(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 636 667**

(51) Int. Cl.:

F16B 11/00 (2006.01)
F03D 1/06 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.07.2011** **PCT/GB2011/001035**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **12.01.2012** **WO12004571**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.07.2011** **E 11731468 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.06.2017** **EP 2591230**

(54) Título: **Pala de turbina eólica**

(30) Prioridad:

08.07.2010 GB 201011539

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.10.2017

(73) Titular/es:

BLADE DYNAMICS LIMITED (100.0%)
Saunders Drive
Cowes, Isle Of Wight PO31 8HU, GB

(72) Inventor/es:

HAYDEN, PAUL y
BEHMER, HARALD

(74) Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 636 667 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

Pala de turbina eólica

La presente invención se refiere a una pala de turbina eólica.

Hay una tendencia creciente a la adopción de palas de turbinas eólicas cada vez de mayor longitud. Esto ha conducido a un reciente desarrollo en el cual cada pala es fabricada en una pluralidad de secciones que están conectadas extremo con extremo con el fin de formar la pala terminada. La unión entre estas secciones adyacentes es fundamental para la operación de la pala.

Dichas palas de turbinas eólicas comprenden, en términos generales, un carenado aerodinámico soportado por un larguero que se extiende longitudinalmente. En cualquier pala compuesta por una pluralidad de segmentos de acuerdo con lo antes expuesto, la unión entre secciones de larguero adyacentes es fundamental en cuanto es mediante este sistema por el que la inmensa mayoría de la carga es transmitida.

El documento US 2008/0069699 divulga una pala de turbina eólica que está fabricada en dos secciones sucesivamente unidas. En la región adyacente a la unión, el larguero está provisto de una porción de tamaño aumentado que engrana con unos correspondientes dientes dispuestos sobre la sección de larguero adyacente. La estructura de superficie de carcasa puede también estar provista de unas bandas de refuerzo que estén igualmente dispuestas con unos dientes de engranaje mutuo y unos medios de conexión intermedios de varias construcciones

El documento WO 2009/034291 divulga unas uniones entre casquillos de larguero adyacentes en los que la anchura de los casquillos de larguero se ahúsa en posición adyacente a la unión. Las superficies ahusadas son a continuación enlazadas entre sí y se disponen unos soportes adicionales entre las almas de cizallamiento para reforzar la unión.

El documento US 2006/0127222 divulga una unión con un elemento de conexión que presenta una forma relativamente compleja que se ajusta dentro de una forma complementaria del revestimiento de la pala.

Otro ejemplo de secciones de larguero adyacentes sucesivos se divulga en el documento US 2009/0162208. La unión entre los segmentos de larguero divulgada en este documento se muestra en la Fig. 1.

Esta comprende un primer segmento 1 de larguero y un segundo segmento 2 de larguero. Cada segmento de larguero está compuesto por un alma 3 de cizallamiento con un casquillo 4 de larguero a cada lado. En el primer segmento 1 de larguero, el alma 33 de cizallamiento se detiene justo antes del extremo de los casquillos de larguero. Cada uno de los rigizadores de larguero presenta un extremo ahusado con una superficie inclinada inferior ahusada encarada hacia dentro.

Para el segundo segmento 2 de larguero, el alma de cizallamiento y los rigidzadores de larguero son coterminales. En este caso, las caras externas de los casquillos de larguero se ahúsan hacia dentro para obtener una superficie 6 ahusada complementaria con la respectiva superficie 5 ahusada dispuesta sobre el primer casquillo 1 de larguero. Los dos casquillos de larguero son a continuación unidos conjuntamente entre las superficies 5, 6 ahusadas adyacentes para formar el larguero completo. Ahusando la profundidad de los casquillos de larguero, en vez de la anchura como en el documento WO 2009/034291, el área de unión aumenta en gran medida incrementando de esta manera la resistencia de la unión.

Sin embargo, este diseño se resiente de una serie de desventajas. En primer lugar, como se desprende de la FIG 1, en el primer segmento 1 de larguero, los casquillos de larguero sobresalen más allá del borde del alma de cizallamiento y son componentes largos, delgados que no son soportados, en este punto, por el alma 3 de cizallamiento. Estas porciones del casquillo de larguero pueden extenderse a lo largo de varios metros. Estrictamente hablando son altamente vulnerables a experimentar daños a la hora del desplazaimento y del ensamblaje.

En segundo lugar, las propias dos secciones de larguero son componentes largos que se extienden a lo largo de hasta 50 metros (pero que típicamente son de 20 - 30 metros). Es difícil, en la práctica, conseguir un soporte estable para los dos segmentos cuando el adhesivo es aplicado a las superficies inclinadas y a continuación desplazar una respecto de otra hasta conseguir una alineación correcta y a continuación mantenerla en posición hasta que el proceso de laminación se haya completado y la resina esté endurecida.

Finalmente, cuando la dirección en la que las superficies 5, 6 inclinadas se extiende está próxima a la dirección en la que los dos componentes son juntados, en vista de la poca profundidad del ahusamiento, ello puede ocasionar problemas con el adhesivo durante el ensamblaje. En particular, cualquier desalineación en el ensamblaje puede raspar el adhesivo separándolo de la superficie 5, 6 particularmente en el borde de ataque de los casquillos 4 de larguero del segundo segmento de larguero conduciendo a vacíos en la línea de unión lo que provoca problemas en la fiabilidad de la unión y en último término en la rotura de la unión. El larguero es entonces rodeado por un carenado F aerodinámico para completar la pala.

La presente invención se refiere a la provisión de una mejora de dicha unión.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención se proporciona una pala de turbina eólica que comprende un carenado aerodinámico soportado a lo largo de al menos una porción de su longitud axial por un larguero, comprendiendo el larguero al menos dos segmentos de larguero unidos de extremo con extremo en una superficie de interconexión, comprendiendo cada segmento de larguero un alma de cizallamiento con un casquillo de larguero a cada lado; caracterizada porque la cara externa de cada casquillo de larguero se ahúsa hacia dentro en dirección a la interconexión, de manera que su profundidad se reduce hacia la interconexión creando un rebajo a cada lado de la interconexión formado por las caras ahusadas de los casquillos de larguero adyacentes; y una pieza de conexión respectiva dimensionada para su ajuste dentro de cada rebajo, estando cada pieza de conexión fijada a las caras ahusadas de los casquillos de larguero adyacentes para formar una junta de doble bisel.

La presente invención, por tanto, ofrece una pluralidad de ventajas respecto de la junta de la técnica anterior.

En particular, ninguno de los segmentos de larguero presenta unos casquillos de larguero en saliente que sean susceptibles de ser dañados durante el transporte. En segundo lugar, los dos segmentos de larguero o los dos casquillos de larguero pueden quedar alineados de manera precisa uno con respecto a otro en su posición final antes de que se ajuste la pieza de conexión. Esto simplifica el proceso de ensamblaje y la fiabilidad de la junta. La pieza de conexión es un pequeño componente que es fácil de manejar. Es situado en posición en una dirección próxima a la ortogonal con respecto a la dirección en la que se extienden las superficies ahusadas. Por tanto, es muy improbable que se produzca cualquier raspado entre las superficies ahusadas adyacentes provocado por una ligera desalineación de los componentes. Incluso si esto se produce, la orientación de las superficies significa que el contacto que se produzca tendrá un efecto considerablemente reducido. Esto incrementa en gran medida la fiabilidad de la unión.

Configuraciones de juntas similares se divulgan en el documento WO 2009/077192 para unir bloques macizos de madera y en el documento FR 2710871 en aplicaciones de construcción de buques.

El documento EP 2186622 divulga una junta para alas de aeronaves. Este documento utiliza una junta de empalme en todas las partes de la sección de viga, a saber las almas y las bridas. Las técnicas descritas en esta patente son apropiadas solo para una aplicación de elevado coste como por ejemplo la construcción de aviones. El proceso de ensamblaje requiere una planta de ensamblaje compleja que requiere una disposición de bolsa de vacío sofisticada y un sistema de calentamiento y enfriamiento asociado. Dicha planta es enteramente inadecuada para la fabricación de palas de turbinas eólicas en las que a menudo se requiere que los segmentos de pala sean ensamblados en un emplazamiento próximo a la región en la que la turbina eólica debe ser erigida. Incluso si son ensamblados en un entorno fabril, el coste de la planta de ensamblaje mostrada en el documento EP 2186622 simplemente no es justificable en la industria de las turbinas eólicas.

De modo preferente, el extremo de cada alma de cizallamiento es sustancialmente perpendicular (vista en sección transversal en un plano axial que discurre en paralelo con los casquillos de larguero) a la dirección axial de manera que los extremos de las almas de cizallamiento se soportan entre sí. También de modo preferente, no hay una junta de doble bisel entre las almas de cizallamiento. Esto permite una construcción simplificada y al tiempo robusta en la que las piezas de conexión quedan confinadas solo en los casquillos de larguero y las almas se soportan mutuamente.

La pieza de conexión puede fijarse en posición por adherencia. En este caso, la pieza de conexión está dispuesta como una sola pieza. Esta es, de modo preferente, una pieza pre-endurecida. Por las razones antes mencionadas, la facilidad de manejo de la pieza de conexión y la dirección de movimiento no perturbará la adherencia en la junta.

Como alternativa, la pieza de conexión puede ser formada *in situ* como una pluralidad de laminaciones. En este caso, la pieza de conexión laminada puede formarse en un emplazamiento muy controlado y accesible. Esto asegura que la superficie puede ser satisfactoriamente preparada y que la calidad del laminado puede ser elevada incrementando aún más la fiabilidad de la conexión.

Otra ventaja ofrecida por la presente invención es su versatilidad en cuanto puede ser ensamblada mediante diferentes procedimientos dependiendo de si se requiere que sea ensamblada en el campo, debido a que los problemas de transporte significan que un larguero de longitud total no puede ser transportado hasta el punto de la turbina eólica, o tiene que ser ensamblado en la fábrica. Para el montaje en el campo, segmentos de larguero separados que comprenden sus propios casquillos de larguero y al menos un alma de cizalladura son ensamblados y transportados hasta el emplazamiento del ensamblaje en el campo. Cada segmento es a continuación conectado conjuntamente extremo con extremo.

De modo preferente, un miembro de soporte recibe y alinea las almas de cizalladura unas con respecto a otras. Este miembro de soporte puede ser un componente separado o puede adoptar la forma de una o más proyecciones que formen parte de una o de ambas almas de cizalladura. Si el miembro de soporte es un componente separado, las almas de cizalladura continúan soportándose entre sí, aunque indirectamente, por medio del miembro de soporte.

De modo preferente, sin embargo, los segmentos de larguero están conectados entre sí por medio de sus almas de cizalladura. Dicha junta entre las almas de cizalladura puede adoptar la forma de unos medios de sujeción mecánicos y / o adhesivo (que puede ser aplicado a través del soporte) y puede ser temporal y / o permanente. Debe destacarse que se requiere, sobre todo que la junta sea suficiente para mantener los dos segmentos adyacentes entre sí mientras que se efectúa la unión entre los casquillos de larguero y la pieza de conexión. Esta junta también forma la conexión de cizalladura de un lado a otro de los dos segmentos de larguero. Esto habilita una manera sencilla de localizar y unir los segmentos para su ensamblaje en el "campo".

Para un montaje en la factoría, se puede adoptar un sistema diferente. Esta vez, los casquillos de larguero de longitud total son ensamblados en primer término antes de fijar el o cada alma de cizalladura. En este caso, de acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se dispone, de modo preferente, un procedimiento de fabricación de una pala de acuerdo con el primer aspecto de la invención que comprende las etapas de insertar los casquillos de larguero de segmentos adyacentes adoptando un canal con forma de U con sus superficies de más arriba ahusadas, y empalmar la pieza de conexión con las superficies ahusadas sobre los casquillos de larguero adyacentes.

Unos casquillos de larguero adicionales pueden ser añadidos si es necesario con unas piezas de conexión adicionales para completar el casquillo de larguero de longitud total.

Un segundo casquillo de larguero se forma a continuación de la misma manera y los dos casquillos de larguero son unidos con al menos una alma de cizalladura para formar una primera viga de larguero.

La primera viga de larguero puede entonces unirse lado con lado a una segunda viga de larguero formada de la misma manera. Tres o más vigas pueden unirse de esta manera.

Esto proporciona un procedimiento extremadamente versátil y que al mismo tiempo se basa en un número relativamente pequeño de partes componentes y de aparatos de ensamblaje. Los casquillos de larguero tienen la misma forma y tamaño externos para ser ensamblados en el mismo canal con forma de U. Este puede (si se requiere) ser el canal en el que los casquillos de larguero son inicialmente formados, con lo cual se reduce aún más el instrumental requerido. Sin embargo, el proceso sigue siendo versátil en cuanto la profundidad del alma puede modificarse para crear vigas de diferentes alturas, e incluso para crear vigas con alturas que varíen a lo largo de su extensión. Así mismo, descentrando la primera y la segunda vigas de larguero cuando están unidas lado con lado, se puede incorporar una "torsión" virtual dentro de la viga. Así, a partir de un conjunto muy pequeño de partes componentes de y de un herramental muy simple, se pueden obtener formas de viga complejas.

Los segmentos de larguero pueden tener cualquier sección de viga con un ánimo de cizalladura con un casquillo de larguero a cada lado, por ejemplo una viga en I una viga en C o una viga cuadrangular. La invención también es aplicable a segmentos de larguero compuestos por dos o más secciones de viga conectadas lado con lado.

Un ejemplo de un larguero para una pala de turbina eólica se describirá a continuación con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

La Fig. 1 es una sección transversal a través de dos casquillos de larguero de acuerdo con la técnica anterior;

la Fig. 2 es una sección transversal a través de la parte superior de dos segmentos rigizadores de larguero y de una pieza de conexión de la presente invención antes de su ensamblaje;

la Fig. 3 es una vista en perspectiva de la junta de la Fig. 2 antes de su ensamblaje;

la Fig. 4 es una sección transversal de la totalidad de la junta con los componentes ensamblados;

la Fig. 5 es una vista en perspectiva de una segunda junta antes de su ensamblaje;

la Fig. 6 es una vista en perspectiva de una tercera junta antes de su ensamblaje;

las Figs. 7A y 7B son vistas similares a las de la Fig. 2, que muestran una cuarta junta, mostrando la Fig. 7A un estado parcialmente ensamblado;

las Figs. 8A - 8D son representaciones esquemáticas de un segundo proceso de ensamblaje de un larguero;

la Fig. 9 es una vista esquemática que muestra el aparato de montaje utilizado para ensamblar casquillos de larguero completos, como se muestra en las Figs. 8A - 8D; y

las Figs. 9A - 9C son secciones transversales a través de las líneas AA, BB y CC de la Fig. 9, respectivamente.

El larguero comprende dos segmentos 7 de larguero que tienen esencialmente la misma estructura que el segundo segmento 2 de larguero mostrado en la Fig. 1. Cada uno presenta un alma 3 de cizalladura elaborada a partir de un material multiaxial y unos casquillos 4 de larguero están dispuestos a uno y otro lado y están formados predominante

a partir de un material uniaxial que están, de modo preferente, formados como salientes, pero podrían también estar elaborados a partir de hojas preimpregnadas, laminaciones u otras preformas conocidas en la técnica que produzcan unos casquillos de larguero rentables con propiedades mecánicas satisfactorias.

Detalles adicionales de la construcción y materiales de las secciones de larguero se divulgan en el documento anterior de nuestra titularidad WO 2009/034291.

En el extremo adyacente a la junta, cada uno de los casquillos 4 de larguero presenta una superficie 6 ahusada según se describió antes en relación con la Fig. 1.

Un par de piezas 8 de conexión presentan una anchura y una profundidad que se corresponde con la anchura y la profundidad de los casquillos 4 de larguero adyacentes y que presentan unas caras 9 inclinadas que se corresponden con las caras 6 inclinadas de los casquillos 4 de larguero para que, en uso, como se muestra en la Fig. 3, las piezas 8 de conexión estén al mismo nivel que los casquillos 4 de larguero adyacentes.

El proceso de ensamblaje de la junta, en el campo, es como sigue.

Como etapa inicial, los segmentos 7 de larguero son soportados por un aparato de montaje a través de unos orificios 10 y son juntados extremo con extremo para que las almas 3 de cizalladura confluyan en la superficie de interconexión 9. Pueden ser soportados en esta posición por un soporte 11, de modo preferente, fabricado a partir de un material multiaxial (Fig. 3) que recibe y alinea las dos almas 3 de cizalladura. Este soporte 11 se ajusta exactamente entre los casquillos 4 de larguero para alinear verticalmente los dos segmentos 7. A continuación, son unidos entre sí o sujetos utilizando medios de sujeción mecánicos, siendo la junta temporal o permanente. Aunque ello implica la manipulación de dos componentes de gran tamaño, esta operación debe contrastarse con la operación de unión antes descrita en relación con la Fig. 1. La operación de unión que se acaba de describir simplemente para situar entre sí las dos partes después de lo cual se lleva a cabo la operación de unión principal. En relación con la Fig. 1, la operación que se desarrolla era la operación de unión principal entre los dos componentes. En el caso de la Fig. 1, cualquier dificultad en la manipulación de los dos componentes de gran tamaño directamente afecta a la calidad de la junta por las razones expuestas anteriormente.

Una vez que los dos segmentos han sido dispuestos uno con respecto a otro, puede ser aplicado un adhesivo a las superficies 6, 9 inclinadas cuando la pieza de conexión es entonces situada en posición en una dirección ortogonal a la dimensión longitudinal del larguero.

En vez de unir entre sí dos componentes de gran tamaño, esta operación simplemente requiere la unión de dos pequeñas piezas 8 de conexión con una estructura subyacente de mayor tamaño. El manejo de las piezas 8 de conexión es por tanto mucho más sencillo que intentar unir entre sí dos segmentos de larguero. Como resultado de ello, la pieza 7 de conexión puede ser manejada con mayor estabilidad. Aún más cualquier desalineación de la pieza de conexión que pudiera tender a alterar el adhesivo de una de las superficies, no desplazará el adhesivo en una distancia significativa dado que la propia pieza 7 de conexión solo se desplaza hasta una distancia muy corta hasta su posición de unión en comparación con la unión entre sí de los dos segmentos de larguero en los que las mayores distancias implicadas introducen un riesgo mucho mayor de raspado del adhesivo de áreas de mayor tamaño.

La segunda junta se muestra en la Fig. 5. Esta es la misma en muchos aspectos a la primera junta y se han utilizado los mismos numerales de referencia para designar los mismos componentes. La diferencia es que la junta sobre la que está siendo aplicada a una viga cuadrangular en vez de una viga en I de la primera junta. Así, cada segmento 7' de larguero presenta un par de almas 3' de cizalladura, una a cada lado de un casquillo de larguero respectivo. La junta es la misma excepto porque dos soportes 10 son utilizados, uno para cada alma 3' de cizalladura.

Una tercera junta se muestra en la Fig. 6. Esta es simplemente una versión doble de la junta de la Fig. 5. Debe apreciarse por ello que la junta puede ser aplicada a vigas conectadas lado con lado con un pequeño huelgo entre almas de cizalladura adyacentes para recibir los soportes 11. Las dos vigas mostradas en la Fig. 6 están ligeramente descentradas. Acumulando varias vigas de esta manera, se puede formar un larguero con una forma más compleja.

Una cuarta junta se muestra en las Figs. 7A y 7B. En este caso, la pieza de conexión está laminada "in situ". Esto podría conseguirse utilizando cualquier técnica de laminado de materiales composite (o combinaciones) conocidas en la técnica como por ejemplo terminación por vía húmeda, infusión de resina y preimpregnación, por ejemplo. La "pila de laminados" estará compuesta predominantemente por fibras unidireccionales con la dirección principal a lo largo del eje geométrico del larguero y un pequeño porcentaje de fibras multiaxiales para estabilizar la estructura y contribuir al laminado (típicamente aproximadamente 10 - 20%). Las fibras pueden ser de vidrio, carbono, aramida u otra fibra estructural y la resina puede ser epoxi, viniléster, poliéster o poliuretano, por ejemplo. La pila se crea colocando cada capa 121 dentro del rebajo creado por los dos extremos de larguero, empezando con longitudes cortas de laminado sobre las primeras capas (Fig. 7A) y a continuación aumentando hasta longitudes más largas sobre los laminados posteriores cuando el tamaño del rebajo aumenta, como es sabido en la técnica. Una vez que la pila de laminados ha sido creada (incluyendo la resina), entonces será calentada para curar el laminado "in situ", esto también se lleva típicamente a cabo bajo un vacío ligero. Este procedimiento puede ser aplicado a cualquiera de los tipos de viga de los ejemplos anteriores.

Un ejemplo del ensamblaje del larguero en fábricas se muestra en las Figs. 8 y 9.

A diferencia de los ejemplos anteriores en los que las secciones de viga son realizadas y a continuación unidas extremo con extremo, si la junta se realiza en una factoría, los componentes de longitud total pueden realizarse desde el principio. Inicialmente, dos casquillos 4 de larguero (como se muestra en la Fig. 8A) son insertados en un aparato de montaje 20 con dos secciones 21 terminales en las que quedan sujetos los casquillos de larguero, por ejemplo utilizando una abrazadera en G. Una bolsa de vacío muy sencilla puede también utilizarse con este fin. El aparato de montaje y las secciones 20, 21 terminales presentan todas una sección transversal en forma de U como en las Figs. 9A - C. En vez del aparato de montaje y las secciones 20, 21 terminales, el mismo proceso puede llevarse a cabo utilizando la herramienta que fue inicialmente utilizada para formar los casquillos de larguero. Si el larguero está compuesto por más de una sección, las secciones pueden realizarse al mismo tiempo en aparatos de montaje adicionales dispuestos a continuación del aparato de montaje ilustrado. Como alternativa, una sección puede realizarse como se muestra en la Fig. 9 y, a continuación, el subensamblaje unido puede ser desplazado lateralmente para permitir que se produzca la unión de la siguiente sección. Una vez en posición, la pieza 8 de conexión es añadida utilizando uno de los procedimientos antes descritos como en la Fig. 8B. La junta es entonces endurecida a una temperatura de curado de 50 - 120º C (intervalo de temperatura apropiado para curar todos los ejemplos analizados anteriormente). Pueden llevarse a cabo conexiones adicionales hasta que se obtenga la longitud total del casquillo de larguero. Este proceso se repite elaborando un segundo casquillo de larguero. Estos dos casquillos de larguero son entonces unidos por un par de almas 3 como se muestra en la Fig. 8C. Con el fin de elaborar una forma de larguero más compleja, dos vigas son a continuación unidas lado con lado como se muestra en la Fig. 8D. Como se indicó anteriormente, las dos vigas pueden estar descentradas y pueden tener diferentes profundidades para posibilitar que se elaboren secciones de viga complejas.

REIVINDICACIONES

1.- Una pala de turbina eólica que comprende un carenado aerodinámico soportado a lo largo de al menos una porción de su longitud axial por un larguero, comprendiendo el larguero al menos dos segmentos de larguero (2) unidos extremo con extremo en una superficie de interconexión, comprendiendo cada segmento de larguero un alma (3) de cizalladura con un casquillo (4) de larguero a cada lado, **caracterizada porque** la cara (6) externa de cada casquillo de larguero se ahúsa hacia dentro en dirección a la superficie de interconexión de manera que su profundidad se reduce hacia la superficie de interconexión creando un rebajo sobre cada lado de la superficie de interconexión formado por las caras ahusadas de casquillos de larguero adyacentes; y una pieza (8) de conexión respectiva dimensionada para ajustarse dentro de cada rebajo, estando cada pieza de conexión fijada a las caras ahusadas de casquillos de larguero adyacentes para formar una junta de doble bisel.

2.- Una pala de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el extremo de cada alma (3) de cizalladura es sustancialmente perpendicular a la dirección axial de forma que los extremos de las almas de cizalladura se soportan entre sí.

3.- Una pala de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en la que no hay una junta de doble bisel entre las almas (3) de cizalladura.

4.- Una pala de acuerdo con cualquier reivindicación precedente; en la que la pieza (8) de conexión está unida a las caras (6) ahusadas de casquillos (4) de larguero adyacentes.

5.- Una pala de acuerdo con la reivindicación 4, en la que la pieza (8) de conexión es un componente pre-endurecido.

6.- Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que la pieza (8) de conexión está formada "in situ" a partir de una pluralidad de laminaciones (42).

7.- Una pala de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en la que las almas (3) de cizalladura de segmentos (3) de larguero adyacentes están conectadas entre sí.

8.- Una pala de acuerdo con la reivindicación 7, en la que las almas (3) de cizalladura de segmentos (2) de larguero adyacentes están unidas entre sí con adhesivo.

9.- Una pala de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además un miembro (11) de soporte que recibe y alinea las almas (3) de cizalladura una con relación a la otra.

10.- Una pala de acuerdo con la reivindicación 6 o 7, en la que los segmentos (2) de larguero adyacentes están unidos entre sí con adhesivo que se aplica al miembro (11) de soporte.

11.- Un procedimiento de fabricación de una pala de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 que comprende las etapas de insertar casquillos de larguero de segmentos adyacentes en un canal (20, 21) con forma de U con su superficie ahusada de más arriba; y ajustar la pieza (8) de conexión a las superficies (6) ahusadas de los casquillos (4) de larguero.

12.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, que comprende además unir sucesivamente casquillos (4) de larguero adicionales con piezas (8) de conexión adicionales al subensamblaje formado por el procedimiento de la reivindicación 9.

13.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12, que comprende además repetir las etapas de la reivindicación 10 para formar un segundo casquillo de larguero, que una los dos casquillos de larguero con al menos un alma de cizalladura para formar una primera viga de larguero.

14.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13 que comprende además repetir las etapas de la reivindicación 11 para formar una segunda viga de larguero y unir las primera y segunda vigas lado con lado para formar un larguero.

15.- Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 11 a 14, en el que el canal con forma de U es el canal utilizado para formar los casquillos de larguero.

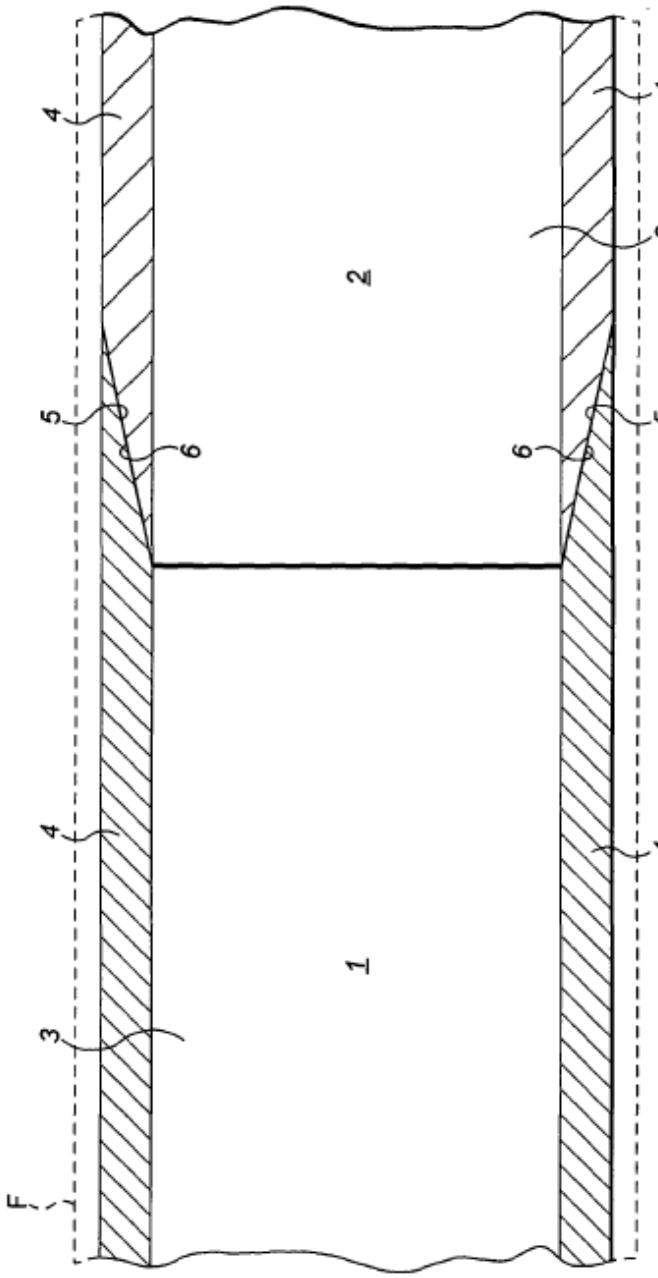

FIG. 1

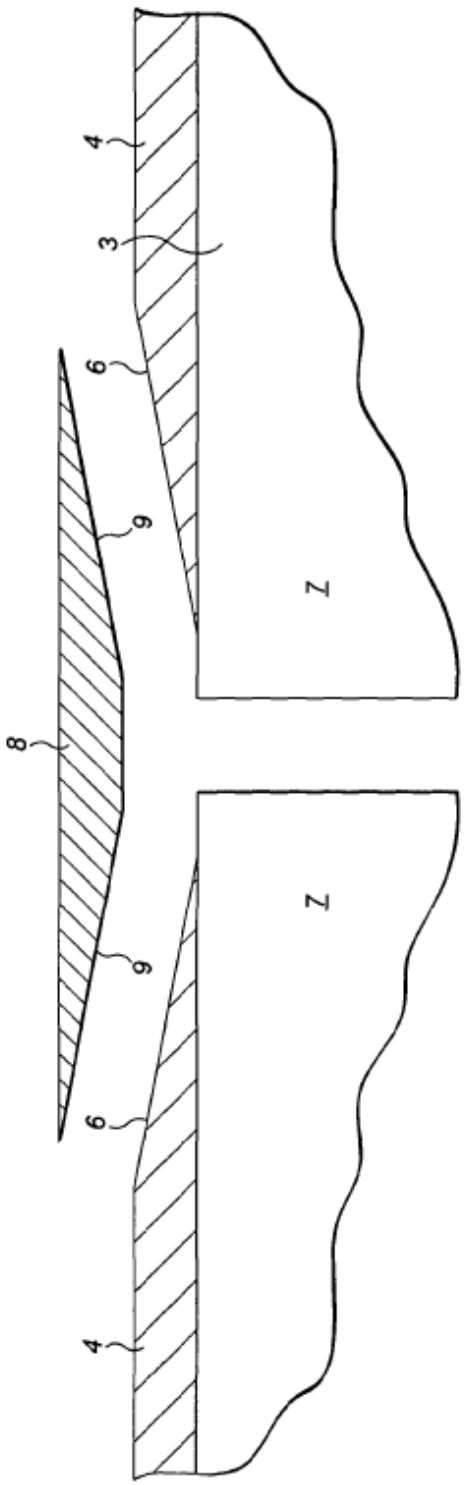

FIG. 2

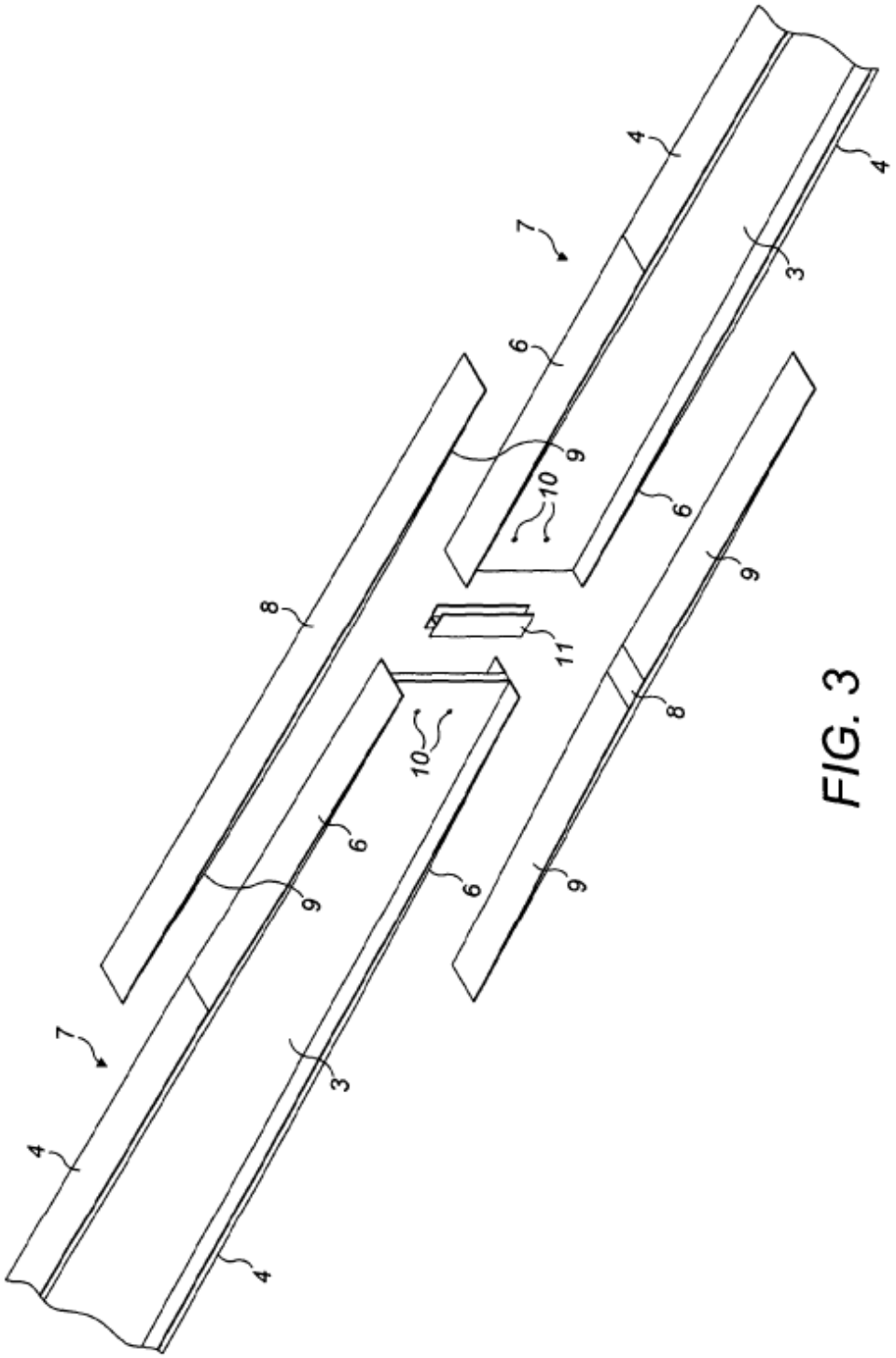

FIG. 3

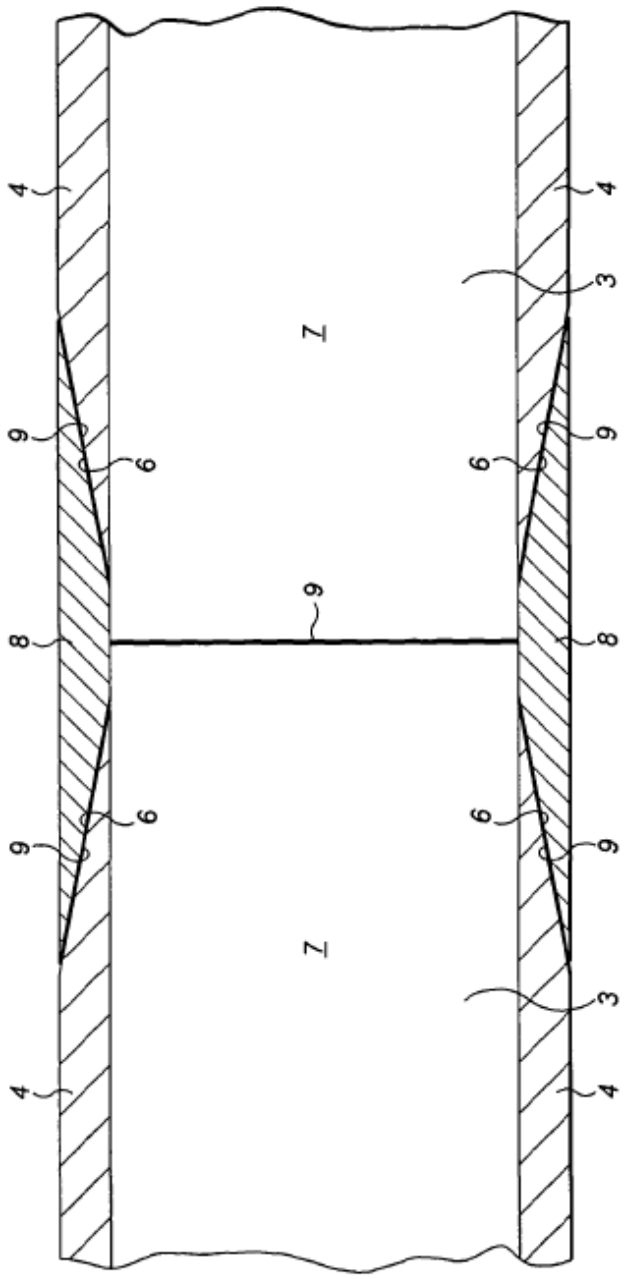

FIG. 4

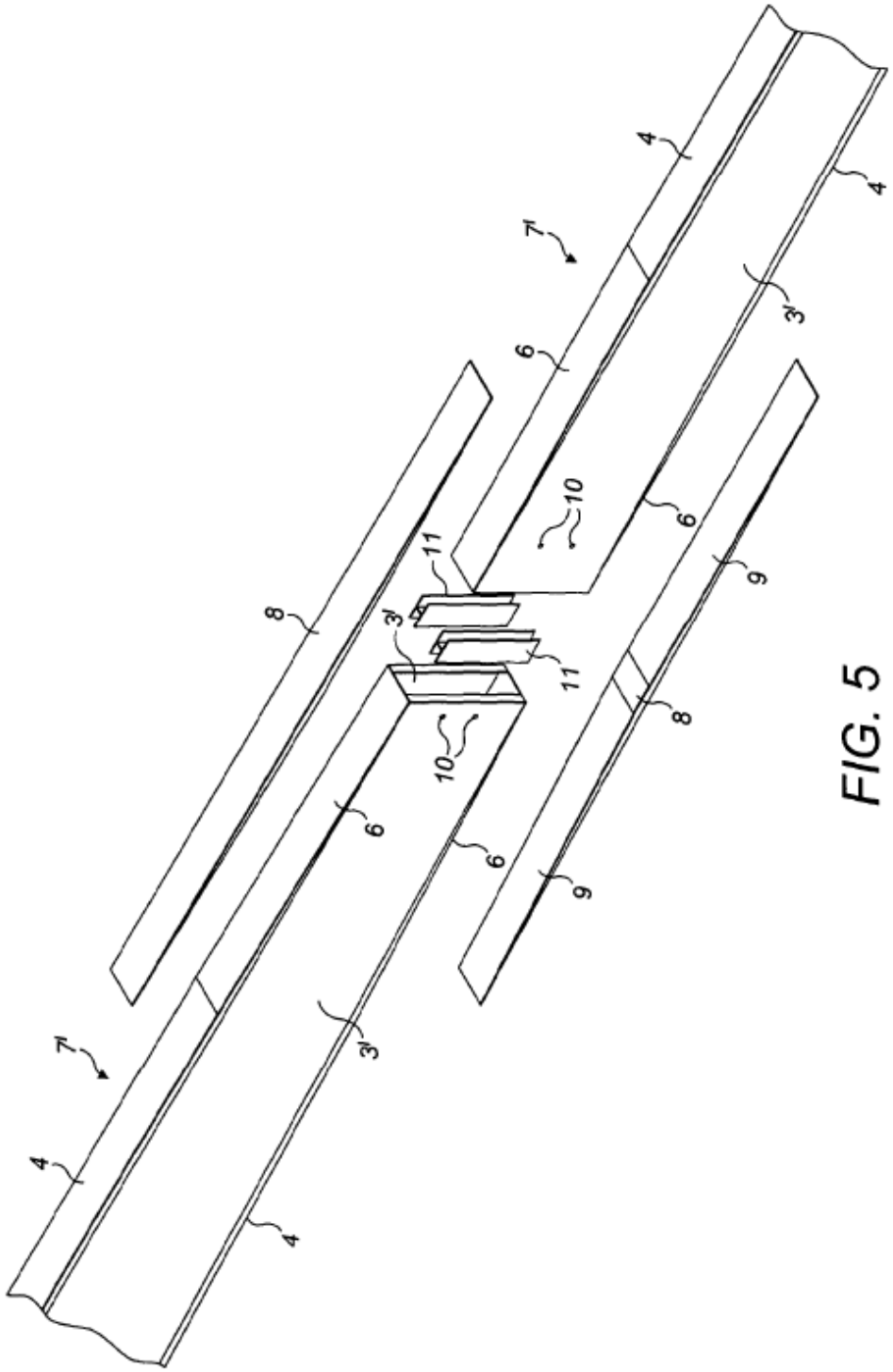

FIG. 5

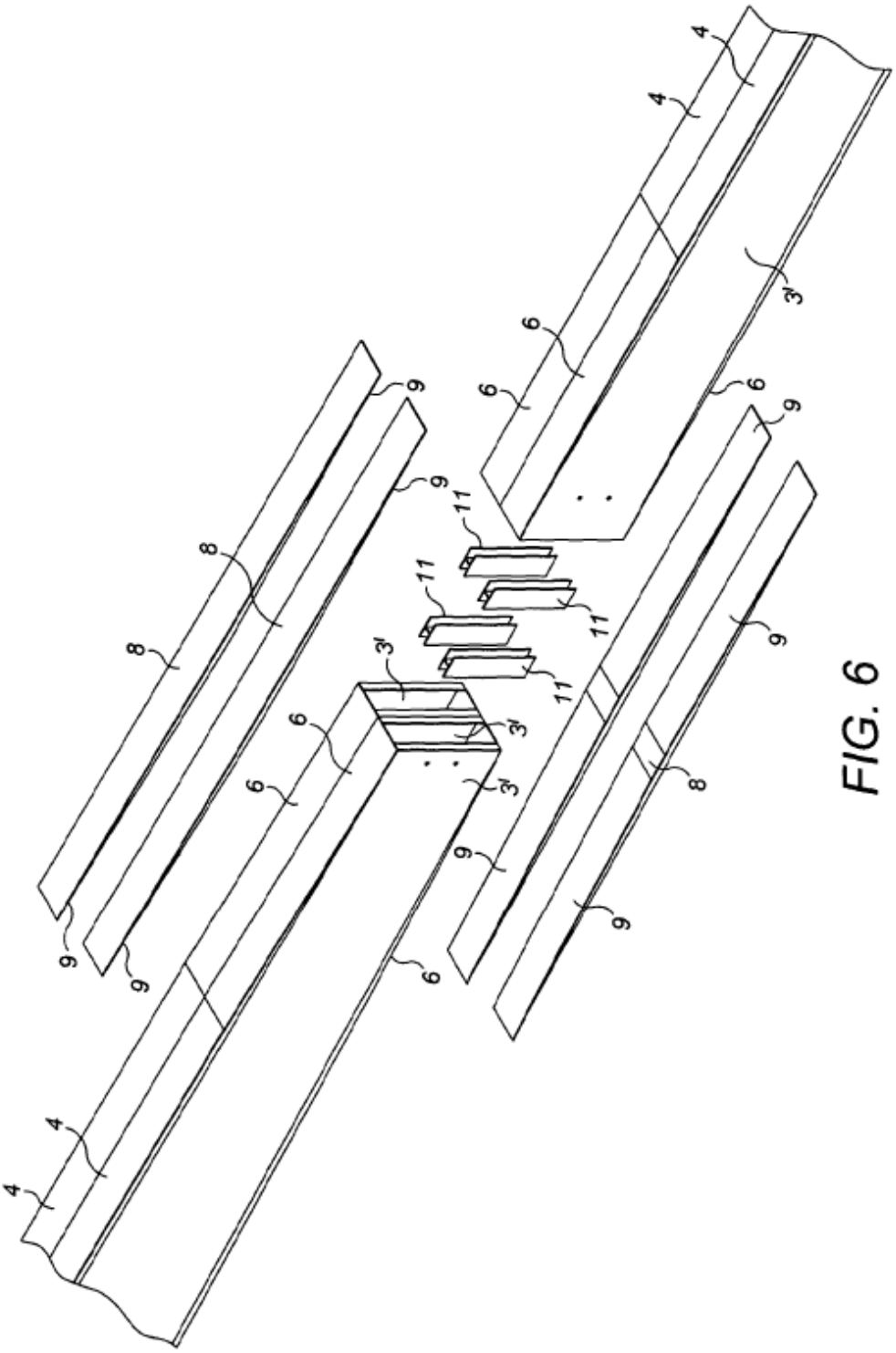

FIG. 6

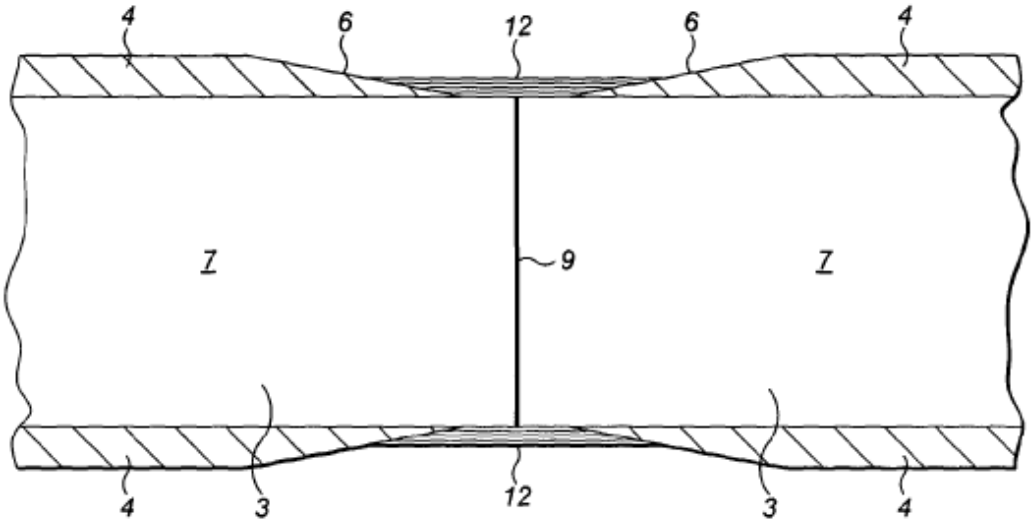

FIG. 7A

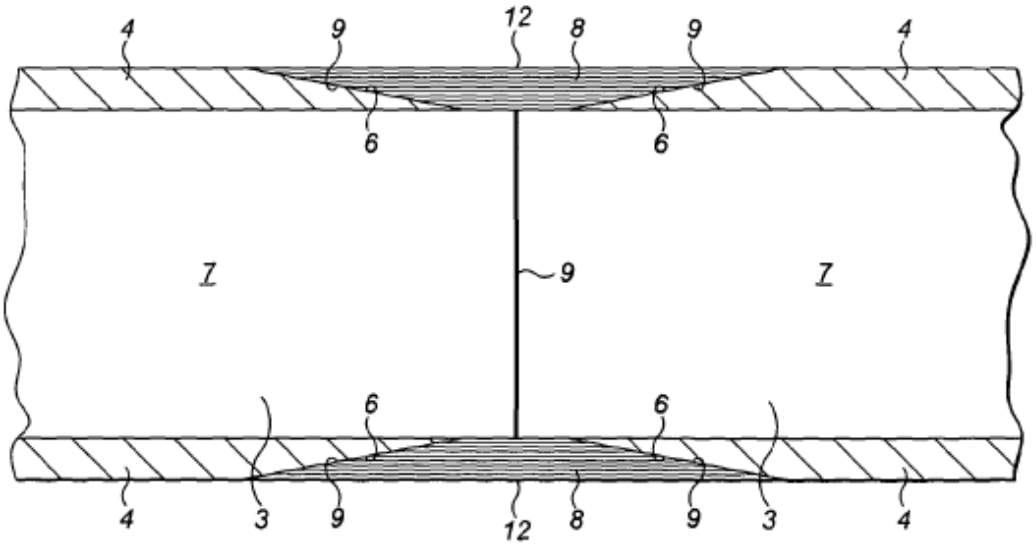

FIG. 7B

FIG. 8A

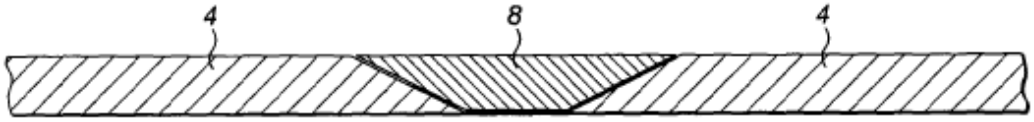

FIG. 8B

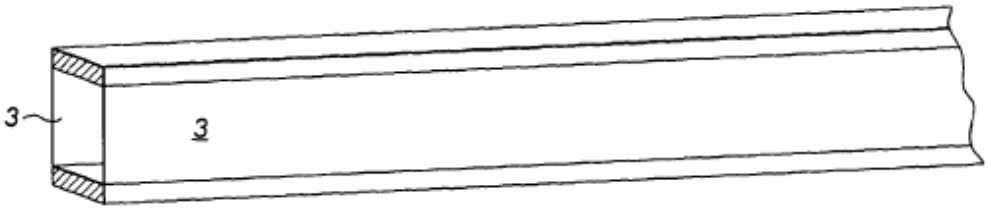

FIG. 8C

FIG. 8D

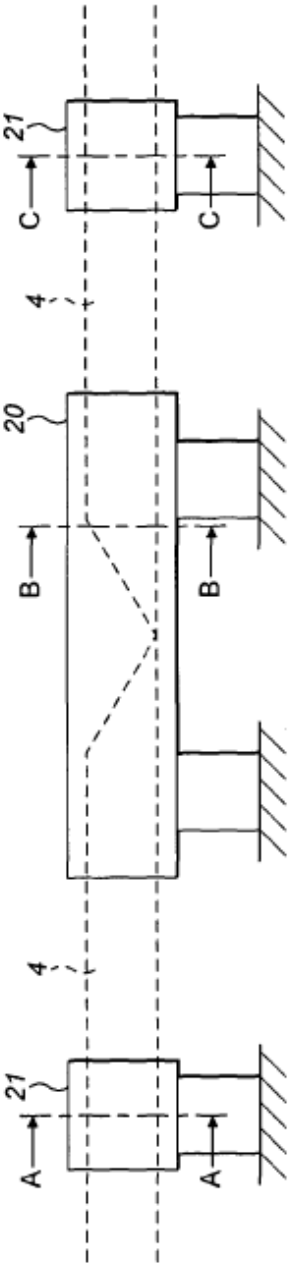

FIG. 9

FIG. 9A

FIG. 9B

FIG. 9C