

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 967 476**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.02.2021 PCT/DK2021/050037**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.08.2021 WO21155896**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.02.2021 E 21706481 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.11.2023 EP 4100644**

54 Título: **Inserto para conectar una pala de turbina eólica a un cubo de rotor de una turbina eólica**

30 Prioridad:

**06.02.2020 DK PA202070074**

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

**30.04.2024**

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 2 967 476 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 conectar una pala de turbina eólica a un cubo de rotor de una turbina eólica

5 **Campo técnico**

Esta invención se refiere en general a turbinas eólicas y, más particularmente, a un inserto mejorado colocado en el extremo de raíz de una pala de turbina eólica para conectar la pala a un cubo de rotor de una turbina eólica.

10 **Antecedentes**

Los generadores de turbina eólica se usan para producir energía eléctrica usando un recurso renovable y sin la combustión de un combustible fósil. Un generador de turbina eólica convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica e incluye una torre, una góndola montada sobre la torre, un cubo de rotor soportado de forma giratoria por la góndola y una pluralidad de palas de rotor unidas al cubo. El cubo está acoplado a un generador alojado dentro de la góndola. En consecuencia, cuando el viento fuerza a las palas a girar, se produce energía eléctrica por parte del generador.

En los últimos años, la energía eólica se ha convertido en una fuente de energía alternativa más atractiva y el número de turbinas eólicas, parques eólicos, etc. ha aumentado significativamente, tanto en tierra como en alta mar. Adicionalmente, el tamaño de las turbinas eólicas también ha aumentado significativamente, extendiéndose las palas de las turbinas eólicas modernas entre 50 y 80 metros de largo y se espera que la longitud de las palas de turbina eólica aumente aún más en el futuro. El aumento de la longitud de las palas de turbina eólica ha introducido un número de consideraciones de diseño interesantes para los diseñadores y fabricantes de turbinas eólicas. Por ejemplo, con el aumento de la longitud de la pala, la junta entre la pala de la turbina eólica y el cubo de rotor puede experimentar mayores tensiones que presentan desafíos de diseño para garantizar que la junta pueda soportar las cargas esperadas durante la vida útil de la turbina eólica.

Las juntas convencionales entre las palas de rotor de turbina eólica y el cubo de rotor incluyen pernos prisioneros roscados acoplados desde el extremo de raíz de la pala de la turbina eólica y se extienden desde este, que a su vez están acoplados a un cojinete de paso asociado al cubo de rotor. Las palas de turbina eólica normalmente están hechas de uno o más materiales compuestos formados por material fibroso y resina. Dichos materiales generalmente no tienen la integridad estructural para proporcionar un mecanismo de fijación seguro en el que se puedan insertar directamente los pernos prisioneros roscados. Un agujero u orificio, por ejemplo, se puede roscar en el material compuesto en el extremo de raíz de la pala de turbina eólica para proporcionar una rosca complementaria sobre la cual el perno prisionero puede lograr una conexión. Sin embargo, el material compuesto tiene una resistencia a la cizalladura insuficiente para transferir las cargas entre las palas y el cubo a través de los pernos prisioneros y se produciría el deterioro del material compuesto en la interfaz.

Por esta razón, es generalmente conocido utilizar bujes metálicos roscados internamente en la interfaz entre los pernos prisioneros roscados y el material compuesto en el extremo de raíz de la pala de turbina eólica. En este sentido, los orificios roscados se forman típicamente a lo largo de la circunferencia del extremo de raíz de la pala de turbina eólica. A continuación, los bujes metálicos se colocan dentro de los orificios roscados y se pegan con adhesivo a los mismos para incrustar esencialmente los bujes metálicos dentro del material compuesto de la pala de turbina eólica. A continuación, los pernos prisioneros se enroscan con los bujes metálicos en el extremo de raíz de la pala. Las fuerzas que actúan entre la pala de rotor y el cubo de rotor actúan a través de los pernos prisioneros y, por tanto, se transmiten a través de los bujes metálicos, que operan para distribuir más uniformemente las fuerzas sobre el área de interfaz con el material compuesto más blando. Las características de distribución de fuerza proporcionadas por los insertos metálicos, a su vez, proporcionan una junta de conexión con una integridad estructural suficiente para proporcionar una conexión segura entre el cubo de rotor y la pala durante el uso.

Si bien las uniones de conexión actuales son suficientes para lograr el propósito previsto de soportar las cargas entre las palas de turbina eólica y el cubo de rotor, un inconveniente es que a medida que el tamaño de las palas de turbina eólica continúa aumentando, el tamaño de la junta de conexión tendrá, generalmente, que aumentar. Por tanto, el tamaño de la pala en el extremo de raíz tendrá que aumentar (por ejemplo, diámetros cada vez mayores) y el tamaño del cubo de rotor y el cojinete de paso tendrán que aumentar correspondientemente, todo lo cual da como resultado aumentos significativos en los costos de materiales y fabricación. Adicionalmente, el número, la longitud y/o el diámetro de los bujes metálicos generalmente deben aumentar para adaptarse a las tensiones de cizalladura en el adhesivo de pegado que une los bujes metálicos y el material compuesto. De nuevo, esto aumenta los costes de material y fabricación.

Se han realizado algunos intentos para aumentar la longitud de la pala de turbina eólica sin aumentar el tamaño o el diámetro del extremo de raíz de la pala que interactúa con el cubo de rotor. Por ejemplo, un enfoque usa un diseño de "doble cono" para mejorar la resistencia de los bujes dentro del material compuesto en el extremo de raíz de la pala de turbina eólica. Un buje de doble cono de este tipo es el tema del documento EP 3390811 del cesionario. Este diseño busca aumentar el área superficial de metal compuesto proporcionando dos regiones de cono estrechadas en el buje.

Si bien un diseño de este tipo proporciona una mayor resistencia en la junta de conexión entre la pala y el cubo de rotor y, en general, tiene éxito para su propósito previsto, el diseño requiere un buje de dos piezas y un orificio formado especialmente en el material compuesto en el extremo de raíz de la pala para adaptarse a la configuración de doble cono. Estos factores aumentan los costos del proceso de fabricación a través de piezas adicionales y procesos de fabricación relativamente complejos. El documento US2019/0264650 también describe medios de conexión para palas de turbina eólica.

En vista de los inconvenientes anteriores, los fabricantes buscan continuamente diseños mejorados para las uniones de conexión entre el extremo de raíz de una pala de turbina eólica y un cubo de rotor. Más particularmente, los fabricantes de turbinas eólicas buscan un inserto mejorado en el extremo de raíz de una pala de turbina eólica que proporcione mayor resistencia y una junta de conexión mejorada sin los altos costos y las complejidades de fabricación que se observan en las uniones de conexión existentes.

**Sumario**

Se divulga un inserto mejorado para conectar una pala de turbina eólica a un cubo de rotor de una turbina eólica. El inserto incluye un buje con un cuerpo principal que tiene un primer extremo, un segundo extremo, un orificio central abierto al primer extremo y que se extiende hacia el segundo extremo, una superficie interior y una superficie exterior. Una pluralidad de nervios alargados se extiende desde al menos una de las superficies interior y exterior del cuerpo principal y se extiende además a lo largo de al menos una parte de una longitud del cuerpo principal. La pluralidad de nervios en el cuerpo principal define una pluralidad de canales, cada canal formado por una sección de la al menos una de las superficies interior y exterior del cuerpo principal y un par adyacente de la pluralidad de nervios. El inserto incluye además una pluralidad de incrustaciones compuestas, en donde cada incrustación compuesta se coloca dentro de uno respectivo de la pluralidad de canales del buje.

En una realización, la pluralidad de nervios alargados se extiende desde la superficie exterior del cuerpo principal del buje. Como alternativa, la pluralidad de nervios alargados se puede extender desde la superficie interior o desde las superficies tanto interior como exterior. Cada uno de la pluralidad de nervios alargados se encuentra dentro de un plano radial a través de un eje central del inserto. En una realización, cada uno de la pluralidad de nervios alargados tiene un primer extremo separado del primer extremo del cuerpo principal y un segundo extremo que termina en el segundo extremo del cuerpo principal. Una altura de cada uno de la pluralidad de nervios alargados puede variar a lo largo de la longitud del cuerpo principal. Por ejemplo, la altura de la pluralidad de nervios alargados puede ser sustancialmente cero en el primer extremo de los nervios (por ejemplo, un punto afilado) y la altura de la pluralidad de nervios alargados puede ser máxima en el segundo extremo de los nervios. Una anchura de cada uno de la pluralidad de canales puede variar a lo largo de la longitud del cuerpo principal. Por ejemplo, la anchura de cada uno de la pluralidad de canales puede disminuir en una dirección hacia el segundo extremo del cuerpo principal. En una realización, la superficie exterior del cuerpo principal puede incluir una sección cilíndrica adyacente al primer extremo del cuerpo principal y una sección cónica adyacente al segundo extremo del cuerpo principal. Adicionalmente, la superficie interior del cuerpo principal puede incluir una sección cónica adyacente al segundo extremo del cuerpo principal. En otras palabras, las superficies interior y exterior del cuerpo principal se pueden estrechar adyacentes al segundo extremo. En una realización, el orificio central puede incluir una parte roscada para recibir de forma roscada un perno prisionero y un bolsillo expandido inmediatamente adyacente a la parte roscada para aliviar las tensiones en la rosca inicial cuando el perno prisionero se acopla con el inserto.

Cada una de la pluralidad de incrustaciones compuestas puede llenar sustancialmente el respectivo de la pluralidad de canales en los que se recibe para dar al inserto una forma o configuración más regular a la superficie nervada. Por ejemplo, el inserto puede incluir una superficie exterior formada por la pluralidad de nervios y la pluralidad de incrustaciones compuestas y, en una realización, la superficie exterior del inserto puede tener una configuración cilíndrica adyacente al primer extremo del buje y una configuración cónica adyacente al segundo extremo del buje. Cada una de la pluralidad de incrustaciones compuestas puede incluir laminados de fibras unidireccionales, en donde las fibras unidireccionales están generalmente orientadas en la dirección longitudinal del inserto. En un ejemplo de realización, cada una de la pluralidad de incrustaciones compuestas se extiende más allá del segundo extremo del buje para definir una extensión tubular que se extiende desde el segundo extremo del buje y que tiene una superficie exterior y una superficie interior. La superficie exterior de la extensión tubular puede tener una configuración cónica y la superficie interior de la extensión tubular también puede tener una configuración cónica.

En una realización, el inserto incluye además un forro compuesto interior acoplado a la superficie interior del inserto. Por ejemplo, el forro interior se puede acoplar a la superficie interior del buje (es decir, en el orificio central). En otra realización, el forro compuesto interior también se extiende a lo largo de la superficie interior de la extensión tubular. En una realización, el buje puede estar formado por metal de modo que el inserto tenga una construcción que incluya tanto una parte metálica como una parte compuesta. El inserto está configurado para tener una configuración de superficie exterior regular y una configuración de superficie interior. A modo de ejemplo, la superficie exterior del inserto puede tener una configuración cilíndrica y/o cónica. De forma similar, la superficie interior del inserto puede tener una configuración cilíndrica y/o cónica. El inserto está configurado para ser recibido dentro de un orificio en el extremo de raíz de la pala de turbina eólica. El orificio puede tener una configuración regular y formarse sin la necesidad de procesos de fabricación costosos y complejos para adaptarse a geometrías complejas del inserto. Asimismo, el inserto

está configurado para ser rotacionalmente simétrico, de modo que el inserto se pueda colocar dentro del orificio en cualquier orientación. Aunque el inserto comprende un buje integrado con algún material compuesto, se puede considerar como un inserto híbrido porque tiene esencialmente el atributo rotacionalmente simétrico de un buje, mientras que, sin embargo, se configura como un inserto.

5 En una realización adicional, una pala de turbina eólica incluye una pluralidad de orificios formados en el extremo de raíz de la pala de turbina eólica y una pluralidad de insertos, en donde cada uno de la pluralidad de insertos es como se ha descrito anteriormente y se recibe dentro de una respectiva de la pluralidad de orificios en el extremo de raíz de la pala. Se pueden unir de forma roscada pernos prisioneros a cada uno de los insertos para unir la pala de turbina eólica al cubo de rotor. En todavía otra realización, una turbina eólica incluye una pala de turbina eólica como se ha descrito anteriormente.

### Breve descripción de los dibujos

15 Los dibujos adjuntos, que están incorporados en esta memoria descriptiva y forman parte de la misma, ilustran las realizaciones de la invención y, junto con una descripción general de la invención dada anteriormente y la descripción detallada dada a continuación, sirven para explicar la invención.

20 La figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica en la que se pueden usar realizaciones de la invención; la figura 2 es una vista en perspectiva de una pala de turbina eólica y cubo de rotor que tiene una junta de conexión de acuerdo con una realización de la invención;

25 la figura 3 es una vista en perspectiva ampliada de un extremo de raíz de una pala de turbina eólica de acuerdo con una realización de la invención;

la figura 4 es una vista en perspectiva desmontada de un inserto de acuerdo con una realización de la invención;

30 la figura 5 es una vista en perspectiva montada del inserto mostrado en la figura 4;

la figura 6 es una vista en sección transversal desmontada del inserto mostrado en la figura 5;

35 la figura 7 es una vista en sección transversal del inserto mostrado en la figura 5 y un orificio en el extremo de raíz de una pala de turbina eólica;

la figura 8 es una vista en sección transversal del inserto de la figura 5 colocado dentro de un orificio en el extremo de raíz de la pala de turbina eólica; y

40 la figura 9 es una vista en sección transversal del inserto y orificio de la figura 8 tomada a lo largo de la línea 9-9.

### Descripción detallada

45 Con referencia a la figura 1, una turbina eólica 10 incluye una torre 12, una góndola 14 dispuesta en la cima de la torre 12 y un rotor 16 operativamente acoplado a un generador (no mostrado) alojado dentro de la góndola 14. Además del generador, la góndola 14 puede alojar varios componentes necesarios para convertir la energía eólica en energía eléctrica y para poner en funcionamiento y optimizar el rendimiento de la turbina eólica 10. La torre 12 soporta la carga presentada por la góndola 14, el rotor 16 y otros componentes de la turbina eólica alojados dentro de la góndola 14 y funciona para elevar la góndola 14 y el rotor 16 a una altura por encima del nivel del terreno o nivel del mar, según sea el caso, en el que normalmente se encuentran corrientes de aire que tienen menor turbulencia y mayor velocidad.

50 El rotor 16 puede incluir un cubo 18 de rotor central y una pluralidad de palas 20 unidas al cubo 18 central en ubicaciones distribuidas alrededor de la circunferencia del cubo 18 central. En la realización representativa, el rotor 16 incluye tres palas 20, sin embargo, el número puede variar. Las palas 20, que sobresalen radialmente hacia fuera desde el cubo 18 de rotor central, están configuradas para interactuar con las corrientes de aire pasante para producir fuerzas giratorias que provocan que el cubo 18 central gire alrededor de su eje longitudinal. El diseño, la construcción y el funcionamiento de las palas 20 resultan familiares para una persona con experiencia en la técnica del diseño de turbinas eólicas y pueden incluir aspectos funcionales adicionales para optimizar el rendimiento. Por ejemplo, el control del ángulo de paso de las palas 20 se puede implementar mediante un mecanismo de control de paso (no mostrado) que responde a la velocidad del viento para optimizar la producción de potencia en condiciones de poco viento y para estabilizar las palas si la velocidad del viento supera las limitaciones de diseño.

65 El rotor 16 puede estar acoplado a la caja de engranajes directa o indirectamente a través de un eje principal que se extiende entre el cubo 18 de rotor y la caja de engranajes. El eje principal gira con el rotor 16 y está soportado dentro de la góndola 14 por un soporte de cojinete principal que soporta el peso del rotor 16 y transfiere las cargas del rotor 16 a la torre 12. La caja de engranajes transfiere el giro del rotor 16 a través de un acoplamiento al generador. El viento que supera un nivel mínimo puede activar el rotor 16, haciendo que el rotor 16 gire en una dirección

sustancialmente perpendicular al viento, aplicando par al eje de entrada del generador.

La turbina eólica 10 se puede incluir entre una colección de turbinas eólicas similares que pertenecen a una granja eólica o parque eólico que sirve como una planta de generación de energía conectada mediante líneas de transmisión con la red eléctrica, tal como una red eléctrica trifásica de corriente alterna (CA). La energía eléctrica producida por el generador se puede suministrar a una red eléctrica (no mostrada) o a un sistema de almacenamiento de energía (no mostrado) para su posterior liberación a la red, tal como entenderá un experto en la técnica. La red eléctrica consiste en general en una red de plantas de generación, circuitos de transmisión y subestaciones acopladas a una red de líneas de transmisión que transmiten la potencia a cargas en la forma de usuarios finales y otros clientes de las compañías eléctricas.

Como se ha mencionado anteriormente, para ciertos diseños de turbinas eólicas, las palas 20 de turbina eólica están acopladas al cubo 18 de rotor de una manera que permite que las palas 20 giren o se inclinen alrededor de un eje longitudinal de las palas 20. Esto se logra acoplando el extremo 22 de raíz de una pala 20 a un cojinete 23 de paso acoplado operativamente al cubo 18 de rotor. El cojinete 23 de paso incluye generalmente un anillo giratorio con respecto al cubo 18 al que se acopla el extremo 22 de raíz de la pala 20. Los cojinetes de paso son generalmente bien conocidos en la técnica y, por lo tanto, no se describirán con mayor detalle en el presente documento.

De acuerdo con un aspecto de la invención, y como se ilustra en las figuras 2 y 3, una junta 24 de conexión entre una pala 20 de turbina eólica de la turbina eólica 10 y el cubo 18 de rotor incluye una pluralidad de insertos 26 acoplados a la pala 20 de turbina eólica en el extremo 22 de raíz de la misma y una pluralidad de pernos prisioneros 28 configurados para estar acoplados a los insertos 26 en la pala 20 de turbina eólica y configurados además para acoplarse al cubo 18 de rotor (figura 2), tal como a través del cojinete 23 de paso. Como se ilustra en la figura 3, los insertos 26 pueden estar circunferencialmente espaciados alrededor de una cara 30 de extremo en el extremo 22 de raíz de la pala 20 e incrustados dentro del material de la pala 20 de modo que un extremo de conexión del inserto 26 sobresalga ligeramente (por ejemplo, aproximadamente 5 mm) de la cara 30 de extremo de la pala 20. Los propios insertos 26 y un método para colocar los insertos 26 dentro del material de la pala 20 se describirán con más detalle a continuación. El número de insertos 26 a lo largo de la circunferencia del extremo 22 de raíz de la pala 20 de turbina eólica depende del tamaño de la pala, entre otros posibles factores, pero puede estar entre 80 y 180 insertos para palas de entre 50 y 80 metros de longitud. Sin embargo, se debe tener en cuenta que se pueden usar más o menos insertos 26 dependiendo de la aplicación específica y las necesidades del fabricante.

Los pernos prisioneros 28 son generalmente elementos alargados cilíndricos que tienen un extremo 32 de pala roscado y un extremo 34 de cubo roscado. Como se ilustra en la figura 2, durante el montaje de la turbina eólica 10, los pernos prisioneros 28 están enroscados con los insertos 26 en el extremo 22 de raíz de la pala 20 de turbina eólica de modo que el extremo 34 de cubo roscado de los pernos prisioneros 28 se extiende alejándose del extremo 22 de raíz de la pala 20. A continuación, los pernos prisioneros 28 se alinean con los agujeros correspondientes en el cojinete 23 de paso en el cubo 18 de rotor, insertados a través del mismo y asegurados al cojinete 23 de paso a través de un elemento de sujeción roscado o similar. A través de la junta 24 de conexión, se puede acoplar una pala 20 de turbina eólica de forma segura al cubo 18 de rotor de la turbina eólica 10 y generalmente adapta las cargas aplicadas a las palas 20 de turbina eólica durante la vida útil de la turbina eólica 10.

Una junta 24 de conexión y, en particular, un inserto 26 de la junta 24 de conexión, de acuerdo con una realización de la invención se ilustra en las figuras 4 a 7. Similar a la realización de doble cono del cesionario divulgada en el documento EP 3390811, el inserto 26 está configurado para aumentar el área superficial de metal compuesto de modo que las cargas que se transfieren a través de la junta 24 de conexión se distribuyen en un área mayor, disminuyendo de este modo las tensiones máximas en la junta 24 de conexión y extendiendo la vida a fatiga de la junta 24. El enfoque adoptado para el inserto 26, sin embargo, difiere del divulgado en el documento EP 3390811. Más particularmente, el inserto 26 tiene un diseño que incluye tanto una parte metálica 40 como una parte compuesta 42. Las razones de un diseño de este tipo se aclararán basándose en la descripción a continuación. En cualquier caso, el área superficial compuesta de metal se incrementa proporcionando una pluralidad de nervios en la parte metálica 40 del inserto 26 que interactúa con la parte compuesta 42 del inserto 26 y potencialmente con el material compuesto que forma la pala 20 de turbina eólica. Tal y como se explica en mayor detalle a continuación, los nervios aumentan el área superficial compuesta de metal sobre la cual se transfieren las cargas a través de la junta 24 de conexión, mejorando de este modo la resistencia de la junta 24 de conexión.

En un ejemplo de realización, la parte metálica 40 del inserto 26 incluye un buje metálico 44 que tiene un cuerpo principal 46 generalmente cilíndrico y una pluralidad de nervios 48 que se extienden a lo largo de al menos una parte de la longitud del cuerpo principal 46. El cuerpo principal 46 del inserto 26 incluye un extremo 50 de conexión, un extremo 52 de punta y un orificio central 54 que se extiende hacia dentro desde el extremo 50 de conexión y a través del cuerpo principal 46 hasta el extremo 52 de punta. El orificio central 54 está configurado para recibir un perno prisionero 28 en él, tal como se ilustra en las figuras 7 y 8. El orificio central 54 incluye una primera parte 56 de entrada adyacente al extremo 50 de conexión, una segunda parte roscada 58 adyacente a la parte 56 de entrada, una tercera parte 60 de expansión adyacente a la parte roscada 58 y una cuarta parte 62 de salida adyacente a la tercera parte 60 de expansión. Debe reconocerse que puede haber más o menos partes del orificio central 54. Por ejemplo, la tercera parte 60 de expansión se puede omitir de modo que la parte 62 de salida sea adyacente a la parte roscada 58.

5 En un ejemplo de realización, la parte 56 de entrada del orificio central 54 puede ser generalmente circular en sección transversal, tener paredes laterales lisas y estar dimensionada para recibir el perno prisionero 28 en su interior. Asimismo, la longitud de la parte 56 de entrada a lo largo del orificio central 56 puede estar entre aproximadamente 0,25 D y aproximadamente 3 D, preferentemente entre aproximadamente 0,5 D y aproximadamente 2 D, donde D es el diámetro mayor del extremo 32 de pala roscado del perno prisionero 28 configurado para ser recibido en el orificio central 56. Debería reconocerse, sin embargo, que también son posibles otras longitudes y permanecen dentro del alcance de la presente invención.

10 En un ejemplo de realización, la parte roscada 58 del orificio central 54 incluye roscas internas configuradas para engranarse con las roscas en el extremo 32 de pala del perno prisionero 28. A modo de ejemplo y sin limitación, la parte roscada 58 puede estar configurada para recibir un perno prisionero 28 roscado M20-M50 (y preferentemente un perno roscado M30 o M36 o M42 o de tamaño similar) y tener una longitud a lo largo del orificio central 54 entre aproximadamente 0,5 D y aproximadamente 3 D. También pueden ser posibles otras longitudes y la invención no se limita al intervalo anterior.

15 En un ejemplo de realización, la parte 60 de expansión del orificio central 54 tiene una dimensión transversal mayor que la de la parte roscada 58, en donde el aumento en el tamaño de la cavidad inmediatamente adyacente a las roscas se configura para reducir las concentraciones de tensión en la primera rosca y distribuir más uniformemente las fuerzas entre varias roscas. La parte 60 de expansión puede ser generalmente cilíndrica con un diámetro mayor que el diámetro de la parte roscada 58 y tener paredes laterales lisas. Por ejemplo, el diámetro de la parte 60 de expansión puede ser entre un 5 % y un 50 % mayor que el diámetro de la parte roscada 58. Asimismo, la longitud de la parte 60 de expansión a lo largo del orificio central 54 puede estar entre 0,1 D y 2 D o entre 0,5 D y 1 D o entre 0,5 D y 2 D en varias realizaciones. Se debe reconocer que el diámetro y la longitud de la parte 60 de expansión pueden tener otros valores y permanecer dentro del alcance de la presente invención.

20 La parte 62 de salida del orificio central 54 incluye un extremo proximal 64 en la salida de la parte 60 de expansión y se extiende hasta el extremo 52 de punta del cuerpo principal 46. El primer extremo 64 puede tener un diámetro menor que el de la parte 60 de expansión. En una realización, el diámetro de la parte 62 de salida puede ser generalmente constante a lo largo de la longitud de la parte 62 de salida hasta el extremo 52 de punta del cuerpo principal 46. Por consiguiente, la superficie interior 66 que define la parte 62 de salida puede ser generalmente paralela a un eje central 68 del inserto 26. En una realización alternativa, sin embargo, y como se ilustra en la figura 6, el diámetro de la parte 62 de salida puede variar a lo largo de la longitud de la parte 62 de salida hasta el extremo 52 de punta del cuerpo principal 46. En un ejemplo de realización, por ejemplo, la parte 62 de salida puede incluir una sección 70 generalmente cilíndrica adyacente al extremo proximal 64 en donde el diámetro de la parte 62 de salida puede ser generalmente constante y una parte 72 cónica distalmente adyacente en donde la superficie interior 66 forma un ángulo agudo con respecto al eje central 68 del inserto 26. Por ejemplo, la superficie interior 66 se puede estrechar hacia fuera alejándose del eje central 68 en un intervalo entre aproximadamente 1 grado y aproximadamente 20 grados, preferentemente entre aproximadamente 1 grado y aproximadamente 10 grados. En una realización, el ángulo estrechado puede ser generalmente constante a lo largo de la parte cónica 72. En una realización alternativa, sin embargo, el ángulo estrechado puede variar a lo largo de la parte cónica 72. En otra realización alternativa, la sección cilíndrica 70 adyacente al extremo proximal 64 se puede omitir de modo que la superficie interior 66 de la parte 62 de salida tenga una configuración cónica desde el extremo proximal 64 hasta el extremo 52 de punta del cuerpo principal 46. En un ejemplo de realización, la longitud de la parte 62 de salida a lo largo del orificio central 54 puede estar entre 0,1 D y 4 D o entre 1 D y 5 D en varias realizaciones. Debería reconocerse, sin embargo, que la longitud de la parte 62 de salida puede tener otros valores y permanecer dentro del alcance de la presente invención.

25 En un ejemplo de realización, la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46 puede estar entre aproximadamente 1,5 D y aproximadamente 3 D adyacente al extremo 50 de conexión del cuerpo principal 46, sin embargo, son posibles otros valores. En una realización, el diámetro de la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46 puede ser generalmente constante a lo largo de la longitud del cuerpo principal 46 (por ejemplo, una configuración cilíndrica). Por consiguiente, la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46 puede ser generalmente paralela al eje central 68 del inserto 26. En una realización alternativa, sin embargo, y como se ilustra en las figuras, el diámetro de la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46 puede variar a lo largo de su longitud. En un ejemplo de realización, por ejemplo, la superficie exterior 76 puede incluir una sección 78 generalmente cilíndrica adyacente al extremo 50 de conexión en donde el diámetro de la superficie exterior 76 puede ser generalmente constante y una sección 80 cónica distalmente adyacente en donde la superficie exterior 76 forma un ángulo agudo con respecto al eje central 68 del inserto 26.

30 Por ejemplo, la superficie exterior 76 se puede estrechar hacia dentro hacia el eje central 68 en un intervalo entre aproximadamente 1 grado y aproximadamente 20 grados, preferentemente en un intervalo entre aproximadamente 1 grado y aproximadamente 10 grados. En una realización, el ángulo estrechado puede ser generalmente constante a lo largo de la sección cónica 80. En una realización alternativa, sin embargo, el ángulo estrechado puede variar a lo largo de la parte cónica 80. El ángulo estrechado en la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46 puede ser igual o diferente al ángulo estrechado en la superficie interior 66 de la parte 62 de salida. Adicionalmente, la unión entre la sección cilíndrica 78 y la sección cónica 80 en la superficie exterior 76 puede ser igual o diferente de la unión entre la sección cilíndrica 70 y la sección cónica 72 en la superficie interior 66 del orificio central 54. En otra realización

alternativa, la sección cilíndrica 78 adyacente al extremo 50 de conexión se puede omitir de modo que la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46 tenga una configuración cónica desde el extremo 50 de conexión hasta el extremo 52 de punta.

5 En cualquier caso, el grosor de la pared del cuerpo principal 46 puede disminuir en una dirección desde el extremo 50 de conexión hacia el extremo 52 de punta. A modo de ejemplo, el grosor de la pared puede disminuir entre aproximadamente un 10 % y aproximadamente un 80 % desde el extremo 50 de conexión hasta el extremo 52 de punta. Se prefiere que la pared del extremo de punta sea delgada, por ejemplo, que tenga un grosor de aproximadamente 3 mm o 2 mm o menos. El grosor de la pared del extremo de punta se puede estrechar a cero en el extremo, por ejemplo, terminando en una fileta con un ángulo de entre aproximadamente 20 grados y 45 grados. También es posible una reducción fuera del intervalo indicado. Por ejemplo, el extremo 52 de punta puede ser relativamente afilado y no tener sustancialmente grosor en el extremo del buje 44. En un ejemplo de realización y por razones explicadas con más detalle a continuación, el grosor de pared del cuerpo principal 46 se puede configurar para tener un máximo a lo largo de la parte roscada 58 del orificio central 54. Asimismo, la longitud del cuerpo principal 15 46 puede estar entre aproximadamente 3 D y aproximadamente 10 D. Sin embargo, la longitud del cuerpo principal 46 puede tener otros valores fuera de este intervalo. En un ejemplo de realización, el cuerpo principal 46 del buje 44 puede estar formado por metal, tal como acero. Sin embargo, se debe entender que, en realizaciones alternativas, se pueden usar otros tipos de metales, o incluso otros materiales no metálicos adecuadamente resistentes, para formar el cuerpo principal 46 del buje 44.

20 Como se ha indicado anteriormente, el buje 44 incluye además una pluralidad de nervios 48 que se extienden a lo largo de al menos una parte de la longitud del cuerpo principal 46. Las nervios 48 se pueden extender a lo largo de la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46, a lo largo de la superficie interior 66 del orificio central 54 o a lo largo de tanto la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46 como la superficie interior 66 del orificio central 54. En aras de la brevedad, se proporcionará una descripción de los nervios 48 que están dispuestos en la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46. Un experto habitual en la materia entenderá, sin embargo, cómo aplicar aspectos de la invención a una pluralidad de nervios 48 dispuestos en la superficie interior 66 del orificio central 54 basándose en la descripción detallada proporcionada a continuación. Por tanto, en el presente documento no se proporcionará una realización que detalle nervios exteriores e interiores, pero permanece dentro del alcance de la presente invención.

30 Cada uno de la pluralidad de nervios 48 se puede formar a partir de un elemento 84 de tipo placa alargado, relativamente delgado que tiene un extremo proximal 86, un extremo distal 88, paredes 90, 92 laterales opuestas y bordes 94, 96 opuestos. Los nervios 48 están separados circunferencialmente alrededor del cuerpo principal 46 con el borde interior 94 de cada nervio 48 acoplado a la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46. Esto se puede lograr en algunas realizaciones mediante soldadura, adhesivo u otro elemento de sujeción adecuado. Alternativamente, y preferentemente, los nervios pueden formar parte del cuerpo principal del buje. Por ejemplo, se pueden generar nervios en el buje mecanizando canales en el cuerpo principal del buje. También como alternativa, se pueden proporcionar nervios en un cuerpo principal por fundición o prensado. Cada nervio se puede extender dentro de un plano radial con respecto al eje central 68 del inserto, es decir, los nervios 48 son nervios que se extienden sustancialmente de manera radial. El número de nervios 48 separados circunferencialmente alrededor de la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46 del buje 44 puede estar entre aproximadamente 8 y aproximadamente 20, dependiendo de, por ejemplo, el tamaño del buje 44. Puede ser preferible usar 16 nervios o 12 nervios o 18 nervios. Puede ser preferible una separación uniforme entre todos los nervios. Se debe tener en cuenta, sin embargo, que se pueden proporcionar más o menos nervios 48 dependiendo de la aplicación particular. En un ejemplo de realización, los nervios 48 del buje 44 45 pueden estar formados por metal, tal como acero. Sin embargo, se debe entender que, en realizaciones alternativas, se pueden usar otros tipos de metales, o incluso otros materiales no metálicos adecuadamente resistentes para formar los nervios 48 del buje 44.

50 El extremo proximal 86 de los nervios 48 se puede colocar adyacente o inmediatamente adyacente al extremo 50 de conexión del cuerpo principal 46. En un ejemplo de realización, por ejemplo, el extremo proximal 86 de los nervios 48 se puede separar distalmente del extremo 50 de conexión del cuerpo principal 46, tal como a lo largo de la parte roscada 58 del orificio central 54 del cuerpo principal 46 (es decir, separado desde el extremo de conexión por entre 0,5 D y 3 D). De forma similar, el extremo distal 88 de los nervios 48 se puede colocar adyacente o inmediatamente adyacente al extremo 52 de punta del cuerpo principal 46. En un ejemplo de realización, por ejemplo, el extremo distal 88 de los nervios 48 se puede extender hasta el extremo 52 de punta del cuerpo principal 46. El borde interior 94 de los nervios 48 puede tener una forma que coincida con la forma del cuerpo principal 46 a lo largo del cual se extiende. Por ejemplo, debido a que la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46 puede ser cónica a lo largo de partes del cuerpo principal 46, el borde interior 94 de los nervios 46 generalmente no será paralelo al eje central 68 del inserto 26. En lugar de ello, el borde interior 94 de los nervios 46 tendrá una forma de modo que encaje con la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46 a medida que el nervio 46 se extiende a lo largo de la longitud del cuerpo principal 46. Una disposición de este tipo del extremo proximal 86, el extremo distal 88 y el borde interior 94 se muestra en la figura 6.

65 El borde exterior 96 de los nervios 48 no está necesariamente impuesto por la forma del cuerpo principal 46, pero puede estar impuesto por la forma general deseada para el inserto 26. En otras palabras, cuando el borde interior 94 de los nervios 48 se acopla al cuerpo principal 46, el borde exterior 96 se configura para tener una forma que defina,

- al menos en parte, un contorno exterior del inserto 26. A modo de ejemplo, el borde exterior 96 de los nervios 48 puede tener una forma que define un contorno exterior que tiene una sección 100 generalmente cilíndrica y una sección 102 generalmente cónica. Por tanto, el borde exterior 96 puede incluir una sección adyacente al extremo proximal 86 de modo que cuando los nervios 48 están montados en el cuerpo principal 46 el borde exterior 96 es generalmente
- 5 paralelo al eje central 68 del inserto 26 y una sección distal de modo que cuando los nervios 48 están montados en el cuerpo principal 46 el borde exterior 96 forma un ángulo agudo con respecto al eje central 68 del inserto 26. Por ejemplo, el borde exterior 96 a lo largo de esa sección distal puede estrecharse hacia dentro hacia el eje central 68 en un intervalo entre aproximadamente 1 grado y aproximadamente 20 grados, preferentemente en un intervalo entre aproximadamente 1 grado y aproximadamente 10 grados. En una realización, el ángulo estrechado puede ser
- 10 generalmente constante a lo largo de la sección distal del borde exterior 96. En una realización alternativa, sin embargo, el ángulo estrechado puede variar a lo largo de la sección distal del borde exterior 96. El ángulo estrechado del borde exterior 96 puede ser igual o diferente al ángulo estrechado de la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46. Un disposición de este tipo del borde exterior 96 también se muestra en la figura 6.
- 15 Con el borde interior 94 de los nervios 48 conformado para acoplarse con la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46 y el borde exterior 96 de los nervios 48 moldeado para definir el contorno exterior deseado del inserto 26, la altura de los nervios 48 (es decir, la extensión radial de los nervios) puede variar entre los extremos 86, 88 proximal y distal. A modo de ejemplo, los nervios 48 pueden tener una altura relativamente pequeña en el extremo proximal (por ejemplo, aproximadamente cero en un extremo afilado) y que la altura aumente progresivamente hacia el extremo distal 88. En una realización, la altura máxima puede estar en el extremo distal 88 de los nervios 48 y tener entre aproximadamente
- 20 5 mm de altura y aproximadamente 20 mm, preferentemente entre aproximadamente 8 mm de altura y aproximadamente 16 mm. Otras configuraciones de altura de los nervios 48, sin embargo, también pueden ser posibles en realizaciones alternativas. Se puede preferir que los nervios sean fileteados, redondeados o estrechados en sus bordes exteriores, por ejemplo, en los bordes más extremos.
- 25 La disposición de la pluralidad de nervios 48 dispuestos en la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46 define una pluralidad de ranuras o canales 108 espaciados circunferencialmente que se extienden a lo largo de al menos una parte de la longitud del cuerpo principal 46. Cada canal 108 está formado por la pared lateral 90 de un nervio 48, una parte de la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46 y la pared lateral 92 de un nervio 48 adyacente. La forma de los canales 108 está impuesta al menos en parte por la forma de la superficie exterior 76 del cuerpo principal 46 y la configuración del borde exterior 96 de los nervios 48 que definen el contorno exterior del inserto 26. Por tanto, la altura de los canales 108 (por ejemplo, en la dirección radial) generalmente coincidirá con la altura de los nervios 48. Adicionalmente, los lados de los canales 108 generalmente coincidirán con el espacio circunferencial entre los nervios adyacentes 48 a medida que los nervios se extienden a lo largo del cuerpo principal 46. Por tanto, en una realización,
- 30 y debido a la configuración cónica del cuerpo principal 46, los lados de los canales 108 se pueden estrechar hacia dentro uno hacia el otro en una dirección hacia el extremo distal 88 de los nervios 48. Se debe reconocer que pueden ser posibles otras configuraciones de canales en realizaciones alternativas y que la invención no se limita a las configuraciones de nervios y canales mostradas y descritas en el presente documento.
- 35 Como uno podría imaginar, formar una pluralidad de orificios en la cara 30 de extremo del extremo 22 de raíz de la pala 20 de turbina eólica configurados para recibir los respectivos bujes 44 nervados como se ha descrito anteriormente (es decir, solo los bujes 44 de la figura 4) sería un proceso difícil, lento y costoso que contrarrestaría en gran medida las ventajas proporcionadas por la geometría nevada de los bujes 44. Por tanto, simplemente usar los bujes 44 como la totalidad de los insertos 26 no es una solución viable desde un punto de vista pragmático. De acuerdo
- 40 con un aspecto de la invención, este problema se puede solucionar proporcionando insertos 26 híbridos que tengan una parte compuesta 42 además de la parte metálica 40 proporcionada por el buje 44 mientras sean rotacionalmente simétricos. La parte compuesta 42 está configurada de manera que la formación de orificios en el extremo 22 de raíz de la pala 20 de turbina eólica no es más problemática que los procesos que se usan actualmente en la fabricación de palas. Se contempla, por ejemplo, que los mismos procesos de formación de orificios usados actualmente también
- 45 se puedan usar para formar los orificios que reciben los insertos 26 de la presente invención. Por tanto, las ventajas del buje 44 nervado se pueden utilizar sin los inconvenientes asociados con la formación de orificios para los insertos 26.
- 50 Para este fin y de acuerdo con un aspecto de la invención, el inserto 26 puede incluir una pluralidad de incrustaciones compuestas 110 alargadas, colocada y asegurada cada una dentro de uno respectivo de los canales 108 del buje 44. Una disposición de este tipo se ilustra en las figuras 4 y 5. A modo de ejemplo, las incrustaciones compuestas 110 se pueden pegar con adhesivo dentro de su respectivo canal 108. En un ejemplo de realización, las incrustaciones compuestas 110 tienen una longitud mayor que la longitud de los canales 108 para definir una parte receptora del canal y una parte de extensión que se extiende más allá del extremo 52 de punta del buje 44. La parte receptora del canal de las incrustaciones compuestas 110 tiene una forma para llenar sustancialmente los canales 108 definidos por el cuerpo principal 46 y los nervios 48 del buje 44 y tiene el contorno exterior deseado del inserto 26 (por ejemplo, redondeado en la superficie exterior radialmente). La parte de extensión de la pluralidad de incrustaciones compuestas 110 forman colectivamente una extensión tubular 116 compuesta que tiene un extremo proximal 118 en el extremo 52
- 55 de punta del buje 44 y que se extiende distalmente hasta un extremo 120 de punta de inserto (figura 5). La extensión tubular 116 puede tener una longitud de entre aproximadamente 1 D y aproximadamente 5 D, por ejemplo, entre aproximadamente 2 D y 4 D. Otras longitudes, sin embargo, también son posibles.
- 60
- 65

La superficie exterior 122 de la extensión tubular 116 puede tener una forma configurada para coincidir con la forma del orificio en el extremo 22 de raíz de la pala 20 de turbina eólica (figura 7). En una realización, por ejemplo, la superficie exterior 122 de la extensión tubular 116 puede ser una continuación del contorno exterior del inserto 26 a lo largo del buje 44 (por ejemplo, un ángulo estrechado constante con respecto al eje central 68 del inserto 26). De forma similar, la superficie exterior 124 de la extensión tubular 116 puede tener una forma configurada para coincidir con la forma del orificio en el extremo 22 de raíz de la pala 20 de turbina eólica (figura 7). En una realización, por ejemplo, la superficie interior 124 de la extensión tubular 116 puede ser simplemente una continuación de la superficie interior 66 del orificio central 54 del buje 44 (por ejemplo, un ángulo estrechado constante con respecto al eje central 68 del inserto 26). Debería reconocerse, sin embargo, que las superficies 122, 124 exterior e interior de la extensión tubular 116 pueden tener otras formas y configuraciones y permanecer dentro del alcance de la presente invención.

Las incrustaciones compuestas 110 pueden ser laminados formados a partir de una pila de láminas fibrosas secas que se infusioan con una resina adecuada y se curan. En una realización, las láminas fibrosas pueden incluir fibras o filamentos unidireccionales. Estos se pueden configurar preferentemente para extenderse a lo largo de la extensión longitudinal de las incrustaciones compuestas 110 alargadas (es decir, las fibras o filamentos se extienden en una dirección generalmente paralela al eje central 68 del inserto 26) cuando las incrustaciones compuestas 110 se colocan dentro de los canales 108. En una realización, se puede hacer una losa compuesta grande que tenga una longitud que generalmente corresponde a la longitud deseada de las incrustaciones compuestas 110, un grosor o una altura correspondiente generalmente a un espesor máximo de las incrustaciones compuestas 110 y una anchura que permite que se forme un número seleccionado de incrustaciones compuestas 110 a partir de la losa compuesta. A continuación, la losa se corta en la dirección longitudinal para formar la pluralidad de incrustaciones 110. Las fibras o filamentos pueden ser preferentemente fibras de vidrio, fibras de carbono u otras fibras estructurales. También se pueden preferir mezclas de fibras, por ejemplo, fibras de vidrio y de carbono.

Posteriormente, las diversas superficies de las incrustaciones compuestas 110 se pueden someter a un número de procesos posteriores a la formación, tal como molienda, para dar forma a la parte receptora del canal y a la parte de extensión. Más particularmente, la parte receptora del canal puede tener la forma correspondiente a la forma de los canales 108 en el buje 44. Asimismo, las superficies 122, 124 exterior e interior de las incrustaciones compuestas 110 a lo largo de la extensión tubular 116 pueden tener la forma deseada (una extensión suave y continua de la parte proximal del inserto 26). Después de proporcionar las formas deseadas a la pluralidad de incrustaciones compuestas 110, las incrustaciones 110 se pueden colocar dentro de los respectivos canales 108 y asegurarse a los mismos, tal como con un adhesivo adecuado. Las hendiduras longitudinales (si las hubiera) entre las incrustaciones adyacentes 100 a lo largo de la extensión tubular 116 son muy delgadas en comparación con la anchura circunferencial de las incrustaciones compuestas 110 y se rellenan con adhesivo durante el proceso de pegado, de modo que la extensión tubular 116 se considera un elemento tubular sustancialmente sólido.

Con las incrustaciones compuestas 110 colocadas dentro de los canales 108 en el buje 44, el inserto 26 está configurado para tener una geometría interior y exterior más regulares. Por ejemplo, la superficie exterior 130 del inserto 26 puede estar formada por secciones cilíndricas (por ejemplo, paredes que son generalmente paralelas al eje central 68 del inserto 26) y/o secciones cónicas (por ejemplo, paredes que forman ángulos agudos con respecto al eje central 68 del inserto 26). De manera similar, al menos una parte de la superficie interior 132 del inserto 26 tiene una geometría regular, tal como estando formada por secciones cilíndricas y/o secciones cónicas. Al proporcionar al inserto 26 las superficies 130, 132 exterior e interior que tienen una forma más regular, en particular siendo simétricas de manera giratoria, se puede decir que los insertos 26 son de tipo híbrido, colocables con mayor facilidad dentro de los orificios formados en el extremo 52 de raíz de la pala 20 de turbina eólica, que se describirá a continuación.

Como se ha analizado anteriormente, una pluralidad de insertos 26 están espaciados circunferencialmente alrededor de la cara 30 de extremo en el extremo 22 de raíz de la pala 20 de turbina eólica y están incrustados en el material, tal como un material compuesto, que forma el extremo 22 de raíz de la pala 20 (figura 3). Por tanto, de acuerdo con la invención, después de que se forme la pala 20 de turbina eólica, o al menos el extremo de raíz de la misma, se puede formar una pluralidad de orificios 136 separados circunferencialmente en la cara 30 de extremo del extremo 22 de raíz de la pala 50. Los orificios 136 están generalmente configurados para corresponder en tamaño y forma al tamaño y forma de los insertos híbridos 26 para que los insertos 26 se puedan recibir en los mismos. En este sentido, cada orificio 136 incluye una primera parte 138 de cavidad generalmente cilíndrica que se extiende hacia dentro desde la cara 30 de extremo y termina en un segundo extremo. La anchura (por ejemplo, dimensión transversal, diámetro, etc.) del orificio 136 es apenas un poco más grande que el inserto híbrido 26 configurado para ser recibido dentro del orificio 136.

El orificio 136 incluye además una cavidad anular 140 que tiene un primer extremo en el segundo extremo de la primera parte 138 de cavidad y que se extiende hacia dentro a partir de la misma y termina en un segundo extremo. De esta forma, la cavidad anular 140 está abierta a la primera parte 138 de cavidad. La configuración de la cavidad anular 140 generalmente corresponde a la configuración de las porciones más distales del inserto 26. Por tanto, en un ejemplo de realización, la cavidad anular 140 puede incluir una configuración generalmente cilíndrica o una configuración generalmente cónica para coincidir con la de la extensión tubular 116. Como se puede apreciar, la cavidad anular 140 debe ser ligeramente más grande que el inserto 26 (por ejemplo, con aproximadamente 0,5 mm

de separación) y un poco más larga que el inserto 26 (por ejemplo, aproximadamente 5 mm más larga) para adaptar la extensión tubular 116 y el adhesivo circundante.

5 En una realización, los orificios 136 se pueden formar golpeando primero la primera parte 138 de cavidad con una broca o elemento de perforación adecuado. Posteriormente, la cavidad anular 140 se puede formar usando elementos de perforación huecos de tamaño apropiado, tal como un elemento de perforación con punta de diamante. Los expertos en la materia pueden reconocer métodos alternativos o adicionales para formar los orificios 138 en el extremo 22 de raíz de la pala 20 de turbina eólica y la invención no se limita a lo descrito en el presente documento. Adicionalmente, puede haber procesos alternativos para incrustar los insertos 26 híbridos dentro del extremo 22 de raíz de la pala 20 de turbina eólica. A modo de ejemplo, los insertos 26 híbridos pueden formar parte de un proceso de moldeo usado para formar la pala. Por tanto, la invención no debe limitarse a la formación de orificios en el extremo de raíz de la pala para incrustar los insertos dentro de la pala.

15 Con los orificios 136 formados en la cara 30 de extremo en el extremo 22 de raíz de la pala 20 de turbina eólica, se pueden colocar los insertos 26 híbridos en el mismo. En este sentido, los insertos 26 híbridos se pueden colocar de modo que la parte proximal del cuerpo principal 46 del inserto 26 se coloque generalmente en la primera parte 138 de cavidad y la extensión tubular 116 del inserto 26 se coloque generalmente en la cavidad anular 140. En un ejemplo de realización, para acoplar los insertos 26 híbridos al extremo 22 de raíz de la pala 20 de turbina eólica, los insertos 26 se pueden pegar con adhesivo dentro de los orificios 136, tal como con un compuesto de plástico adecuado. Esto puede lograrse, por ejemplo, ubicando depósitos o paquetes de adhesivo (no mostrados) dentro del espacio entre el inserto 26 y el orificio 136. De esta forma, el inserto 26 se empuja hacia el orificio 136, el inserto 26 entra en contacto con el depósito de adhesivo y obliga al adhesivo a fluir a lo largo de la interfaz entre el inserto 26 y el orificio 136. A continuación, el adhesivo se cura para asegurar el inserto 26 dentro del orificio 136 de la pala 20 de turbina eólica.

25 Como se ilustra en las figuras 8 y 9, cuando el inserto 26 está incrustado en el extremo 22 de raíz de la pala 20 de turbina eólica, el inserto 26 define una interfaz 142 de pegado con el material de la pala 20 de turbina eólica en la superficie exterior 130 del inserto 26, incluso a lo largo de la superficie exterior 122 de la extensión tubular 116. Asimismo, el inserto 26 define una interfaz 144 de pegado con el material de la pala 20 de turbina eólica en la superficie interior 132 del inserto 26, incluso a lo largo de la superficie interior 124 de la extensión tubular 116. La interfaz 144 de pegado también se puede extender a lo largo de la superficie interior 66 del cuerpo principal 46 del buje 44, como se ilustra en las figuras. En una realización, la parte compuesta 42 del inserto 26 puede incluir además un forro interior 150 que se extiende a lo largo de al menos una parte de la superficie interior 132 del inserto 26. A modo de ejemplo, el forro interior 150 se puede acoplar para extenderse a lo largo de la superficie interior 66 del cuerpo principal 46 del buje 44. El forro interior 150 puede proteger el tratamiento superficial del buje metálico 44 durante la fabricación del inserto 26. Como se ilustra en las figuras, en un ejemplo de realización, el forro interior 150 también se puede extender a lo largo de la superficie interior 124 de la extensión tubular 116 y terminar en el extremo 120 de punta del inserto 26. Por tanto, el forro interior 150 se puede extender sobre la superficie interior 66 del buje 44 y la superficie interior 124 de la extensión tubular 116 compuesta. En una realización, el forro interior 150 se puede formar a partir de láminas de material fibroso preimpregnado colocado sobre un mandril estrechado y a continuación curado para formar el forro interior 150. A continuación, el forro interior 150 se puede pegar con adhesivo a la superficie interior 132 del inserto 26.

45 Como se ha analizado anteriormente, para facilitar el acoplamiento de la pala 20 de turbina eólica al cubo 18 de rotor de la turbina eólica 10, los pernos prisioneros 28 se pueden insertar en el orificio central 54 de los insertos 26 y hacer girar para acoplar las roscas en el extremo 32 de pala de los pernos prisioneros 28 con las roscas en la parte roscada 58 del orificio central 54 en los insertos 26. Los pernos prisioneros 28 se pueden insertar en el orificio central 54 hasta que el extremo roscado de los pernos prisioneros 28 esté al mismo nivel o se extienda más allá de la primera rosca o rosca más interior de la parte roscada 58 y dentro del bolsillo expandido 60. Hacer que el extremo de los pernos prisioneros 28 se extienda más allá de la primera rosca de la parte roscada 58 y dentro del bolsillo expandido 60 proporciona una distribución más uniforme de fuerzas a través de las roscas y reduce la probabilidad de altas concentraciones de tensión durante el uso.

Los insertos 26 divulgados en el presente documento proporcionan una serie de ventajas. Por ejemplo, las trayectorias de carga para transferir las cargas de la pala 20 de turbina eólica a los pernos prisioneros 28 y finalmente al cubo 18 de rotor se mejoran enormemente. A modo de ejemplo, las cargas en el material compuesto de la pala 20 de turbina eólica se transfieren a la parte compuesta 42 de los insertos 26 en el extremo 22 de raíz de la pala 20, incluyendo las incrustaciones compuestas 110 y el forro interior 150 (si lo hubiera). Las cargas que se transfieren a las incrustaciones compuestas 110 se transfieren a continuación a los bujes 44. En concreto, sin embargo, debido a los nervios 48 en los bujes 44, el área superficial sobre la cual se transfieren las cargas en las incrustaciones compuestas 110 a los bujes 44 aumenta significativamente en comparación con los bujes convencionales. Este área superficial aumentada reduce las concentraciones de tensión dentro de los insertos 26. Adicionalmente, la configuración nervada de los bujes 44 aumenta el perímetro de contacto en el extremo 52 de punta de los bujes 44 (donde las tensiones pueden ser máximas). Este aumento del perímetro de contacto aumenta a su vez la capacidad de carga de la junta 24 de conexión entre la pala 20 de turbina eólica y el cubo 18 de rotor. Asimismo, las cargas en los bujes 44 se transfieren a los pernos prisioneros 28 a lo largo de la parte roscada 58 del orificio central 54. Para adaptar las cargas en esta región de transferencia, los grosores de pared de los bujes 44 son máximos en esta zona.

El alcance de la invención está definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un inserto (26) para conectar una pala (20) de turbina eólica a un cubo (18) de rotor de una turbina eólica (10), que comprende:
  - 5 un buje (44) que comprende:
    - un cuerpo principal (46) que tiene un primer extremo (50), un segundo extremo (52), un orificio central (54) abierto al primer extremo (50) y que se extiende hacia el segundo extremo (52), una superficie interior (66) y una superficie exterior (76); y caracterizado por:
    - 10 una pluralidad de nervios alargados (48), extendiéndose cada uno desde al menos una de las superficies (66, 76) interior y exterior del cuerpo principal (46) y extendiéndose además a lo largo de al menos una parte de una longitud del cuerpo principal (46),
    - en donde la pluralidad de nervios (48) en el cuerpo principal (46) define una pluralidad de canales (108), cada canal (108) formado por una sección de la al menos una de las superficies (66, 76) interior y exterior del cuerpo principal (46) y un par adyacente de la pluralidad de nervios (48); y
    - 15 una pluralidad de incrustaciones compuestas (110), cada incrustación compuesta (110) colocada dentro de uno respectivo de la pluralidad de canales (108) del buje (44).
2. El inserto (26) de la reivindicación 1, en donde cada uno de la pluralidad de nervios alargados (48) se encuentra dentro de un plano radial a través de un eje central (68) del inserto (26).
  - 20 3. El inserto (26) de cualquier reivindicación anterior, en donde cada uno de la pluralidad de nervios alargados (48) tiene un primer extremo (86) separado del primer extremo (50) del cuerpo principal (46) y un segundo extremo (88) que termina en el segundo extremo (52) del cuerpo principal (46).
  - 25 4. El inserto (26) de cualquier reivindicación anterior, en donde una altura de cada uno de la pluralidad de nervios alargados (48) varía a lo largo de la longitud del cuerpo principal (46).
  5. El inserto de la reivindicación 4, en donde la altura de la pluralidad de nervios alargados (48) es sustancialmente cero en el primer extremo (86) de los nervios (48).
    - 30 6. El inserto (26) de la reivindicación 5, en donde la altura de la pluralidad de nervios alargados (48) es máxima en el segundo extremo (88) de los nervios (48).
    7. El inserto (26) de cualquier reivindicación anterior, en donde una anchura de cada uno de la pluralidad de canales (108) varía a lo largo de la longitud del cuerpo principal (46).
      - 35 8. El inserto (26) de la reivindicación 7, en donde la anchura de cada uno de la pluralidad de canales (108) disminuye en una dirección hacia el segundo extremo (52) del cuerpo principal (48).
      - 40 9. El inserto (26) de cualquier reivindicación anterior, en donde la superficie exterior (76) del cuerpo principal (46) incluye una sección cilíndrica (78) adyacente al primer extremo (50) y una sección cónica (80) adyacente al segundo extremo (52).
      10. El inserto (26) de cualquier reivindicación anterior, en donde la superficie interior (66) del cuerpo principal (46) incluye una sección cónica (102) adyacente al segundo extremo (52).
      11. El inserto (26) de cualquier reivindicación anterior, en donde el orificio central (54) incluye una parte roscada (58) para recibir de forma roscada un perno prisionero (28) y un bolsillo expandido (60) inmediatamente adyacente a la parte roscada (58).
        - 50 12. El inserto (26) de cualquier reivindicación anterior, en donde cada una de la pluralidad de incrustaciones compuestas (110) llena sustancialmente el respectivo de la pluralidad de canales (108) en el que se recibe.
        13. El inserto (26) de cualquier reivindicación anterior, en donde cada una de la pluralidad de incrustaciones compuestas (110) incluye fibras unidireccionales, en donde las fibras unidireccionales están generalmente orientadas en la dirección longitudinal del inserto (126).
          - 55 14. Una pala (20) de turbina eólica que tiene un extremo (22) de raíz, que comprende:
            - una pluralidad de orificios (138) formados en el extremo (22) de raíz de la pala (20) de turbina eólica; y
            - 60 una pluralidad de insertos (26) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada uno de la pluralidad de insertos (26) se recibe dentro de uno respectivo de la pluralidad de orificios (138) en el extremo (22) de raíz de la pala (20).
          15. Una turbina eólica (110) que comprende una pala (20) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 14.

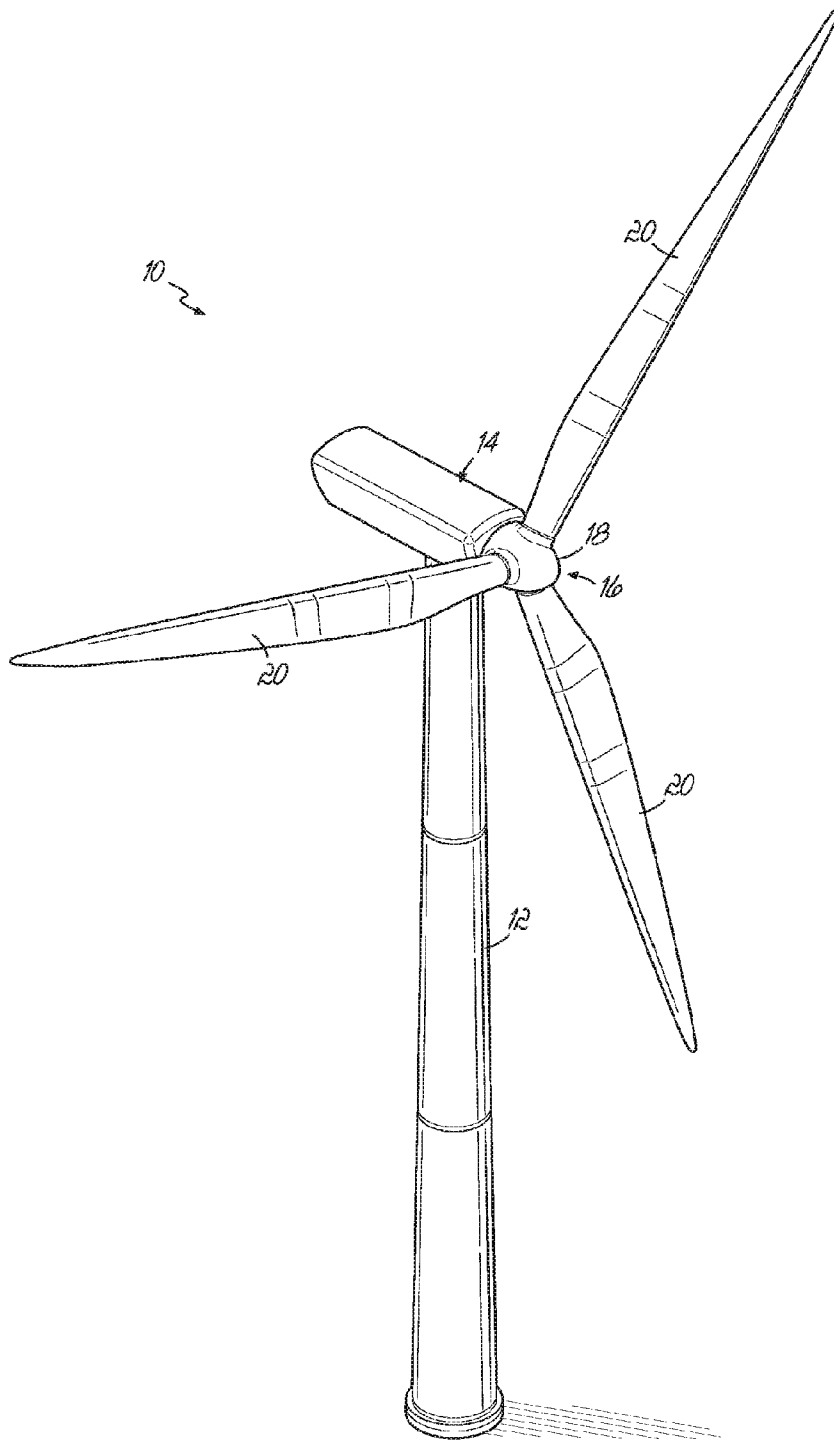


FIG. 1

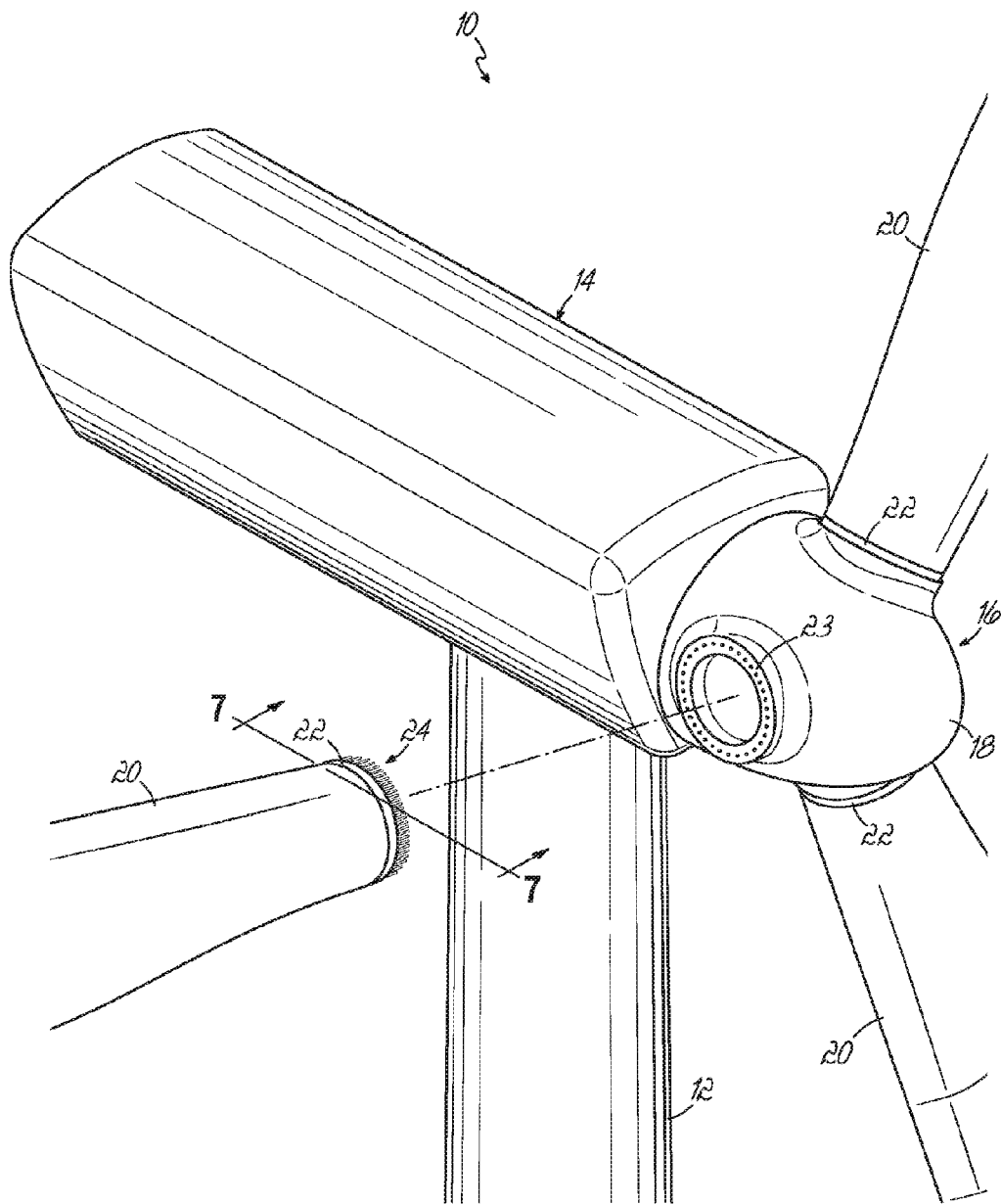


FIG. 2

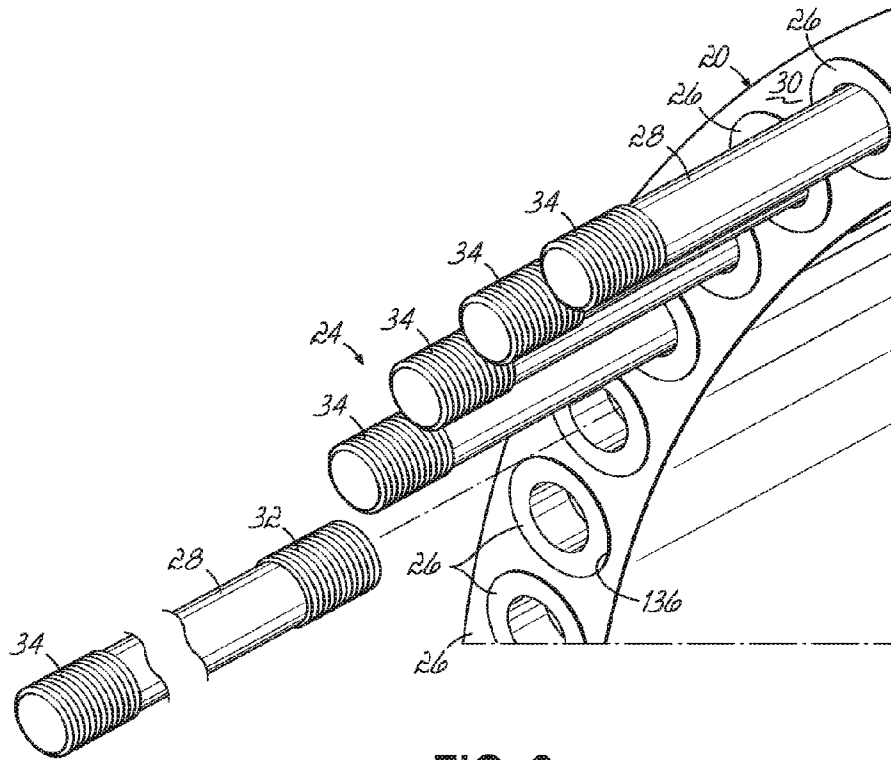


FIG. 3

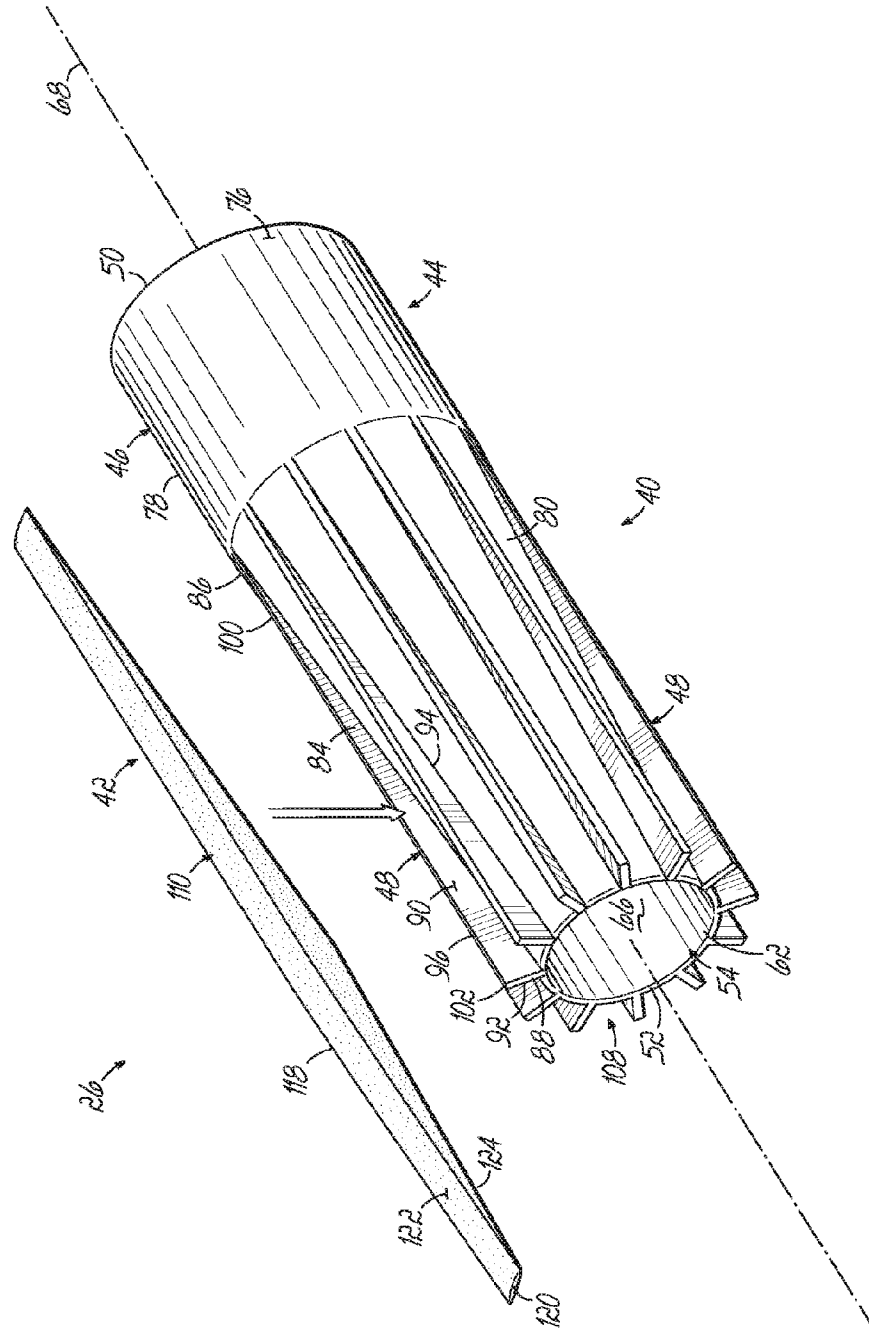


FIG. 4

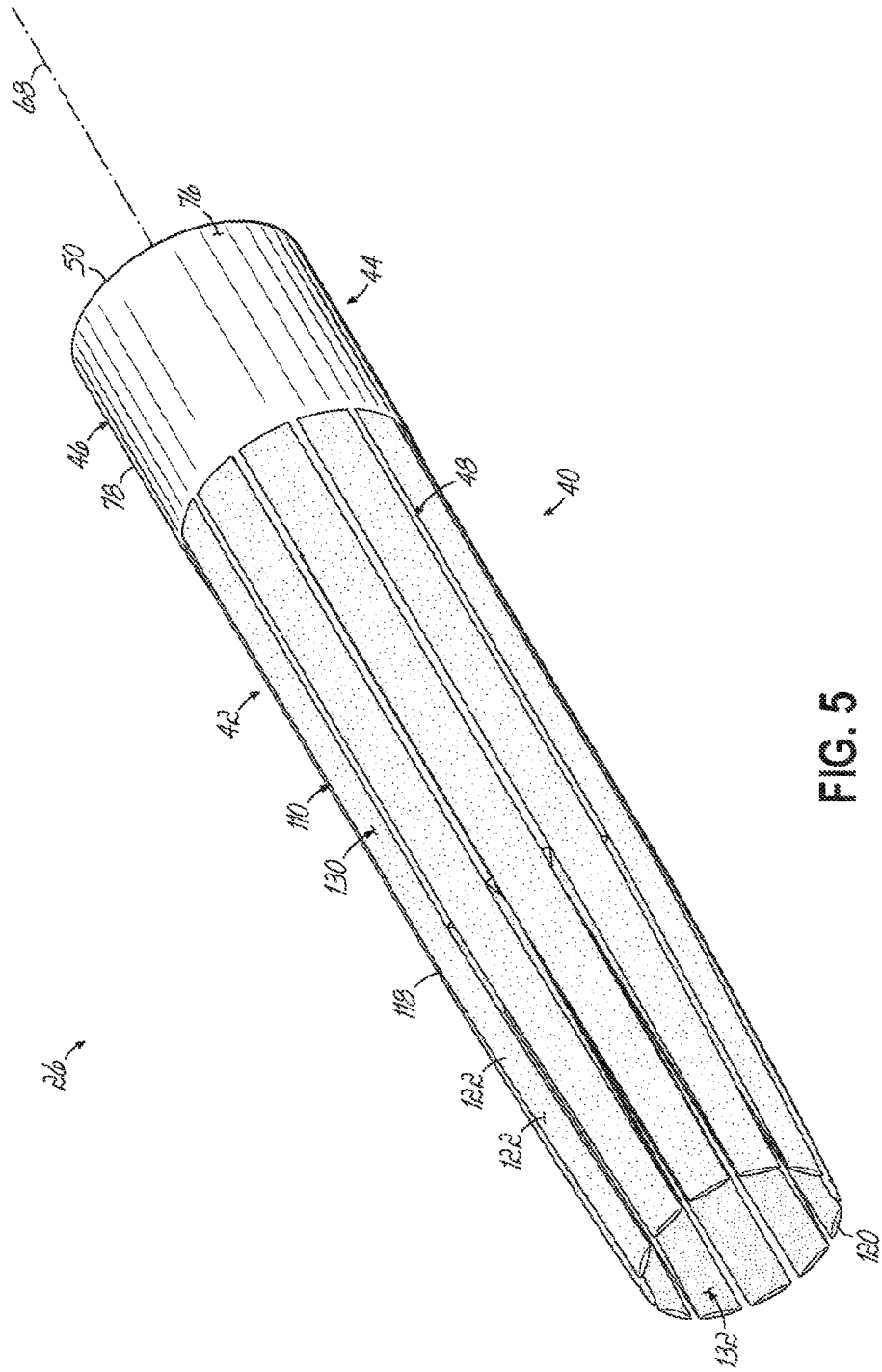


FIG. 5



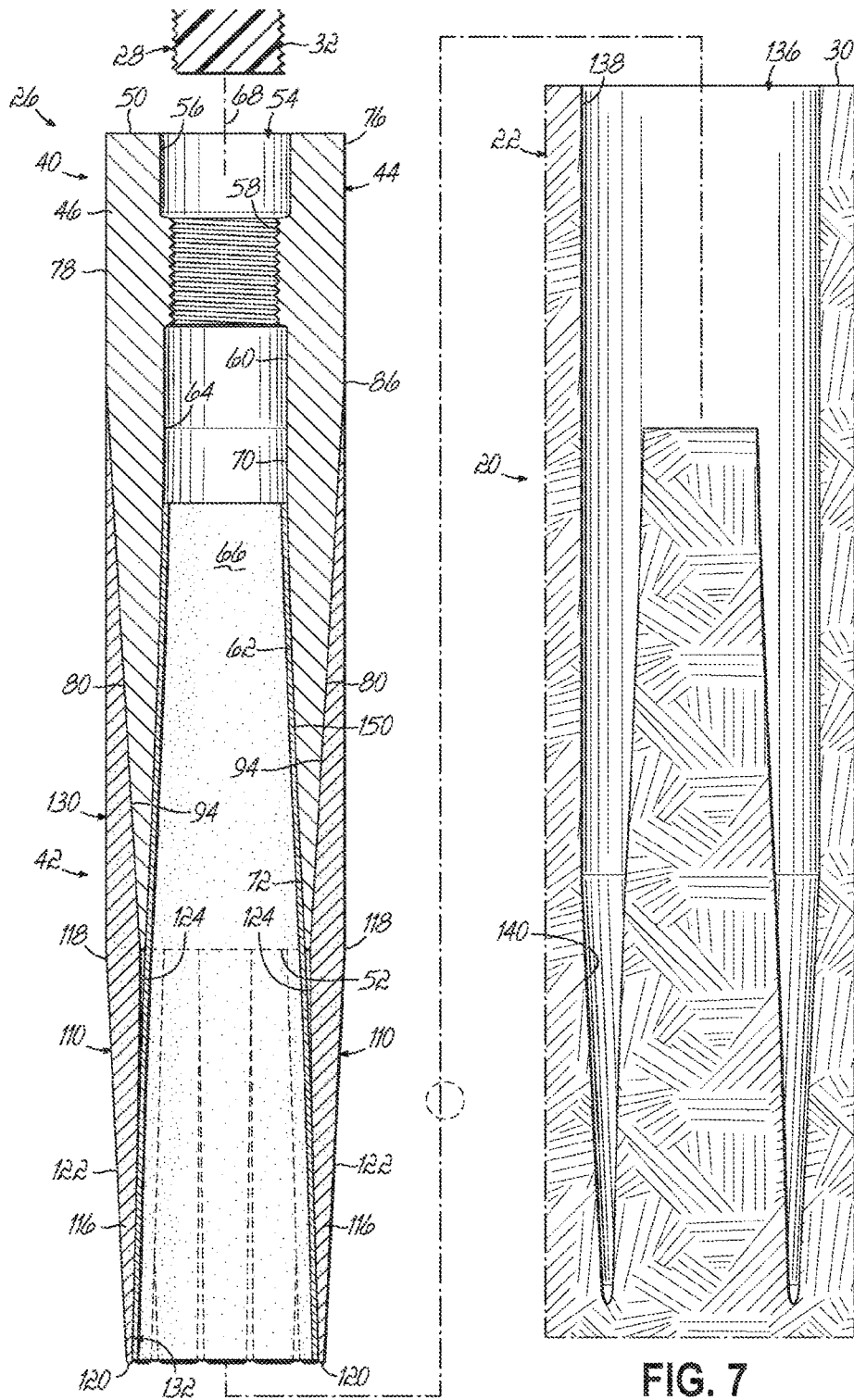


FIG. 7

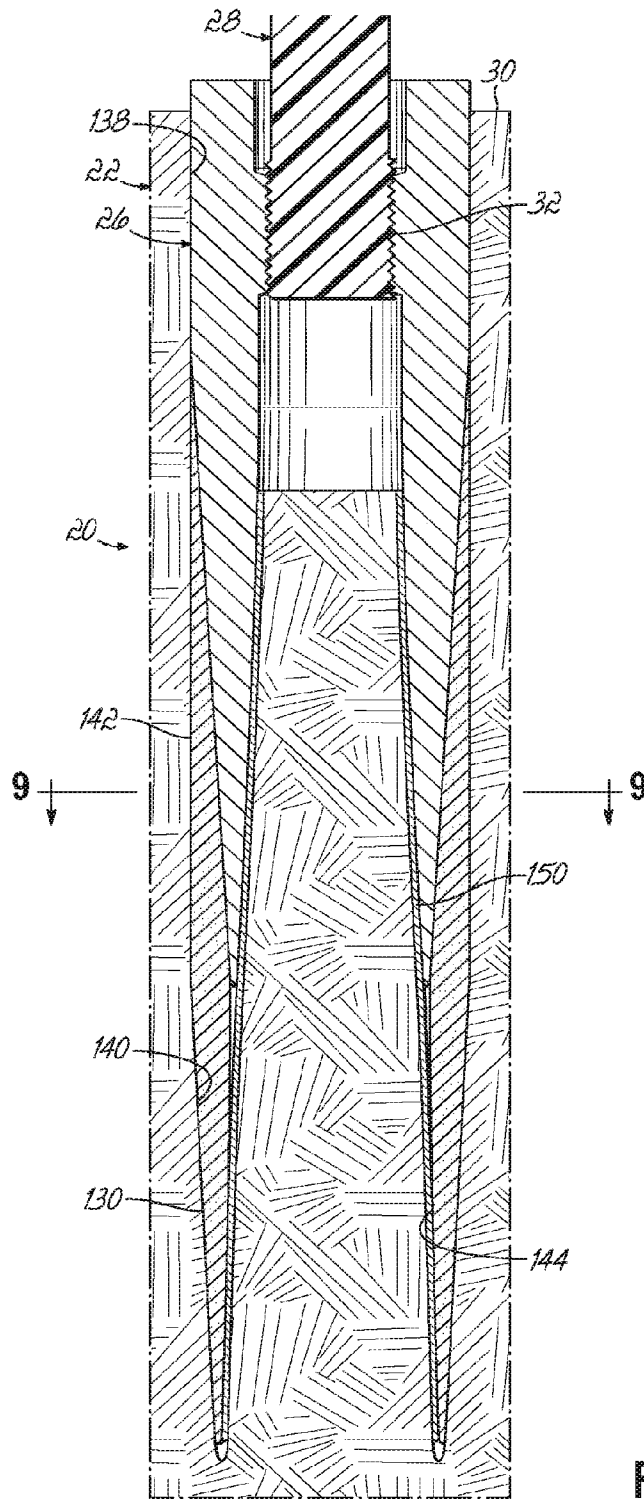
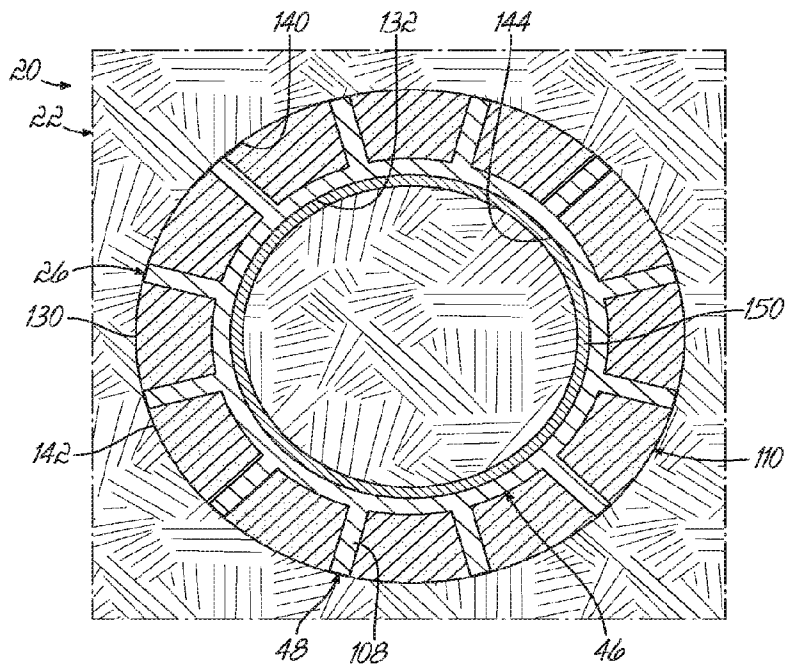


FIG. 8



**FIG. 9**