay un contenido por lo tanto suficiente de resina en los diversos materiales preimpregnados en el molde, incluyendo las capas de triax que forman las capas más interna y externa de la concha 44, para evitar el requisito de suministrar resina desde una fuente externa durante el proceso de fabricación.

Una vez infundida la resina a todo lo largo de los diversos componentes del tendido, la aplicación continuada de calor hace que la resina cure, es decir se endurezca e integre los diversos componentes de la concha 44 en conjunto. Esto completa el proceso de fabricación de la semiconcha 44. Puede retirarse entonces la película de vacío. La semiconcha de sotavento 42 se fabrica en un proceso sustancialmente idéntico en su semimolde respectivo. Las semiconchas 42, 44 se unen a continuación en conjunto con las almas de conexión 60, 62 mostradas en la Figura 3 situadas entre las semiconchas 42, 44 y unidas a superficies interiores respectivas de las semiconchas 42, 44.

Las diversas estructuras de concha híbrida descritas anteriormente pueden denominarse también como "apilados" dado que están en la forma de apilados de láminas. Los apilados proporcionan grosor adicional y por ello resistencia adicional a la concha de pala en donde es necesaria. El primer apilado 104, 104a conecta los insertos de raíz 138 con las cabezas de larguero 52, 56. Los insertos de raíz 138 y los extremos de raíz 126 de las cabezas de larguero 52, 56 se intercalan entre el primer apilado 104 del revestimiento interior 46 y el primer apilado 104a del revestimiento exterior 48. En la concha exterior 42 acabada de la pala 18, el primer apilado 104, 104a proporciona por lo tanto una sección gruesa y por ello fuerte de la concha exterior 42 que es capaz de transferir las cargas con efectividad desde las cabezas de larguero 52, 56 a la raíz 22 de la pala 18.

El segundo apilado 120, 120a forma una extensión efectiva del extremo de punta 128 de la cabeza de larguero 52 en la punta 24 de la pala 18 y proporciona grosor y refuerzo adicional de la concha exterior 42 de la pala 18 en la punta 24.

Los apilados tercero y cuarto 122, 122a y 124, 124a forman una transición entre los tirantes del borde de ataque y salida y el extremo de raíz 22 de la pala 18. Estos apilados 122, 122a y 124, 124a proporcionan grosor y resistencia

adicional en la concha de pala 42 entre los tirantes y la raíz 22 de la pala 18 y proporcionan de ese modo una trayectoria de carga continua a través de la concha exterior 42 entre los tirantes y la raíz 22 para asegurar que las cargas que actúan sobre los bordes de ataque y salida 26, 28 de la pala 18 se transfieren de modo efectivo a la raíz 22 de la pala 18.

5 La tecnología de concha híbrida descrita anteriormente proporciona muchas ventajas. La pegajosidad de las capas preimpregnadas asegura un posicionamiento rápido y robusto de las láminas secas en el molde, evitando doblado y arrugado de las láminas secas y manteniendo las láminas secas en su posición sin requerir que las capas se cosan juntas.

10 La relación escalonada entre láminas/preformas da como resultado que el tendido sea altamente adaptado a superficies complejas (tales como las superficies con doble curvatura) y pueda formarse fácilmente para conectar los tirantes de transporte de carga. Al variar el escalonado entre láminas o preformas se permite que el grosor local de la estructura de concha se ajuste fácilmente. La relación escalonada entre láminas/preformas permite que las estructuras híbridas se ahúsen en ancho para transitar desde áreas anchas de la concha, por ejemplo en el extremo de raíz de la pala, a áreas más estrechas, por ejemplo donde se sitúan las cabezas de larguero. La relación escalonada de las zonas también permite que se usen láminas relativamente cortas para producir apilados de laminados gruesos. Esto asegura una buena capacidad de cobertura de las láminas en el molde permitiendo que las láminas se adapten con precisión a los contornos del molde sin arrugas.

20 Las capas secas intercaladas entre capas preimpregnadas mejoran el transporte del vacío a través del grosor de las capas dado que las capas secas facilitan la extracción del aire. Esto permite que se creen estructuras gruesas mientras se evita el requisito de des-acumulación, que se requiere normalmente cuando se apilan diversas capas preimpregnadas una encima de la otra para formar una estructura gruesa.

25 Las capas preimpregnadas proporcionan suficiente resina para fundir dentro de las capas secas evitando por lo tanto la necesidad de suministrar resina adicional al molde. Esto elimina el requisito de los sistemas de manejo y almacenamiento de resina, bombas de mezclado de resina y medios de infusión, que se requieren típicamente cuando se trabaja con medios secos y procesos de infusión de resina. Evita también la posibilidad de errores de mezcla de resina, etc. Permite adicionalmente que el ciclo de curado comience inmediatamente después del embolsado en vacío. La resina solo necesita fluir al interior de capas contiguas. En consecuencia, cualesquiera fugas que puedan desarrollarse en el proceso de vacío es menos probable que comprometan la estructura de la concha.

30 El coste de los materiales se reduce en comparación con técnicas estándar, dado que se requieren menos capas preimpregnadas en comparación con procesos de preimpregnado estándar y se evitan sistemas de manejo de resina en comparación con los procesos de infusión en seco estándar.

35

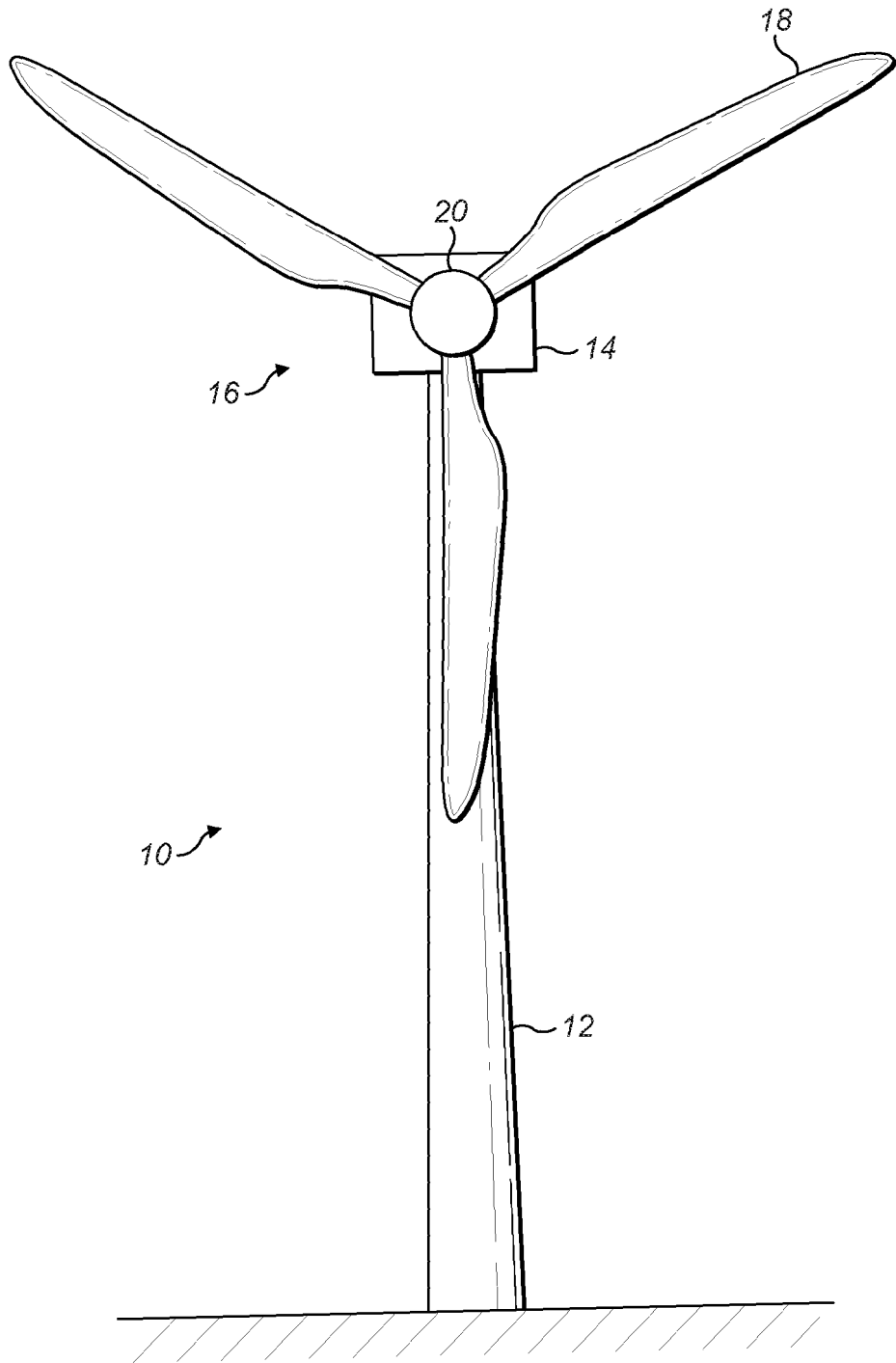
**REIVINDICACIONES**

1. Un método de fabricación de un componente de pala de turbina eólica (18) que comprende una concha exterior (38) que tiene una estructura laminada, comprendiendo el método:
  - 5 proporcionar un molde de pala (82) que define una forma de al menos parte de la concha exterior de la pala, extendiéndose el molde en una dirección de la envergadura entre un extremo de raíz (94) y un extremo de punta (96) y extendiéndose en una dirección de la cuerda entre un borde de ataque (90) y un borde de salida (92);
  - 10 proporcionar una pluralidad de láminas secas (66) que comprenden material fibroso estructural seco;
  - 15 proporcionar una pluralidad de láminas preimpregnadas (68) que comprenden material fibroso estructural impregnado con resina;
  - disponer la pluralidad de láminas secas (66) y la pluralidad de láminas preimpregnadas (68) en el molde (82) para formar una pluralidad de capas de la estructura laminada de la concha exterior (38) de la pala, en el que las láminas se disponen en el molde de modo que las láminas secas (66) se intercalan con láminas preimpregnadas (68) para formar una estructura de concha híbrida (105) en la que las láminas se disponen en una relación escalonada de modo que los bordes correspondientes de las láminas secas están desfasados entre sí en la dirección de la envergadura y/o de la cuerda del molde y/o los bordes correspondientes de las láminas preimpregnadas están desplazados entre sí en la dirección de la envergadura y/o de la cuerda del molde (82).
- 20 2. El método de la reivindicación 1, en el que el método comprende la disposición de una o más preformas (106) en el molde (82) para formar la estructura de concha híbrida (105), en el que cada preforma comprende al menos una lámina seca (66) de la pluralidad de láminas secas adherida a al menos una lámina preimpregnada (68) de la pluralidad de láminas preimpregnadas.
- 25 3. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, que comprende formar la estructura de concha híbrida (105) a partir de la pluralidad de láminas secas (66) y de la pluralidad de láminas preimpregnadas (68) fuera del molde (82) y la elevación de la estructura de concha híbrida al interior del molde.
4. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que el método comprende formar la estructura de concha híbrida (105) en una o más zonas discretas del molde (82) correspondientes a zonas de la concha exterior (38) en donde se requiere un grosor incrementado.
- 30 5. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que el método comprende la formación de la estructura de concha híbrida (105) en el extremo de raíz (94) del molde (82) y/o en el extremo de punta (96) del molde y/o adyacente al borde de ataque (90) del molde y/o adyacente al borde de salida (92) del molde.
- 35 6. El método de cualquier reivindicación anterior, que comprende adicionalmente disponer o formar un elemento de refuerzo alargado (52) tal como una cabeza de larguero o un tirante en el molde (82) de modo que uno o ambos extremos de la estructura de refuerzo se disponen en la parte superior de, o entre, una o más láminas de la estructura de concha híbrida (105).
- 40 7. El método de la reivindicación 6, que comprende disponer la estructura de concha híbrida (105) para formar una continuación del elemento de refuerzo (52) en el extremo de raíz (94) y/o en el extremo de punta (96) del molde (82).
- 45 8. El método de la reivindicación 7, en el que un primer extremo del elemento de refuerzo (52) está separado del extremo de raíz (94) del molde (82) y la estructura de concha híbrida (105) se dispone para extenderse en una dirección de la envergadura entre el extremo de raíz del molde y el primer extremo del elemento de refuerzo.
- 50 9. El método de la reivindicación 8, en el que la estructura de concha híbrida (105) se ahúsa en el ancho en la dirección de la cuerda al moverse desde el extremo de raíz (94) del molde hacia el primer extremo del elemento de refuerzo (52).
10. El método de cualquier reivindicación anterior, que comprende adicionalmente proporcionar uno o más insertos de raíz (138) en el extremo de raíz (94) del molde en la parte superior de, o entre, láminas de la estructura de concha híbrida (105).
- 55 11. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que la estructura de concha híbrida (105) se dispone para formar parte de un revestimiento interior y/o exterior de la concha exterior de la pala (38).
- 60 12. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que el método comprende proporcionar una capa inicial de material preimpregnado (86) en el molde (82) previamente a la disposición de la estructura de concha híbrida en la parte superior.
- 65 13. El método de cualquier reivindicación anterior, que comprende adicionalmente incrementar la temperatura de las láminas para hacer que la resina desde las láminas preimpregnadas (68) se infunda dentro de las láminas secas (66).

14. El método de cualquier reivindicación anterior, que comprende adicionalmente el curado de la resina.

15. El método de cualquier reivindicación anterior, que comprende adicionalmente integrar los materiales que comprenden la concha exterior de la pala conjuntamente por medio de la resina contenida en los materiales preimpregnados (68) y sin suministro de resina adicional desde una fuente externa.

5



**FIG. 1**

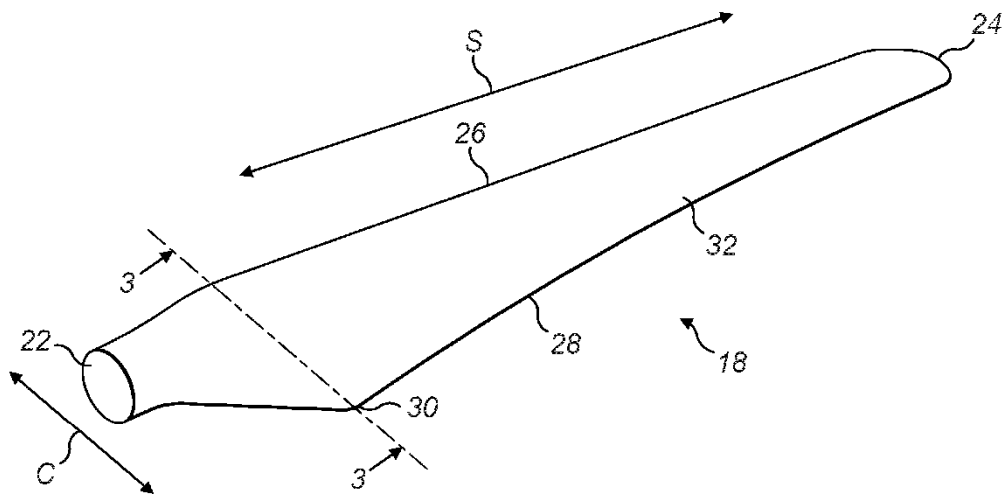


FIG. 2

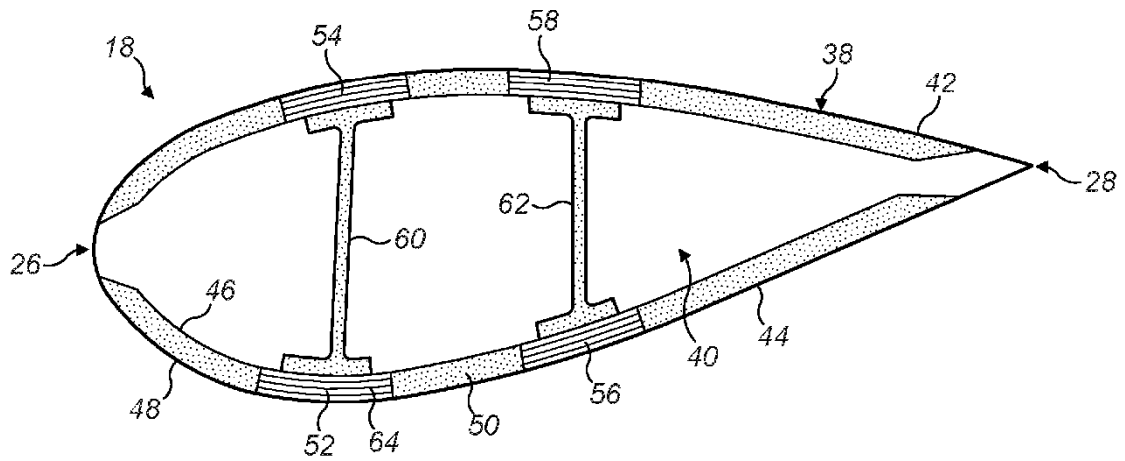


FIG. 3

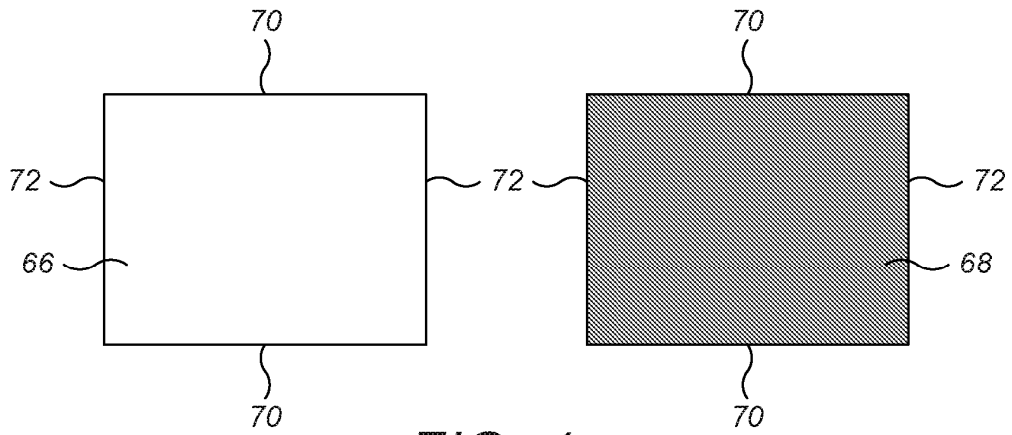


FIG. 4a

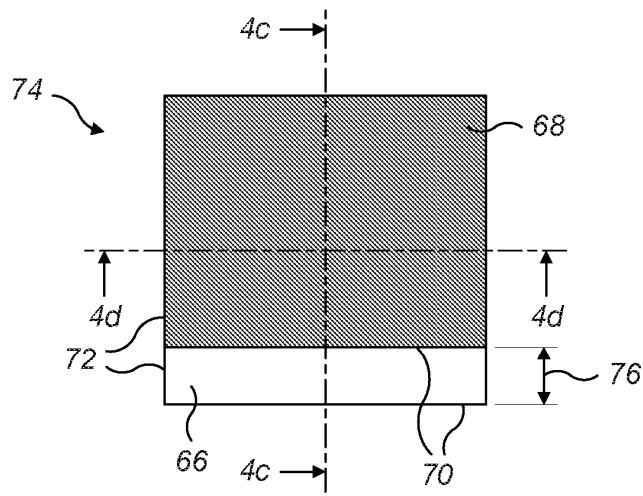


FIG. 4b

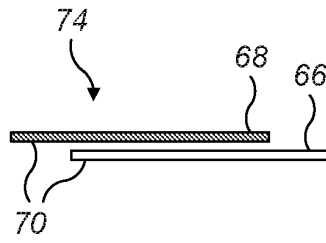


FIG. 4c

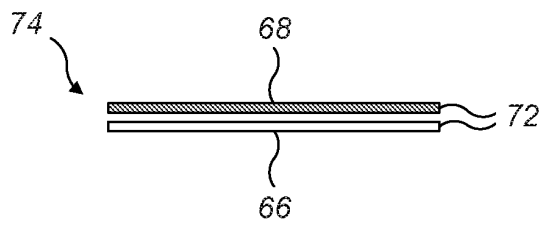


FIG. 4d

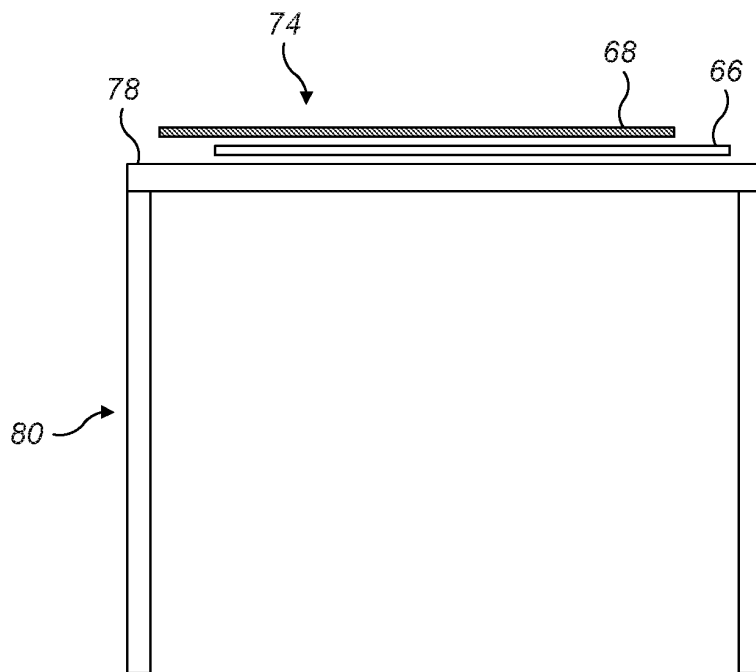
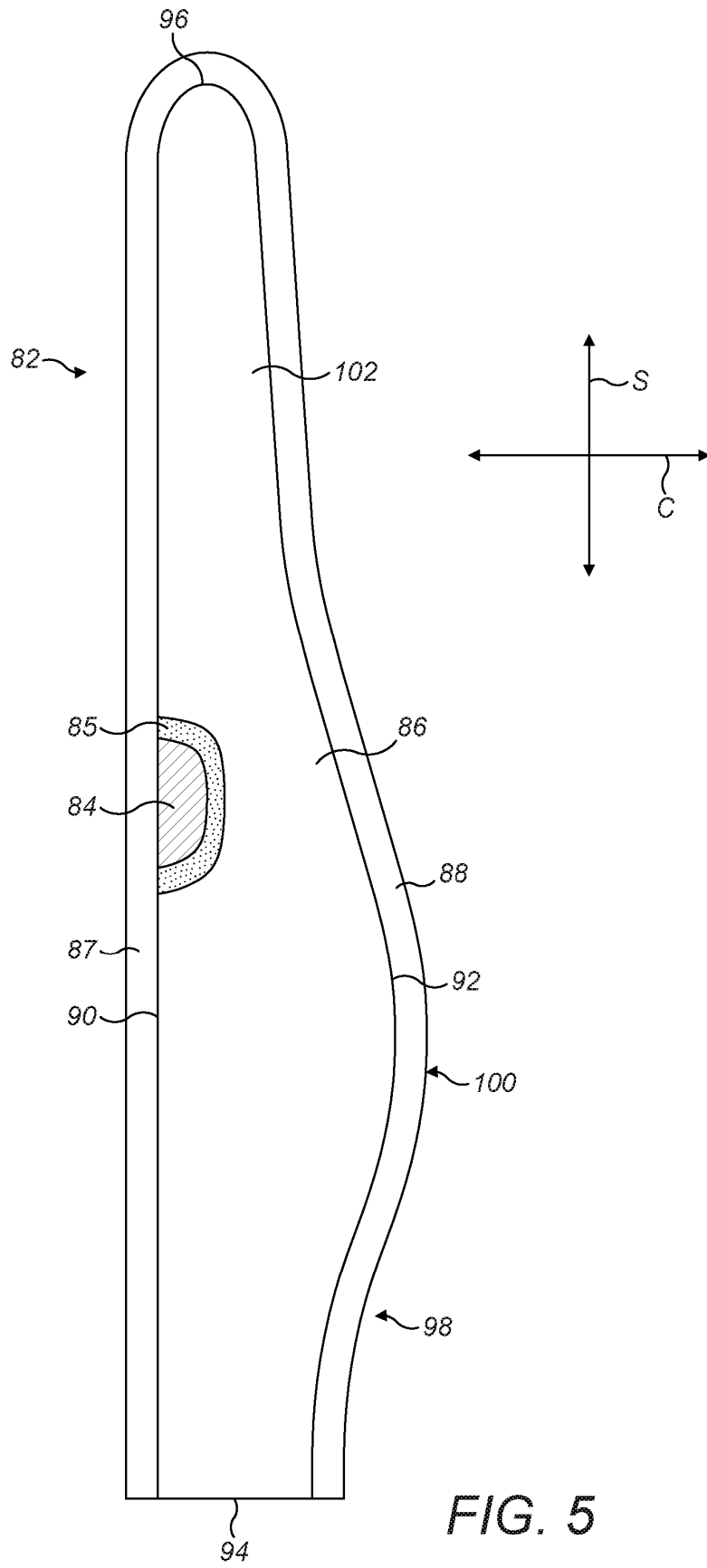


FIG. 4e





**FIG. 5**

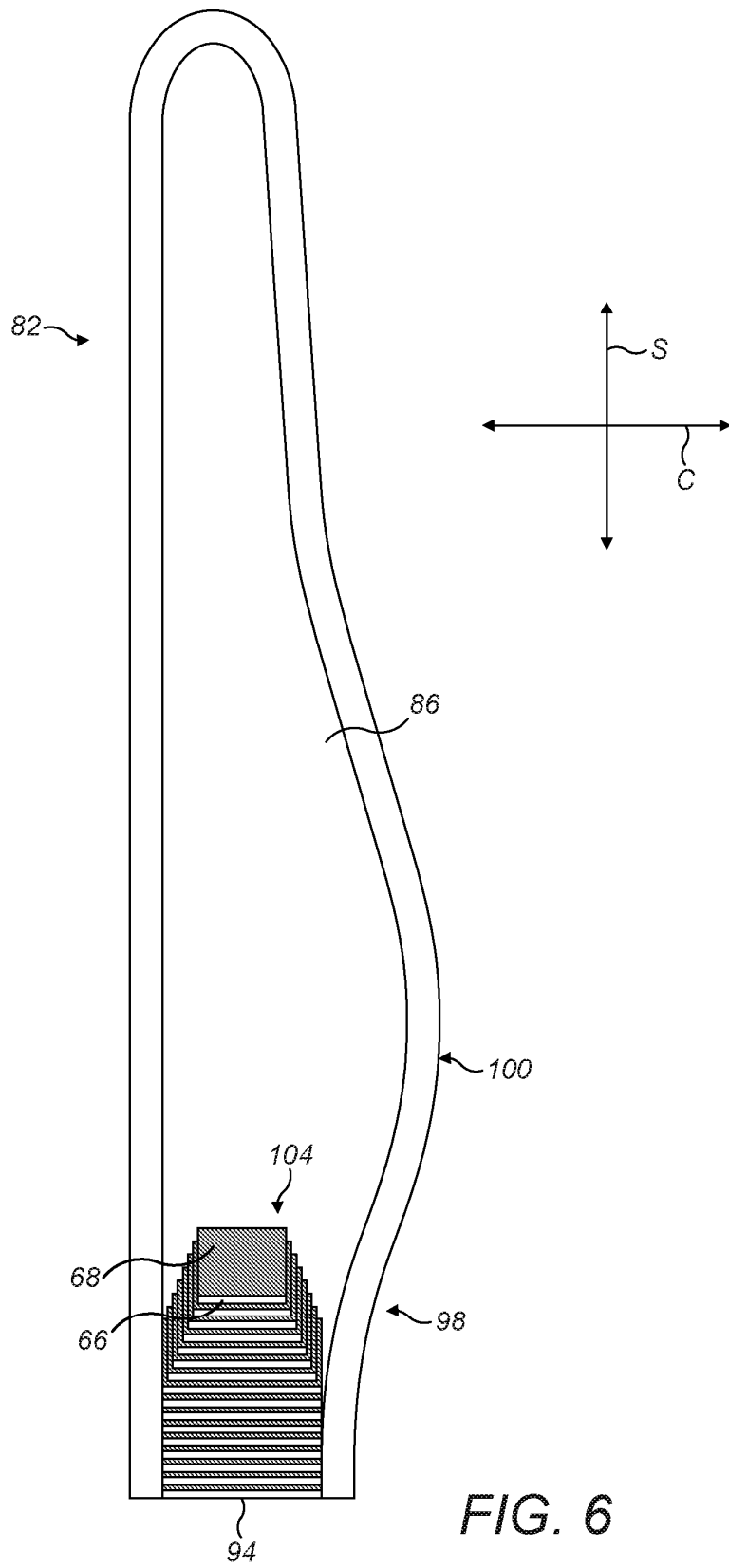


FIG. 6

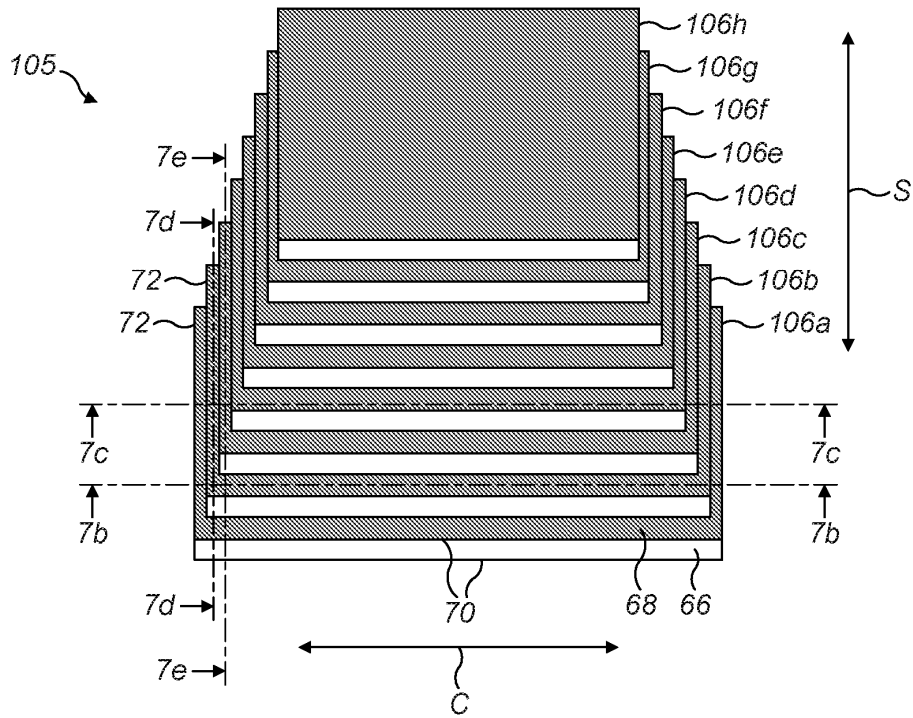


FIG. 7a

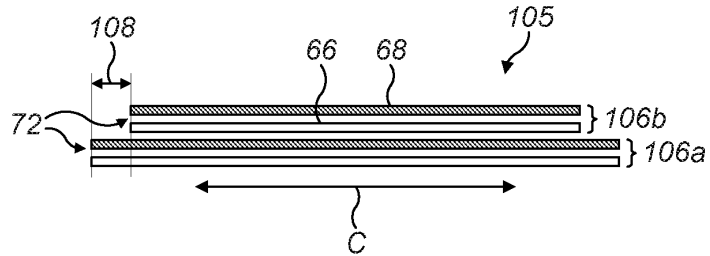


FIG. 7b

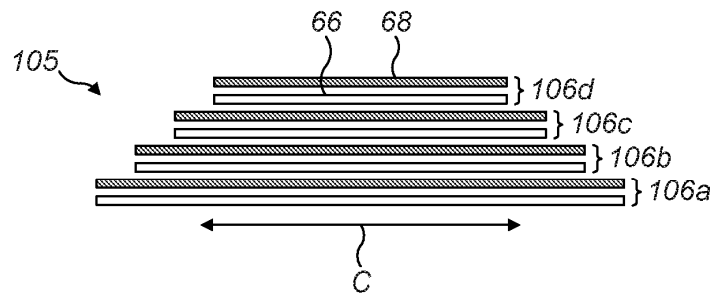


FIG. 7c

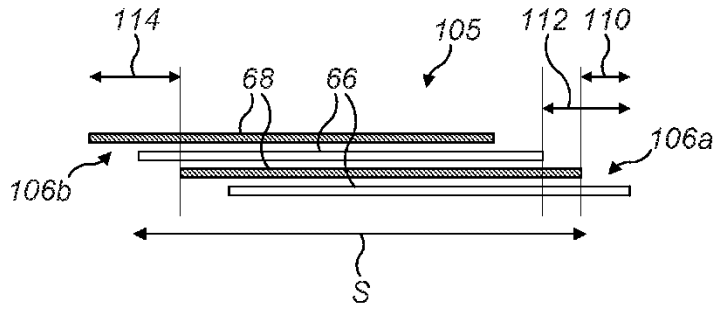


FIG. 7d

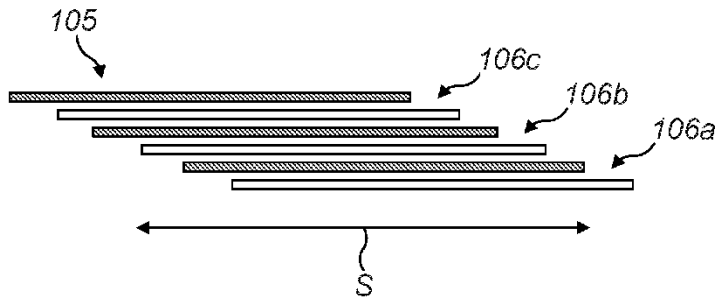


FIG. 7e

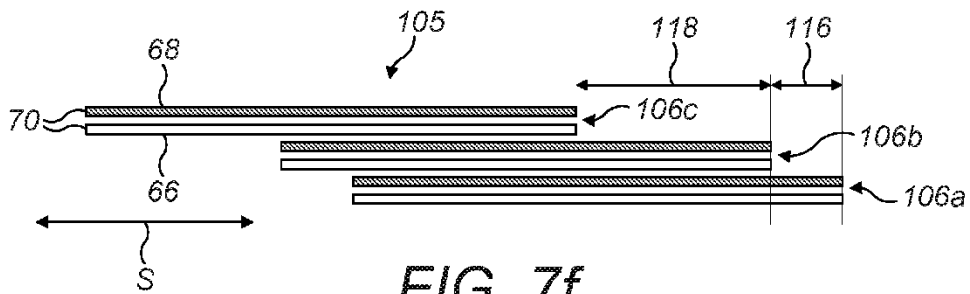


FIG. 7f

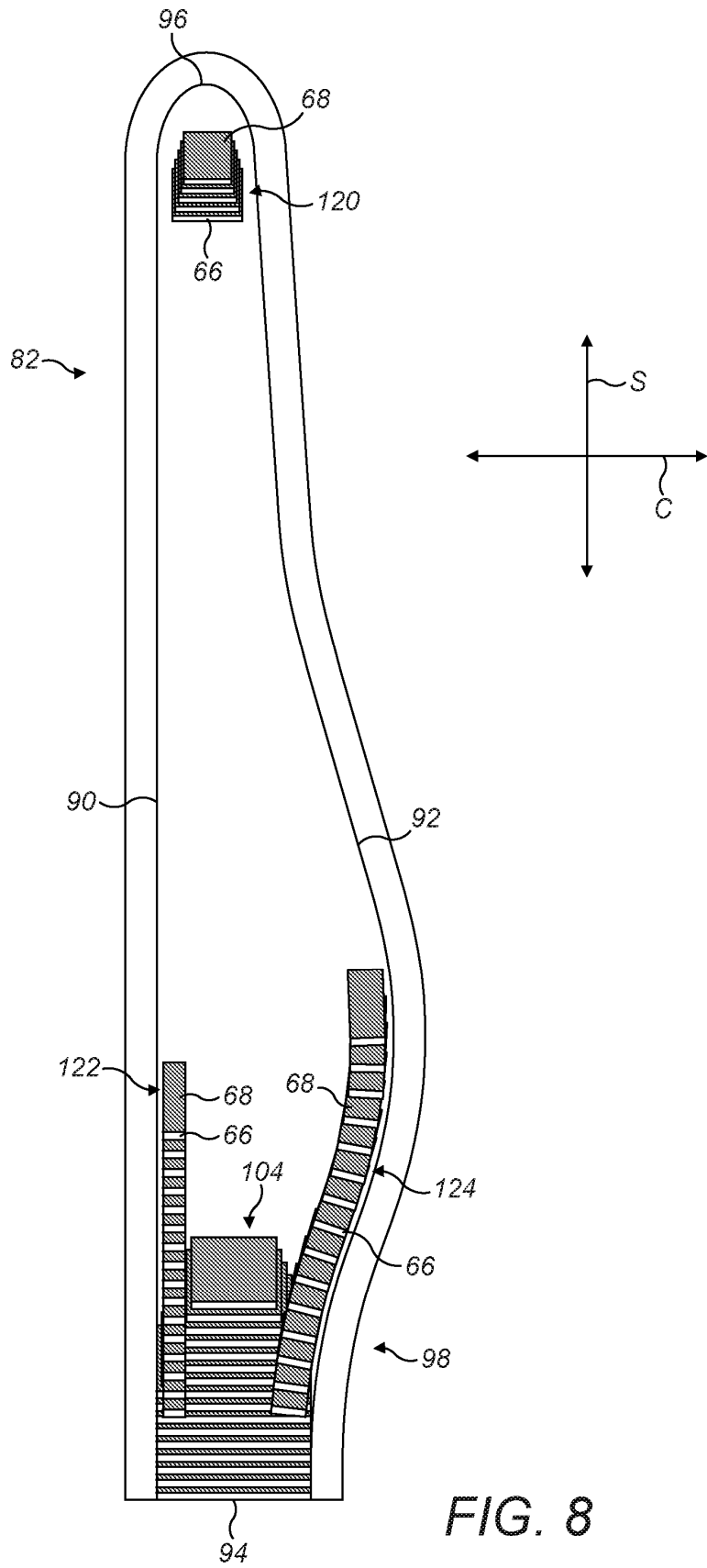


FIG. 8

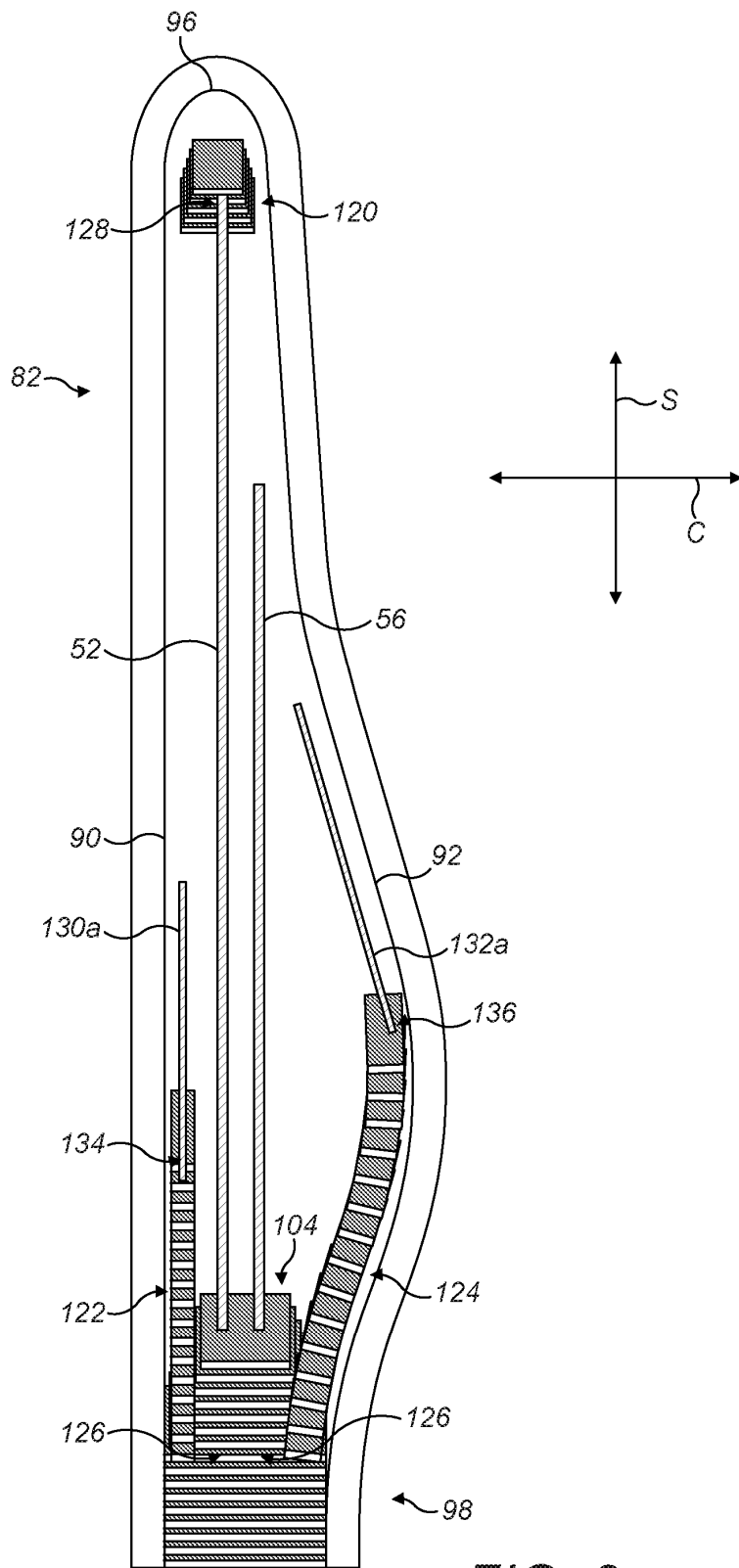


FIG. 9

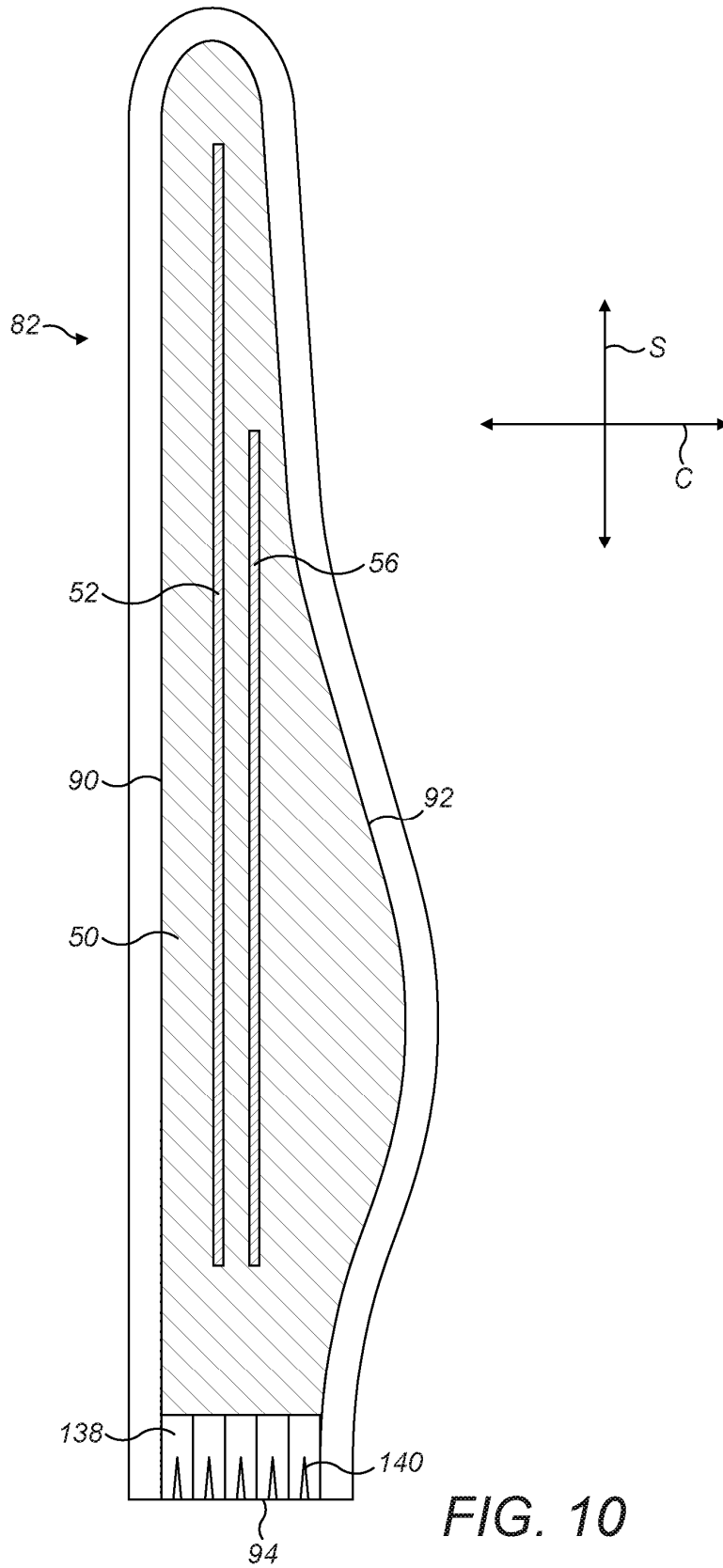


FIG. 10

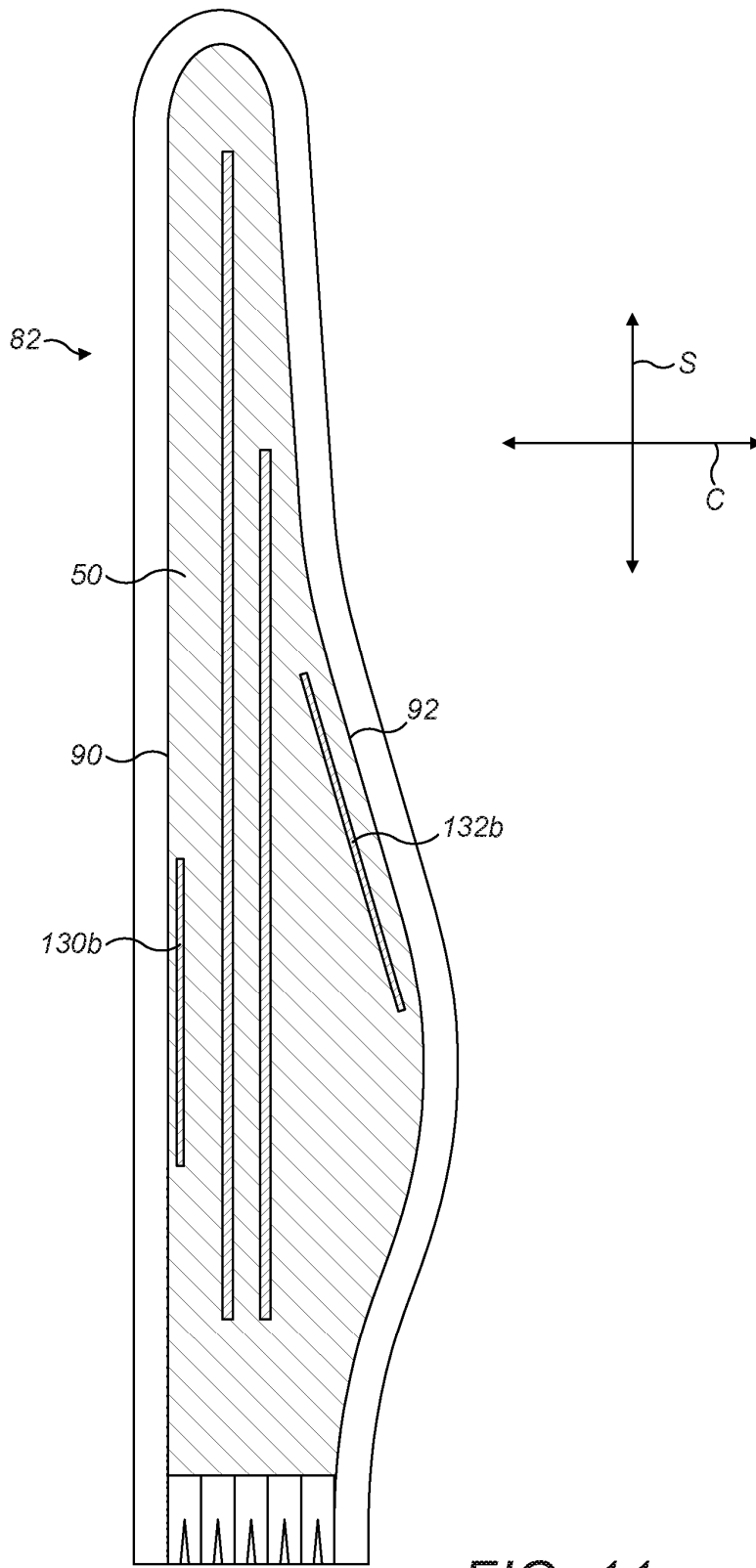


FIG. 11



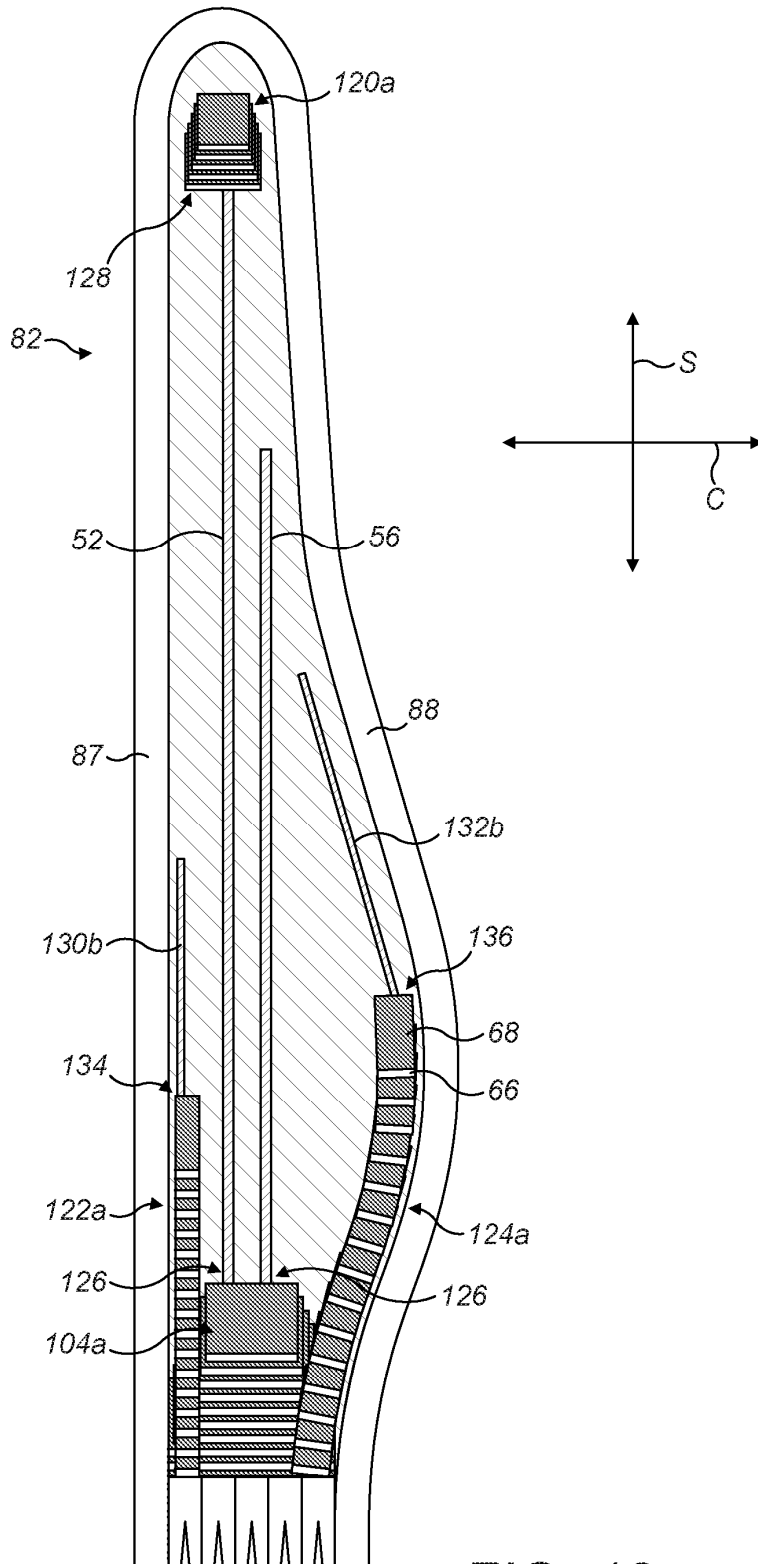


FIG. 12