

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 399 064**

51 Int. Cl.:

**B29C 70/22** (2006.01)

**C04B 35/83** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.11.2009 E 09797096 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2012 EP 2349687**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de pieza de forma compleja en material compuesto**

30 Prioridad:

**28.11.2008 FR 0858098**

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

**25.03.2013**

73 Titular/es:

**HERAKLES (50.0%)  
Rue de Touban, Les Cinq Chemins  
33185 Le Haillan, FR y  
SNECMA (50.0%)**

72 Inventor/es:

**EBERLING-FUX, NICOLAS;  
BOUILLON, ERIC;  
ROUSSILLE, CLÉMENT;  
OTIN, NICOLAS y  
COUPE, DOMINIQUE**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

ES 2 399 064 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**

Procedimiento de fabricación de pieza de forma compleja en material compuesto.

**5 Antecedentes de la invención**

La invención se refiere a la fabricación de piezas de forma compleja en material compuesto.

10 Un ejemplo de aplicación de la invención es la fabricación de piezas en material de material compuesto termoestructural utilizadas en los campos aeronáutico y espacial.

15 De forma bien conocida, la fabricación de una pieza en material compuesto termoestructural comprende la realización de una preforma fibrosa en fibras refractarias (carbono o cerámica) que tiene una forma parecida a la de la pieza a fabricar y la densificación de la preforma fibrosa por una matriz refractaria (carbono o cerámica).

20 Para la realización de la preforma fibrosa se pueden utilizar diferentes técnicas textiles. Una técnica conocida consiste en realizar una preforma por tejedura tridimensional o tejedura multicapas. Dicho modo de tejedura permite obtener unas uniones entre capas de hilos para dar a la preforma la consistencia necesaria para obtener una pieza en material compuesto que tiene unas propiedades mecánicas elevadas.

25 En el caso de piezas de forma compleja, la realización de una preforma fibrosa directamente por tejedura tridimensional (3D) puede resultar difícil, e incluso imposible.

Se puede realizar entonces la preforma fibrosa en varias partes separadas que se ensamblan, por ejemplo, por costura o implantación de hilos, antes de la densificación de la preforma. No obstante, las uniones entre las diferentes partes de la preforma pueden constituir unos puntos de debilidad.

30 Se conoce también el recurso de realizar por tejedura 3D un semielaborado fibroso a partir del cual se obtiene la preforma fibrosa por conformado del semielaborado. El conformado del semielaborado puede comprender el desplegado o replegado de una o varias partes del semielaborado adyacentes a unas zonas de desunión dispuestas durante la tejedura o a unos cortes o incisiones practicados en el semielaborado.

35 El mantenimiento de la preforma fibrosa en la forma deseada se realiza por consolidación, por vía líquida o por vía gaseosa. La consolidación por vía líquida comprende una impregnación de la preforma por una composición de consolidación que contiene una resina y un tratamiento térmico para reticulación y pirolisis de la resina. La cantidad de resina se elige para que el residuo de pirolisis realice una densificación suficiente que permita que la preforma conserve su forma sin la asistencia de utillaje de mantenimiento. La consolidación por vía gaseosa comprende una densificación parcial de la preforma por depósito sobre las fibras de un material obtenido por infiltración química en fase gaseosa, eligiéndose la cantidad de material depositado de manera suficiente para unir entre ellas las fibras de la preforma con el fin de que ésta conserve su forma sin la asistencia de utillaje de mantenimiento. La preforma consolidada se densifica a continuación mediante una matriz refractaria.

45 Un procedimiento de realización de piezas en CMC de forma compleja por consolidación por medio de una resina precursora de cerámica de una preforma fibrosa realizada en material tejido o trenzado, y después densificación de la preforma consolidada por infiltración química en fase gaseosa se describe en el documento US nº 5.350.545.

50 Además, en particular, pero no exclusivamente, para materiales compuestos de matriz cerámica (CMC) la formación de una interfase sobre las fibras permite evitar una adherencia demasiado fuerte sobre las fibras del residuo de pirolisis de resina, en el caso de una consolidación por vía líquida, y permite asimismo, en el caso de una consolidación por vía gaseosa, disminuir en gran medida la sensibilidad a la fisuración e incrementar la resistencia a los choques.

55 Además, puede ser deseable, particularmente cuando las fibras utilizadas son unas fibras cerámicas del mercado, realizar sobre las fibras, antes de la formación de una interfase y la consolidación, un tratamiento de eliminación de un aprestado o de una película de óxido presente en la superficie de las fibras

Estas diferentes operaciones necesitan múltiples manipulaciones que incrementan la complejidad y el coste de la fabricación de las piezas.

60 Por otra parte, se conoce por el documento WO 97/33829 un procedimiento de fabricación de válvulas en material compuesto carbono/carbono que comprende la realización de una preforma trenzada. Se puede realizar una trenza continua con colocación regular de insertos de carbono en el interior de la trenza para obtener unas preformas de válvulas por corte de segmentos en la trenza formada con los insertos.

**Objetivo y sumario de la invención**

La presente invención pretende proponer un procedimiento que permita racionalizar la fabricación de piezas de formas complejas en material compuesto que comprende un refuerzo fibroso densificado por una matriz, en las que el refuerzo fibroso es un refuerzo tejido 3D.

Este objeto se alcanza según la invención mediante un procedimiento que comprende las etapas de:

- tejedura tridimensional de una banda fibrosa continua que comprende una sucesión de semielaborados fibrosos de preformas de una pluralidad de piezas a fabricar,
- corte posterior en la banda de semielaborados fibrosos individuales, estando cada semielaborado realizado de una sola pieza,
- conformado de un semielaborado cortado para obtener una preforma fibrosa de una sola pieza que tiene una forma parecida a la de una pieza a fabricar,
- consolidación de la preforma en la forma deseada, y
- densificación de la preforma consolidada por formación de una matriz por infiltración química en fase gaseosa.

Ventajosamente, se realiza sobre las fibras de la banda fibrosa tejida un tratamiento de superficie que comprende por lo menos una de las operaciones siguientes: desapresto de las fibras y tratamiento ácido de las fibras.

Según un primer modo de realización, antes del corte de los semielaborados fibrosos individuales, la banda fibrosa tejida se impregna con una composición líquida de consolidación que comprende una resina, y la consolidación se efectúa por reticulación y pirolisis de la resina.

Ventajosamente, antes de la impregnación de la banda fibrosa, se forma una capa de interfase fibras-matriz sobre las fibras de la banda fibrosa tejida, siendo la capa de interfase de un material seleccionado de entre el carbono pirolítico PyC, el nitruro de boro BN y el carbono dopado con boro BC. La capa de interfase tiene un espesor preferentemente como máximo igual a 100 nanómetros con el fin de preservar la capacidad de deformación del semielaborado fibroso.

Después de la impregnación por la composición de consolidación y antes del corte de los semielaborados, se puede realizar una prerreticulación de la resina de consolidación. Una prerreticulación o reticulación parcial de este tipo puede aportar una rigidez y, por tanto, una consistencia suplementaria al semielaborado fibroso.

Cuando se ha formado una capa delgada de interfase fibras-matriz antes de la impregnación de la banda, se puede formar una capa suplementaria de interfase después de la obtención de la preforma consolidada y antes de la densificación por la matriz.

Ventajosamente entonces, la capa suplementaria de interfase se realiza por infiltración química en fase gaseosa y la formación de la capa suplementaria de interfase y la densificación se realizan de forma encadenada en un horno.

La conformación del semielaborado fibroso se puede realizar en un molde en el que la reticulación y la pirolisis de la resina de consolidación se realizan de forma encadenada.

Como variante, la pirolisis de la resina se realiza durante una subida de temperatura efectuada con vistas a una operación de infiltración química en fase gaseosa.

Según otro modo de realización del procedimiento, la consolidación se efectúa por densificación parcial por infiltración química en fase gaseosa de la preforma mantenida en la forma deseada.

Ventajosamente, en este otro modo de realización, antes de la consolidación y después de la conformación, se forma un revestimiento de interfase fibras-matriz sobre las fibras de la preforma, siendo el revestimiento de interfase de un material seleccionado de entre el carbono pirolítico PyC, el nitruro de boro BN y el carbono dopado con boro BC. El revestimiento de interfase tiene un espesor de aproximadamente uno a algunos centenares de nanómetros.

Según una particularidad del procedimiento, la densificación comprende dos etapas separadas por una operación de mecanizado de la preforma parcialmente densificada.

Según otra particularidad del procedimiento, antes de la densificación por infiltración química en fase gaseosa se realiza una mecanización previa en la preforma consolidada.

La banda tejida puede comprender varias hileras de semielaborados fibrosos, extendiéndose las hileras en la dirección longitudinal de la banda.

5 Ventajosamente, se teje la banda con unas zonas de sobrelongitud en urdimbre y en trama alrededor de los semielaborados fibrosos.

10 Así, el procedimiento según la invención se destaca porque las operaciones que preceden a la conformación de un semielaborado fibroso se realizan sobre una banda tejida 3D continua que es fácil de manipular y permite tratar simultáneamente una pluralidad de semielaborados. Resulta de ello una ventaja significativa para la fabricación de una serie importante de piezas similares.

El procedimiento según la invención conviene en particular, pero no exclusivamente, para la realización de piezas de formas complejas en material compuesto con matriz cerámica.

15 Una aplicación particular es la fabricación de álabe de turbomáquina. La banda se teje entonces ventajosamente con una sucesión de semielaborados fibrosos aptos, después de su conformación, para constituir unas preformas fibrosas que constituyen cada una de ellas una preforma en una sola pieza de por lo menos una pala y un pie de álabe, estando los semielaborados fibrosos tejidos con su dirección longitudinal correspondiente a la de los álabes a fabricar extendiéndose en sentido trama o en sentido urdimbre.

20 **Breve descripción de los dibujos**

La invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción siguiente, a título indicativo, pero no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 25
- la figura 1 indica las etapas sucesivas de un primer modo de realización del procedimiento según la invención;
  - 30 - la figura 2 indica las etapas sucesivas de un segundo modo de realización del procedimiento según la invención;
  - la figura 3 es una vista en perspectiva de un álabe de turbomáquina con plataforma y talón integrados;
  - 35 - la figura 4 ilustra de forma muy esquemática la disposición de dos conjuntos de capas de hilos en un semielaborado fibroso tejido tridimensional destinado a la realización de una preforma fibrosa para un álabe tal como el ilustrado por la figura 3;
  - las figuras 5, 6 y 7 ilustran unas etapas sucesivas de realización de una preforma fibrosa para un álabe tal como el ilustrado por la figura 3 a partir del semielaborado fibroso de la figura 4;
  - 40 - la figura 8 es una vista en sección que muestra el perfil, puesto de plano, de un álabe tal como el de la figura 3;
  - 45 - la figura 9 es una vista en sección de un conjunto de capas de hilos de urdimbre que permiten obtener un perfil tal como el de la figura 8;
  - las figuras 10A y 10B son unas vistas en sección urdimbre que muestran un modo de tejedura del semielaborado fibroso de la figura 4;
  - 50 - la figura 11 es una vista parcial en sección según un plano paralelo a las direcciones de urdimbre y trama en una parte del semielaborado fibroso de la figura 4 correspondiente al emplazamiento de unión entre la pala y la plataforma de álabe;
  - 55 - la figura 12 es una vista parcial en sección trama en una parte del semielaborado fibroso de la figura 4 correspondiente al emplazamiento de la unión entre la pala y el talón de álabe;
  - la figura 13A es una vista en sección trama que muestra un ejemplo de disposición de hilos de trama en una parte de semielaborado fibroso correspondiente a una parte de pie de álabe;
  - 60 - las figuras 13B, 13C y 13D son unas vistas en sección trama que muestran unos planos de urdimbre para un ejemplo de tejedura tridimensional (multicapas) en la parte de semielaborado fibroso de la figura 10A;
  - la figura 14 es una vista esquemática parcial en sección que muestra otro modo de realización de una parte correspondiente a un pie de álabe;
  - 65 - las figuras 15 y 16 ilustran muy esquemáticamente dos modos de realización de una banda fibrosa tejida

obtenida por tejeduría tridimensional que comprende una pluralidad de semielaborados fibrosos tales como los de la figura 4;

- 5 - la figura 17 es una vista en perspectiva de una aleta orientable caliente de tobera de un motor de avión con turbina de gas de poscombustión;
- la figura 18 ilustra de forma muy esquemática la disposición de capas de hilos en un semielaborado fibroso tejido 3D destinado a la realización de una preforma fibrosa para un cuerpo de una aleta tal como la ilustrada por la figura 17;
- 10 - las figuras 19 y 20 ilustran unas etapas sucesivas de realización de una preforma fibrosa para un cuerpo de aleta tal como el ilustrado por la figura 17 a partir del semielaborado fibroso de la figura 18;
- las figuras 21A y 21B son unas vistas en sección parciales a escala ampliada de un conjunto de capas de hilos que forman el semielaborado de la figura 18; y
- 15 - las figuras 22 y 23 ilustran muy esquemáticamente dos modos de realización de una banda fibrosa tejida 3D que comprende una pluralidad de semielaborados fibrosos tales como el de la figura 18.

## 20 Descripción detallada de modos de realización

En la figura 1 están indicadas unas etapas sucesivas de un procedimiento de fabricación de una pieza en material compuesto según un primer modo de realización del procedimiento según la invención.

25 En este ejemplo se considerará la realización de una pieza en material compuesto con matriz cerámica (CMC) comprendiendo un refuerzo fibroso de fibras de cerámica densificado por una matriz cerámica.

En la etapa 1 se teje por tejeduría 3D una banda fibrosa que comprende por lo menos una hilera de semielaborados fibrosos 200. Los semielaborados fibrosos pueden tener unas direcciones longitudinales orientadas en sentido urdimbre, es decir, en la dirección longitudinal de la banda, como se ilustra, o, como variante, orientadas en sentido trama. Más adelante, se describen en detalle unos modos de realización de semielaborados fibrosos para la fabricación de diferentes piezas. Las fibras cerámicas son, por ejemplo, unas fibras de SiC, realizándose entonces la tejeduría a partir de hilos de fibras de SiC tales como, por ejemplo, los proporcionados bajo la denominación "Nicalon" por la sociedad japonesa Nippon Carbon.

35 En la etapa 2 se trata la banda fibrosa para eliminar el apresto presente en las fibras y la presencia de óxido en la superficie de las fibras. La eliminación del óxido se obtiene por tratamiento ácido, en particular por inmersión en un baño de ácido fluorhídrico. Un tratamiento previo de eliminación del apresto se realiza, por ejemplo, por descomposición del apresto mediante un breve tratamiento térmico.

40 En la etapa 3 se forma una capa delgada de revestimiento de interfase sobre las fibras de la banda fibrosa por infiltración química en fase gaseosa o CVI ("Chemical Vapor Infiltration"). El material del revestimiento de interfase es, por ejemplo, carbono pirólítico o pirocarbono (PyC), nitruro de boro (BN) o carbono dopado con boro (BC con, por ejemplo, de 5% at a 20% at de B, siendo C el complemento). La capa delgada de revestimiento de interfase es preferentemente de pequeño espesor, por ejemplo como máximo igual a 100 nanómetros, o incluso como máximo igual a 50 nanómetros, con el fin de conservar una buena capacidad de deformación de los semielaborados fibrosos. Preferentemente, el espesor es por lo menos igual a 10 nanómetros.

50 En la etapa 4, la banda fibrosa con las fibras revestidas de una delgada capa de revestimiento de interfase se impregna con una composición de consolidación, típicamente una resina eventualmente diluida en un disolvente. Se puede utilizar una resina de precursor de carbono, por ejemplo una resina fenolínica o furánica, o una resina de precursor de cerámica, por ejemplo una resina de polisilazano, polisiloxano o policarbosilano precursoras de SiCN, SiCO y SiC.

55 Después del secado por eliminación del disolvente eventual de la resina (etapa 5) se puede efectuar una prerreticulación de la resina (etapa 6). La prerreticulación o reticulación incompleta permite aumentar la rigidez y, por tanto, la consistencia, a la vez que deja la capacidad de deformación necesaria para la realización de preformas por conformación de los semielaborados.

60 En la etapa 7 se cortan los semielaborados fibrosos individuales 200.

En la etapa 8, se conforma un semielaborado fibroso así cortado y se colocada en un molde o conformador, por ejemplo de grafito, para su conformación con el fin de obtener una preforma que tiene una forma compleja parecida a la de una pieza en material compuesto a fabricar.

65 A continuación, se termina la reticulación de la resina (etapa 9) y se piroliza la resina reticulada (etapa 10). La

reticulación y la pirolisis se pueden encadenar por elevación progresiva de la temperatura en el molde.

Después de la pirolisis se obtiene una preforma fibrosa consolidada por el residuo de pirolisis. La cantidad de resina de consolidación se elige para que el residuo de pirolisis ligue las fibras de la preforma de manera suficiente para que ésta sea manipulable, conservando a la vez su forma sin la asistencia de un utillaje, consignándose que la cantidad de resina de consolidación se elige preferentemente tan pequeña como sea posible.

Se conocen unas etapas de eliminación de apresto, de tratamiento ácido y de formación de revestimiento de interfase para un sustrato de fibras SiC. Se podrá hacer referencia al documento US nº 5.071.679.

Se puede formar una segunda capa de interfase por CVI (etapa 11) si fuera necesario, para obtener globalmente una interfase fibras-matriz que tiene un espesor suficiente para asegurar una función de desfragilización del material compuesto. La segunda capa de interfase puede ser de un material seleccionado de entre PyC, BN, BC, no necesariamente el mismo que el de la primera capa de interfase. Como es conocido, dichos materiales de interfase son capaces de asegurar una relajación de tensiones en el fondo de fisuras que llegan a la interfase a través de la matriz del material compuesto y evitar o retardar así una propagación de las fisuras a través de las fibras con rotura de éstas, haciendo que el material compuesto sea menos frágil. El espesor de la segunda capa de interfase es preferentemente por lo menos igual a 100 nanómetros.

Se prefiere la realización de una interfase de dos capas, como se ha indicado anteriormente. Ésta se describe en la solicitud de patente FR 2 933 970. La primera capa de interfase contribuye a evitar una adherencia demasiado fuerte del residuo de pirolisis de la resina de consolidación sobre las fibras.

Se realiza a continuación una densificación por una matriz cerámica de la preforma consolidada. Se puede realizar esta densificación por CVI, en cuyo caso se pueden encadenar en un mismo horno la formación de la segunda capa de interfase y la densificación por la matriz cerámica.

Es bien conocida la densificación por CVI de una preforma por una matriz cerámica, en particular una matriz de SiC. Se puede utilizar una fase gaseosa de reacción que contiene metiltriclorosilano (MTS) e hidrógeno gaseoso (H<sub>2</sub>). La preforma consolidada se coloca en el recinto sin ayuda del utillaje de mantenimiento de su forma, y se introduce la fase gaseosa en el recinto. En condiciones controladas, en particular, de temperatura y de presión, la fase gaseosa se difunde en la porosidad de la preforma para formar el depósito de matriz de SiC por reacción entre sus constituyentes.

Evidentemente, según la naturaleza del material compuesto deseado, el procedimiento se puede realizar a partir de una banda fibrosa de fibras distintas de la cerámica, por ejemplo de fibras de carbono. Se omite entonces el tratamiento ácido de eliminación de la capa de óxido en la etapa 10.

Asimismo, la densificación por CVI de la preforma consolidada se puede realizar por una matriz distinta del SiC, en particular una matriz de carbono o una matriz autocicatrizante, teniendo los ejemplos de fases de matriz autocicatrizante un sistema ternario Si-B-C o carburo de boro B<sub>4</sub>C. Se podrá hacer referencia a los documentos US nº 5.246.736 y US nº 5.965.266, que describen la obtención por CVI de unas matrices autocicatrizantes de este tipo.

La densificación se puede realizar en dos etapas sucesivas (etapas 12 y 14) separadas por una etapa 13 de mecanización a las dimensiones deseadas de la pieza a fabricar. La segunda etapa de densificación permite no sólo completar la densificación en el núcleo del material compuesto, sino también formar un revestimiento de superficie sobre las fibras eventualmente puestas al descubierto durante la mecanización.

Se observará que se puede realizar una premeconización, o afinado, entre las etapas 9 y 10, es decir, después de la reticulación y antes de la pirolisis de la resina.

En la figura 2 se indican unas etapas sucesivas de un procedimiento de fabricación de una pieza en material compuesto de acuerdo con un segundo modo de realización del procedimiento de la invención.

La etapa 21 de tejeduría tridimensional de una banda fibrosa que comprende una pluralidad de semielaborados fibrosos 200 y la etapa 22 de tratamiento de eliminación de apresto y de óxido son parecidas a las etapas 1 y 2 del modo de realización de la figura 1.

En la etapa 23 unos semielaborados individuales se cortan en la banda fibrosa, y después cada semielaborado fibroso individual es conformado en un molde o conformador (etapa 24) para obtener una preforma fibrosa que tiene la forma compleja deseada.

En la etapa 25 un revestimiento de interfase de desfragilización se forma por CVI sobre las fibras de la banda fibrosa. El material del revestimiento es, por ejemplo, PyC, BN o BC, como se ha mencionado anteriormente. El espesor del revestimiento de interfase es de aproximadamente una a algunas centenas de nanómetros.

Mientras la preforma es mantenida en forma en el conformador, se realiza una consolidación de la preforma por densificación parcial (etapa 26), realizándose la consolidación por formación de un depósito cerámico sobre las fibras por CVI.

5 La formación del revestimiento de interfase por CVI y la consolidación por depósito cerámico por CVI se pueden encadenar en un mismo horno CVI.

10 El conformador es preferentemente de grafito y presenta unos orificios que facilitan el paso de la fase gaseosa de reacción que proporciona el depósito de interfase y el depósito cerámico por CVI.

15 Cuando la consolidación es suficiente para que se pueda manipular la preforma mientras conserva su forma sin asistencia de utillaje de mantenimiento, se extrae la preforma consolidada del conformador y se realiza la densificación por una matriz cerámica por CVI. La densificación se puede realizar en dos etapas sucesivas (etapas 27 y 29) separadas por una etapa 28 de mecanización a las dimensiones deseadas de la pieza a fabricar.

20 En lo que precede se ha contemplado la formación del revestimiento de interfase en la etapa 23 sobre las fibras de la banda fibrosa, antes del corte de los semielaborados 200. Como variante, se puede formar el revestimiento de interfase después de conformar la preforma (etapa 25) y antes de la consolidación (etapa 26). La formación del revestimiento de interfase por CVI y la consolidación por depósito cerámico por CVI se pueden encadenar entonces en un mismo horno CVI. Procediendo así, se puede formar un revestimiento de interfase cuyo espesor no está limitado para dejar una capacidad de deformación para formar la preforma.

**Ejemplo 1: Fabricación de álabes de turbomáquina en material CMC con plataforma y/o talón integrado.**

25 El procedimiento de la invención se puede utilizar para fabricar diferentes tipos de álabes de turbomáquina, por ejemplo álabes de rueda móvil de turbina de baja presión, teniendo los álabes una plataforma y un talón integrados, como el álabe 110 ilustrado por la figura 3.

30 El álabe 110 de la figura 3 comprenden de manera bien conocida una pala 120, un pie 130 formado por una parte de espesor más fuerte, por ejemplo de sección en forma de bulbo, prolongado por un zanco 132, una plataforma interior 140 situada entre el pie 130 y la álabe 120, y una plataforma exterior o talón 150 en la proximidad del extremo libre de la pala.

35 La pala 120 se extiende en dirección longitudinal entre la plataforma 140 y el talón 150 y presenta en sección transversal un perfil curvado de espesor variable entre su borde de ataque 120a y su borde de fuga 120b.

40 El álabe 110 se monta sobre un rotor de turbina (no ilustrado) por introducción del pie 130 en un alojamiento de forma correspondiente dispuesto en la periferia del rotor. El pie 130 se prolonga por el zanco 132 para conectarse a la cara interna (o inferior) de la plataforma 140.

45 En su extremo radial interno, la pala 120 se une a la plataforma 140 en una cara externa (o superior) 142 de la plataforma que delimita, en el interior, la vena de circulación del flujo gaseoso en la turbina. En sus partes extremas aguas arriba y aguas abajo (en el sentido f de circulación del flujo gaseoso), la plataforma se termina por unas plantillas 144, 146. En el ejemplo ilustrado la cara 142 de la plataforma se inclina formando globalmente un ángulo no nulo  $\alpha$  con respecto a la normal a la dirección longitudinal del álabe. Según el perfil deseado de la superficie interior de la vena de circulación del flujo gaseoso, el ángulo  $\alpha$  podría ser cero o la cara 142 podría tener un perfil globalmente no rectilíneo, por ejemplo curvado.

50 En su extremo radial externo la pala se une al talón 150 en una cara interna (inferior) 152 del talón que delimita, en el exterior, la vena de circulación del flujo gaseoso. En el lado externo (superior) el talón delimita una depresión o bañera 154. A lo largo de los bordes aguas arriba y aguas abajo de la bañera 154, el talón lleva unos rascadores 156 de perfil en forma de dientes cuyos extremos pueden penetrar en una capa de material abrasionable de un anillo de turbina (no representado) para reducir la holgura entre el vértice de álabe y el anillo de turbina. En el ejemplo  
55 ilustrado, la cara 152 del talón se extiende de manera sustancialmente perpendicular a la dirección longitudinal del álabe. Como variante, según el perfil deseado de la superficie exterior de la vena de circulación del flujo gaseoso, la cara 152 se podría inclinar formando globalmente un ángulo no nulo con respecto a la normal a la dirección longitudinal del álabe o la cara 152 podría tener un perfil globalmente no rectilíneo, por ejemplo curvado.

60 La figura 4 muestra muy esquemáticamente un semielaborado fibroso 200 a partir del cual se puede conformar una preforma fibrosa de álabe con el fin de obtener, después de una densificación por una matriz y una mecanización eventual, un álabe en material compuesto con plataforma y talón integrados, tal como se ilustra en la figura 3. Un único semielaborado 200 se muestra en la figura 4, haciéndose notar que una sucesión de dichos semielaborados se teje de manera continua en una banda fibrosa como ya se ha mencionado y se precisa también más adelante.

65 El semielaborado 200 comprende dos partes 202, 204 obtenidas por tejedura tridimensional o tejedura multicapas,

representándose en la figura 4 únicamente las envolventes de estas dos partes. La parte 202 está destinada, después de su conformación, a constituir una parte de preforma fibrosa de álabe correspondiente a una preforma de pala y pie de álabe. La parte 204 está destinada, después de su conformación, a constituir las partes de preforma fibrosa de álabe correspondientes a preformas de plataforma y talón de álabe.

Las dos partes 202, 204 tienen forma de bandas que se extienden de forma general en una dirección correspondiente a la dirección longitudinal X del álabe a realizar. La banda fibrosa 202 presenta, en su parte destinada a formar una preforma de pala, un espesor variable determinado en función del espesor de perfil de la pala del álabe a realizar. En su parte destinada a formar una preforma de pie, la banda fibrosa 202 presenta un sobreespesor 203 determinado en función del espesor del pie del álabe a realizar.

La banda fibrosa 202 tiene una anchura I elegida en función de la longitud del perfil desarrollado (de plano) de la pala y del pie del álabe a realizar, mientras que la banda fibrosa 204 tiene una anchura L superior a I elegida en función de las longitudes desarrolladas de la plataforma y del talón del álabe a realizar.

La banda fibrosa 204 es de espesor sustancialmente constante determinado en función de los espesores de la plataforma y del talón del álabe a realizar. La banda 204 comprende una primera parte 204<sub>a</sub> que se extiende a lo largo y en la proximidad de una primera cara 202<sub>a</sub> de la banda 202, una segunda banda 204<sub>b</sub> que se extiende a lo largo y en la proximidad de la segunda cara 202<sub>b</sub> de la banda 202 y una tercera parte 205<sub>a</sub> que se extiende a lo largo y en la proximidad de la primera cara 202<sub>a</sub> de la banda 202.

Las partes 204<sub>a</sub> y 204<sub>b</sub> se unen por una parte de unión 240<sub>c</sub> que se extiende transversalmente con respecto a la banda 202 en un emplazamiento correspondiente al de la plataforma del álabe a realizar. La parte de unión 240<sub>c</sub> atraviesa la banda 202 formando un ángulo  $\alpha$  con respecto a la normal a la dirección longitudinal del semielaborado fibroso. Las partes 204<sub>b</sub> y 205<sub>a</sub> se unen por una parte de unión 250<sub>c</sub> que se extiende transversalmente con respecto a la banda 202 en un emplazamiento correspondiente al del talón del álabe a realizar. En el ejemplo representado, la parte de unión 250<sub>c</sub> atraviesa la banda 202 de manera sustancialmente perpendicular a la dirección longitudinal del semielaborado fibroso. Según la geometría deseada al nivel del talón del álabe, la parte de unión 250<sub>c</sub> podrá atravesar la banda 202 formando un ángulo no nulo con respecto a la normal a la dirección longitudinal del semielaborado, como para la plataforma. Además, el perfil de la parte de unión 240<sub>c</sub> y/o el de la parte de unión 250<sub>c</sub> podrán ser curvilíneos en lugar de ser rectilíneos como en el ejemplo ilustrado.

Como se describe más en detalle más adelante, las bandas 202 y 204 se tejen simultáneamente por tejeduría tridimensional, pero sin unión entre la banda 202 y las partes 204<sub>a</sub>, 204<sub>b</sub> y 205<sub>a</sub> de la banda 204, y tejiendo una pluralidad de semielaborados 200 sucesivos de manera continua en la dirección X.

Las figuras 5 a 7 muestran muy esquemáticamente cómo se puede obtener a partir del semielaborado fibroso 200 una preforma fibrosa que tiene una forma parecida a la del álabe a fabricar.

La banda fibrosa 202 se corta en un extremo en el sobreespesor 203 y en otro extremo un poco más allá de la parte de unión 250<sub>a</sub> para tener una banda 220 de longitud correspondiente a la dimensión longitudinal del álabe a fabricar con una parte abultada 230 formada por el sobreespesor 203 y situada en un emplazamiento correspondiente a la posición del pie del álabe a fabricar.

Además, se practican unos cortes en los extremos de las partes 204<sub>a</sub>, 205<sub>a</sub> de la banda 204 y en la parte 204<sub>b</sub> de ésta para dejar que subsistan unos tramos 240<sub>a</sub> y 240<sub>b</sub> a una y otra parte de la parte de unión 240<sub>c</sub> y unos tramos 250<sub>a</sub> y 250<sub>b</sub> a una y otra parte de la parte de unión 250<sub>c</sub>, como muestra la figura 5. Las longitudes de los tramos 240<sub>a</sub>, 240<sub>b</sub> y 250<sub>a</sub>, 250<sub>b</sub> se determinan en función de las longitudes de plataforma y de talón en el álabe a fabricar.

Debido a la desunión entre la banda 202 del semielaborado fibroso, por un lado, y las partes 204<sub>a</sub>, 204<sub>b</sub> y 205<sub>a</sub>, por otro lado, los tramos 240<sub>a</sub>, 240<sub>b</sub>, 250<sub>a</sub> y 250<sub>b</sub> se pueden abatir perpendicularmente a la banda 202 sin cortar hilos para formar unos platos 240, 250, como se muestra por la figura 6.

Se obtiene a continuación una preforma fibrosa 300 del álabe a fabricar por moldeo con deformación de la banda 202 para reproducir el perfil curvado de la pala del álabe y deformación de los platos 240, 250 para reproducir unas formas parecidas a las de la plataforma y del talón del álabe, como muestra la figura 7. Se obtiene así una preforma con una parte 320 de preforma de pala, una parte 330 de preforma de pie (con preforma de zanco) y unas partes 340, 350 de preforma de plataforma y de preforma de talón.

Se describirá ahora con más detalle un modo de tejeduría tridimensional del semielaborado fibroso 200.

Se supone que la tejeduría se realiza con hilos de urdimbre que se extienden en la dirección longitudinal X del semielaborado, haciéndose notar que es asimismo posible una tejeduría con hilos de trama en esta dirección.

La variación de espesor de la banda 202 sobre su anchura se obtiene utilizando hilos de urdimbre de título variable. Como variante o como complemento, se puede hacer variar la contextura de los hilos de urdimbre (número de hilos

## ES 2 399 064 T3

por unidad de longitud en sentido trama), permitiendo una contextura más pequeña un adelgazamiento más importante durante la conformación de la preforma por moldeo.

5 Así, para obtener un perfil de pala de álabe, tal como se representa en proyección de plano en la figura 8, se pueden utilizar 3 capas de hilos de urdimbre de título y de contextura variables como se ilustra por la figura 9.

10 En un ejemplo de realización, los hilos utilizados pueden ser unos hilos de carburo de silicio (SiC) proporcionados bajo la denominación "Nicalon" por la sociedad japonesa Nippon Carbon y que tienen un título (número de filamentos) de 0,5K (500 filamentos). Se forma la urdimbre con hilos de SiC de 0,5K e hilos de SiC de 1K obtenidos por la reunión de dos hilos de 0,5K, reuniéndose los dos hilos por entorchado. El entorchado se realiza ventajosamente con un hilo de carácter fugaz susceptible de ser eliminado después de la tejedura, por ejemplo, un hilo de alcohol polivinílico (PVA) eliminable por disolución en agua.

15 La tabla I siguiente proporciona, para cada columna de hilos de urdimbre, la contextura (número de hilos/cm en la longitud del perfil), el número de hilos 0,5K, el número de hilos 1K y el espesor del perfil en mm, variando éste en este caso entre 1 mm y 2,5 mm aproximadamente:

Tabla I

Columna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Contextura	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6
n° hilos 0,5K	3	3	3	3	3	3	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3
n° hilos 2x0,5K	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	3	3	3	3	3	3	1	2	0
Espesor	1	1	1	1	1	1	1,2	1,5	2	2,2	2,4	2,5	2,4	2,4	2,2	2,1	1,8	1,5	1,2

20 Evidentemente, según los títulos de hilos disponibles, se podrán adoptar para el perfil a obtener diferentes combinaciones de números de capas de hilos y de variaciones de contextura y de título.

25 Las figuras 10A, 10B muestran, en sección urdimbre, dos planos sucesivos de una armadura que se puede utilizar para la tejedura del semielaborado fibroso 200 fuera del sobreespesor 203.

30 La banda 202 del semielaborado fibroso 200 comprende un conjunto de capas de hilos de urdimbre, siendo en este caso el número de capas, por ejemplo, igual a 3 (capas C<sub>11</sub>, C<sub>12</sub>, C<sub>13</sub>). Los hilos de urdimbre se ligan por hilos de trama t<sub>1</sub> mediante tejedura tridimensional.

35 La banda 204 comprende asimismo un conjunto de capas de hilos de urdimbre, por ejemplo también igual a 3 (capas C<sub>21</sub>, C<sub>22</sub>, C<sub>23</sub>) ligadas por hilos de trama t<sub>2</sub> mediante tejedura tridimensional, como la banda 202.

40 Se debe observar que los hilos de trama t<sub>1</sub> no se extienden en las capas de hilos de urdimbre de la banda 204 y que los hilos de trama t<sub>2</sub> no se extienden en las capas de hilos de urdimbre de la banda 202 con el fin de asegurar una desunión.

45 En el ejemplo ilustrado, la tejedura es una tejedura multicapas realizada con una armadura de tipo satén o multisatén. Se podrán utilizar otros tipos de tejedura tridimensional, por ejemplo una tejedura multicapa con armadura multitela o una tejedura de armadura "interlock". Por tejedura "interlock" se entiende en la presente memoria una armadura de tejedura en la que cada capa de hilos de trama liga varias capas de hilos de urdimbre, teniendo todos los hilos de una misma columna de trama el mismo movimiento en el plano de la armadura. En particular, se describen diferentes modos de tejedura tridimensional en el documento WO 2006/136755 cuyo contenido se incorpora a la presente memoria a modo de referencia.

50 La figura 11 es una vista en sección paralelamente al sentido de urdimbre y trama al nivel de la travesía de la banda 202 por la parte de unión 240c de la banda 204, viéndose en sección los hilos de urdimbre de esta parte de unión. Cada capa de hilos de urdimbre se extiende, en esta parte de unión 240c, en una dirección que forma un ángulo  $\alpha$  con respecto a la dirección de trama de la banda 202. El paso de la banda 204 de un lado a otro de la banda 202 se realiza, durante la tejedura, haciendo atravesar el conjunto de los hilos de urdimbre y de trama de la banda 202 por cada hilo de urdimbre de la banda 204, individualmente.

55 La figura 12 es una vista en sección de trama al nivel de la travesía de la banda 202 por la parte de unión 250c de la banda 204. En el ejemplo ilustrado, como ya se ha indicado, la parte de unión 250c se extiende perpendicularmente a la dirección de urdimbre de la banda 202. Sin embargo, como para la parte de unión 240c, se podrá tener una parte de unión 250c que se extienda formando un ángulo no nulo con respecto a la normal a la dirección de urdimbre, según la orientación deseada del talón.

El sobreespesor 203 se puede obtener utilizando unos hilos de trama de título más grande y unas capas suplementarias de hilos de trama, como muestra, por ejemplo, la figura 13A.

5 En la figura 13A el número de capas de hilos de trama pasa en este ejemplo de 4 a 7 entre una parte de semielaborado fibroso 202<sub>1</sub> de la banda 202 correspondiente al zanco del álabe y la parte de semielaborado fibroso 202<sub>3</sub> de la banda 202 que presenta el sobreespesor 203.

10 Además, se utilizan unos hilos de trama  $t_1$ ,  $t'_1$ ,  $t''_1$  de títulos diferentes, siendo los hilos  $t_1$ , por ejemplo, unos hilos de SiC "Nicalon" de título 0,5K (500 filamentos), obteniéndose los hilos  $t'_1$  por la reunión de 2 hilos de 0,5K y obteniéndose los hilos  $t''_1$  por la reunión de 3 hilos de 0,5K.

15 La tejedura en la parte de semielaborado 202<sub>3</sub> necesita unas capas de hilos de urdimbre en número más grande que en la parte 202<sub>1</sub>. Esto se realiza ventajosamente durante la transición entre la parte 202<sub>1</sub> y la parte 202<sub>3</sub> disminuyendo el número de planos de urdimbre mediante la constitución de cada plano de urdimbre en la parte 202<sub>3</sub> por la reunión de los hilos de urdimbre de dos planos de urdimbre en la parte 202<sub>1</sub>. Las figuras 13B y 13C muestran dos planos de urdimbre vecinos en la parte 202<sub>1</sub> y la figura 13D muestra un plano de urdimbre obtenido en la parte 202<sub>3</sub> por la reunión de los planos de urdimbre de las figuras 13B y 13C. En las figuras 13B, 13C y 13D no se han mostrado los títulos diferentes de los hilos de urdimbre (como se muestra en la figura 9) o de los hilos de trama (como se muestra en la figura 13A) en aras de una mayor simplicidad. Entre las figuras 13B, 13C, por una parte, y la figura 13D, por otra parte, las rayas muestran cómo los hilos de urdimbre de las diferentes capas en las figuras 13B, 13C forman las capas de hilos de urdimbre de la figura 13D.

20 Evidentemente, se podrán adoptar diferentes combinaciones de números de capas de trama y de títulos de hilos de trama para formar el sobreespesor 203.

25 Según otro modo de realización mostrado esquemáticamente en la figura 14, el sobreespesor 203 se puede obtener introduciendo un inserto durante la tejedura de la banda 202.

30 En la figura 14 el conjunto T<sub>1</sub> de capas de hilos de trama de la parte 202<sub>1</sub> de la banda 202 correspondiente al zanco del álabe se divide por desunión durante la tejedura en dos subconjuntos T<sub>11</sub>, T<sub>12</sub> entre los cuales se introduce un inserto 203<sub>1</sub>. En el ejemplo ilustrado, la parte 202<sub>1</sub> tiene un espesor más importante que el de la parte 202<sub>2</sub> de la banda 202 correspondiente a la pala del álabe. La transición entre la parte 202<sub>2</sub> y la parte 202<sub>1</sub> se podrá realizar de la misma manera que se ha descrito más arriba para la transición entre las partes 202<sub>1</sub> y 202<sub>3</sub> de la figura 13A. La travesía de la banda 202 por la banda 204 al nivel de la parte de unión 240c de la figura 4 se podrá realizar eventualmente a través de la parte 202<sub>1</sub> de espesor más grande.

35 En el extremo del inserto 203 opuesto a la parte 202<sub>1</sub> los subconjuntos T<sub>11</sub>, T<sub>12</sub> de capas de hilos de trama se reúnen de nuevo por tejedura para formar una parte 202'<sub>1</sub> del mismo espesor que la parte 202<sub>1</sub>, y después, por reducción de espesor, una parte 202'<sub>2</sub> del mismo espesor que la parte 202<sub>2</sub>, formando la parte 202'<sub>2</sub> la parte correspondiente a una pala de álabe para el semielaborado siguiente tejido.

40 El inserto 203<sub>1</sub> es preferentemente de cerámica monolítica, preferentemente el mismo material cerámico que el de la matriz del material compuesto del álabe a fabricar. Así, el inserto 203<sub>1</sub> puede ser un bloque de SiC obtenido por sinterización de polvo de SiC.

45 Como muestra muy esquemáticamente la figura 15, una pluralidad de semielaborados fibrosos 200 se obtienen por tejedura de una banda 400 en la que se forman una o varias hileras de semielaborados fibrosos sucesivos. Unas zonas de sobrelongitud 410, 420 están dispuestas en sentido urdimbre (únicamente hilos de urdimbre) y en sentido trama (únicamente hilos de trama) para evitar fenómenos de borde ligados a la tejedura, dejar una libertad más grande de deformación durante la conformación de la preforma y disponer unas zonas de transición entre los semielaborados 200.

50 La figura 16 muestra una variante de realización según la cual se realiza una banda 450 con una hilera de semielaborados 200 tejidos en sentido trama perpendicularmente a la dirección longitudinal de la banda. Unas zonas de sobrelongitud 460, 470 están dispuestas asimismo en sentido urdimbre y en sentido trama. Se pueden tejer varias hileras de semielaborados 200, adaptándose la anchura de la banda 450 a este efecto.

55 Las etapas de tratamiento de superficie de las fibras, formación de una primera capa de revestimiento de interfase, impregnación por una composición de consolidación y prerreticulación del procedimiento según el modo de realización de la figura 1 se realizan antes del corte de los semielaborados en la banda 400 o 450.

60 Después del corte, se realizan como se describe con referencia a la figura 1 unas etapas de conformación de cada semielaborado en un molde, reticulación de la resina de consolidación, pirolisis de la resina reticulada, formación de una capa suplementaria de revestimiento de interfase y densificación en varios ciclos con mecanización intermedia.

65 Como variante, se podría utilizar el modo de realización de la figura 2.

Se ha descrito anteriormente un ejemplo detallado de realización del procedimiento para la fabricación de álabes de turbomáquina de plataforma y/o talón integrados. El procedimiento se puede utilizar para la fabricación de álabes sin plataforma ni talón, adosándose, por ejemplo, la plataforma. En este último caso, la realización del semielaborado fibroso se puede simplificar limitándose a la banda fibrosa 202.

**Ejemplo 2: Fabricación de aletas calientes de tobera de motor de avión con turbina de gas de poscombustión.**

La figura 17 muestra una aleta 500 orientable tal como se utiliza para una tobera de sección variable en un canal de eyección de un motor de turbina de poscombustión.

La aleta 500 comprende un cuerpo de aleta 510 que tiene una forma general de sector cilíndrico que se extiende entre dos bordes longitudinales 511, 512. Unos nervios de rigidización 520, 530 están formados en la cara cóncava de la aleta 500. En un extremo longitudinal 501 de la aleta está fijada una pletina 540 sobre la cara cóncava de la aleta, entre los nervios 520, 530, soportando la pletina 540 unos ojetes 541, 542 para el paso de un eje (no mostrado) de articulación de la aleta 500. Otra pletina 550 está fijada sobre la cara cóncava de la aleta y sobre los nervios 520, 530. La pletina 550 se sitúa entre los nervios 520, 530 a distancia del extremo 501 y lleva una pieza 552 de unión articulada con un accionador (no representado) que controla la posición angular de la aleta. El cuerpo de aleta 510 forma una sola pieza de material CMC con los nervios 520, 530, mientras que las pletinas 540, 550 son, por ejemplo, de material metálico refractario.

La figura 18 muestra muy esquemáticamente un semielaborado fibroso 600 a partir del cual se puede conformar una preforma fibrosa de cuerpo de aleta para obtener, después de su densificación por una matriz y su mecanización, un cuerpo de aleta tal como el 510 ilustrado por la figura 17.

El semielaborado 600 tiene forma de banda de dirección longitudinal X, teniendo la banda una anchura elegida en función de la anchura desarrollada de plano del cuerpo de aleta 510 a fabricar. El semielaborado 600 es de espesor sustancialmente constante determinado en función del espesor de la aleta a fabricar. Un único semielaborado 600 está mostrado en la figura 18, haciéndose notar que una sucesión de dichos semielaborados están tejidos en forma de una banda fibrosa continua. El semielaborado 600 se realiza con una pluralidad de capas de hilos superpuestas y ligadas por tejedura 3D. La unión entre las capas de hilos se realiza sobre todo el espesor del semielaborado, salvo en una zona 602 que se extiende longitudinalmente sobre una distancia D elegida en función de la distancia en proyección de plano entre los nervios 520, 530 del cuerpo de aleta 510 a fabricar. La zona de desunión 602 se extiende sustancialmente a medio espesor del semielaborado 600, y los conjuntos de capas de hilos 604, 606 a una y otra parte de la zona de desunión 602 no están ligados mutuamente sobre la longitud de esta zona.

Las figuras 19 y 20 muestran esquemáticamente cómo se puede obtener a partir del semielaborado fibroso 600 una preforma fibrosa que tiene una forma próxima a la del cuerpo de aleta 510 a fabricar.

Se conserva, en la dirección X, una dimensión del semielaborado 600 elegida en función de la longitud del cuerpo de aleta 510 a fabricar.

A partir de una de las caras 605 de la aleta fibrosa se retira por corte una parte del conjunto de capas de hilos 604, extendiéndose esta parte paralelamente a la dirección X sobre toda la longitud del semielaborado fibroso. La parte retirada tiene un espesor que va hasta la zona de desunión 602. En la dirección Y perpendicular a X, la parte retirada tiene una dimensión  $d$  inferior a D con el fin de dejar que subsistan unas partes 604<sub>a</sub>, 604<sub>b</sub> del conjunto de capas de hilos 604 que se extienden en la dirección Y sobre una longitud elegida en función de la anchura de los nervios 520, 530 del cuerpo de aleta 510 a fabricar (figura 19).

Una preforma fibrosa 650 del cuerpo de aleta 510 a fabricar se obtiene a continuación por moldeo con deformación para reproducir el perfil curvado del cuerpo de hoja y abatimiento de las partes 604<sub>a</sub>, 604<sub>b</sub> para obtener unas partes de preforma de los nervios 520, 530 del cuerpo de aleta (figura 20).

En las figuras 21A y 21B se muestra esquemáticamente un modo de tejedura 3D del semielaborado 600. La figura 21A es una vista parcial ampliada de dos planos de sección de urdimbre sucesivos en una parte del semielaborado 600 que no presenta desunión, mientras que la figura 21B muestra dos planos de sección de urdimbre sucesivos en la parte del semielaborado 600 que presenta la desunión 602.

En este ejemplo, el semielaborado 600 comprende 6 capas de hilos de urdimbre que se extienden en la dirección X. En la figura 21A las 6 capas de hilos de urdimbre están ligadas por unos hilos de trama  $T_1$  a  $T_5$ , siendo la armadura de tipo interlock. En la figura 21B, 3 capas de hilos de urdimbre que forman el conjunto de capas de hilos 604 están ligadas entre ellas por dos hilos de trama  $T_1$ ,  $T_2$ , igual que las 3 capas de hilos de urdimbre que forman el conjunto de capas de hilos 605 están ligadas por dos hilos de trama  $T_4$  y  $T_5$ . La desunión 602 separa uno de otro los conjuntos de capas de hilos de urdimbre 604, 605.

5 Como se muestra muy esquemáticamente en la figura 22, una pluralidad de semielaborados fibrosos 600 se obtienen por tejedura de una banda 700 en la que se forman una o varias hileras de semielaborados sucesivas. Unas zonas de sobrelongitud 710, 720 están dispuestas en sentido urdimbre (únicamente hilos de urdimbre) y en sentido trama (únicamente hilos de trama) para evitar unos fenómenos de borde ligados a la tejedura, dejar una libertad más grande de deformación durante la realización de las preformas y disponer unas zonas de transición entre los semielaborados 600.

10 La figura 23 muestra una variante de realización según la cual se realiza una banda 750 con una hilera de semielaborados 600 tejidos en sentido trama perpendicularmente a la dirección longitudinal de la banda. Unas zonas de sobrelongitud 760, 770 están dispuestas asimismo en sentido urdimbre y en sentido trama. Se pueden tejer varias hileras de semielaborados 600, adaptándose en consecuencia la longitud de la banda 750.

15 Las etapas de tratamiento de superficie de las fibras, formación de una primera capa de revestimiento de interfase, impregnación por una composición de consolidación y prerreticulación del procedimiento según el modo de realización de la figura 1 se realizan antes del corte de los semielaborados 600 en la banda 700 o 750.

20 Después del corte, unas etapas de conformación de cada semielaborado en un molde, reticulación de la resina de consolidación, pirolisis de la resina reticulada, formación de una capa suplementaria de revestimiento de interfase y densificación en varios ciclos con mecanización intermedia se realizan como se describe con referencia a la figura 1.

Evidentemente, como variante, se podría utilizar el procedimiento según el modo de realización de la figura 2.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento de fabricación de pieza (110; 510) en material compuesto que comprende un refuerzo fibroso tejido tridimensional y densificado por una matriz, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
- tejedura tridimensional de una banda fibrosa continua (400; 450; 700; 750) que comprende una sucesión de semielaborados fibrosos (200; 600) de preformas de una pluralidad de piezas a fabricar,
  - 10 - corte posterior en la banda de semielaborados fibrosos individuales (200; 600), siendo cada semielaborado de una sola pieza,
  - conformación de un semielaborado cortado para obtener una preforma fibrosa de una sola pieza (300; 650) que tiene una forma parecida a la de una pieza a fabricar,
  - 15 - consolidación de la preforma en la forma deseada, y
  - densificación de la preforma consolidada por formación de una matriz por infiltración química en fase gaseosa.
- 20 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque se realiza un tratamiento de superficie sobre las fibras de la banda fibrosa tejida (400; 450; 700; 750) que comprende por lo menos una de las operaciones siguientes: desapestado de las fibras y eliminación del óxido por tratamiento ácido de las fibras.
- 25 3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque, antes del corte de los semielaborados fibrosos individuales (200; 600), la banda fibrosa tejida (400; 450; 700; 750) se impregna con una composición líquida de consolidación que comprende una resina y la consolidación se efectúa por reticulación y pirolisis de la resina.
- 30 4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque, antes de la impregnación por la composición de consolidación, se forma una capa de interfase fibras-matriz sobre las fibras de la banda fibrosa tejida, siendo la capa de interfase de un material seleccionado de entre el carbono pirolítico PyC, el nitruro de boro BN y el carbono dopado con boro BC.
- 35 5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado porque la capa de interfase tiene un espesor como máximo igual a 100 nanómetros.
- 40 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 4 y 5, caracterizado porque, después de la obtención de la preforma consolidada y antes de la densificación por la matriz, se forma una capa suplementaria de interfase fibras-matriz.
- 45 7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque la capa suplementaria de interfase se realiza por infiltración química en fase gaseosa, y porque la formación de la capa suplementaria de interfase y la densificación se realizan de manera encadenada en un horno.
- 50 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 7, caracterizado porque, después de la impregnación por la composición de consolidación y antes del corte de los semielaborados, se realiza una prerreticulación de la resina de consolidación.
- 55 9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 8, caracterizado porque la conformación del semielaborado fibroso se realiza en un molde en el que la reticulación y la pirolisis de la resina de consolidación se realizan de manera encadenada.
- 60 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 8, caracterizado porque la pirolisis de la resina se realiza durante una subida de temperatura efectuada con vistas a una operación de infiltración química en fase gaseosa.
- 65 11. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la consolidación se efectúa mediante densificación parcial por infiltración química en fase gaseosa de la preforma mantenida en la forma deseada.
12. Procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque, después de la conformación y antes de la consolidación, se forma un revestimiento de interfase fibras-matriz sobre las fibras de la preforma, siendo el revestimiento de interfase de un material seleccionado de entre el carbono pirolítico PyC, el nitruro de boro BN y el carbono dopado con boro BC.
13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado porque la densificación comprende dos etapas separadas por una operación de mecanización de la preforma parcialmente densificada.

14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado porque la banda tejida (400; 700) comprende varias hileras de semielaborados fibrosos que se extienden en la dirección longitudinal de la banda.

5 15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, caracterizado porque se teje la banda (400; 700) con unas zonas de sobrelongitud en urdimbre y en trama alrededor de los semielaborados fibrosos.

10 16. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15 para la fabricación de un álabe de turbomáquina (110), en el que se teje la banda continua con una sucesión de semielaborados fibrosos (200) aptos, después de su conformación, para constituir unas preformas fibrosas (300) que constituyen cada una de ellas una preforma de una sola pieza de por lo menos una pala y un pie de álabe, siendo los semielaborados fibrosos tejidos con su dirección longitudinal correspondiente a la de los álabes a fabricar extendiéndose en sentido trama o en sentido urdimbre.

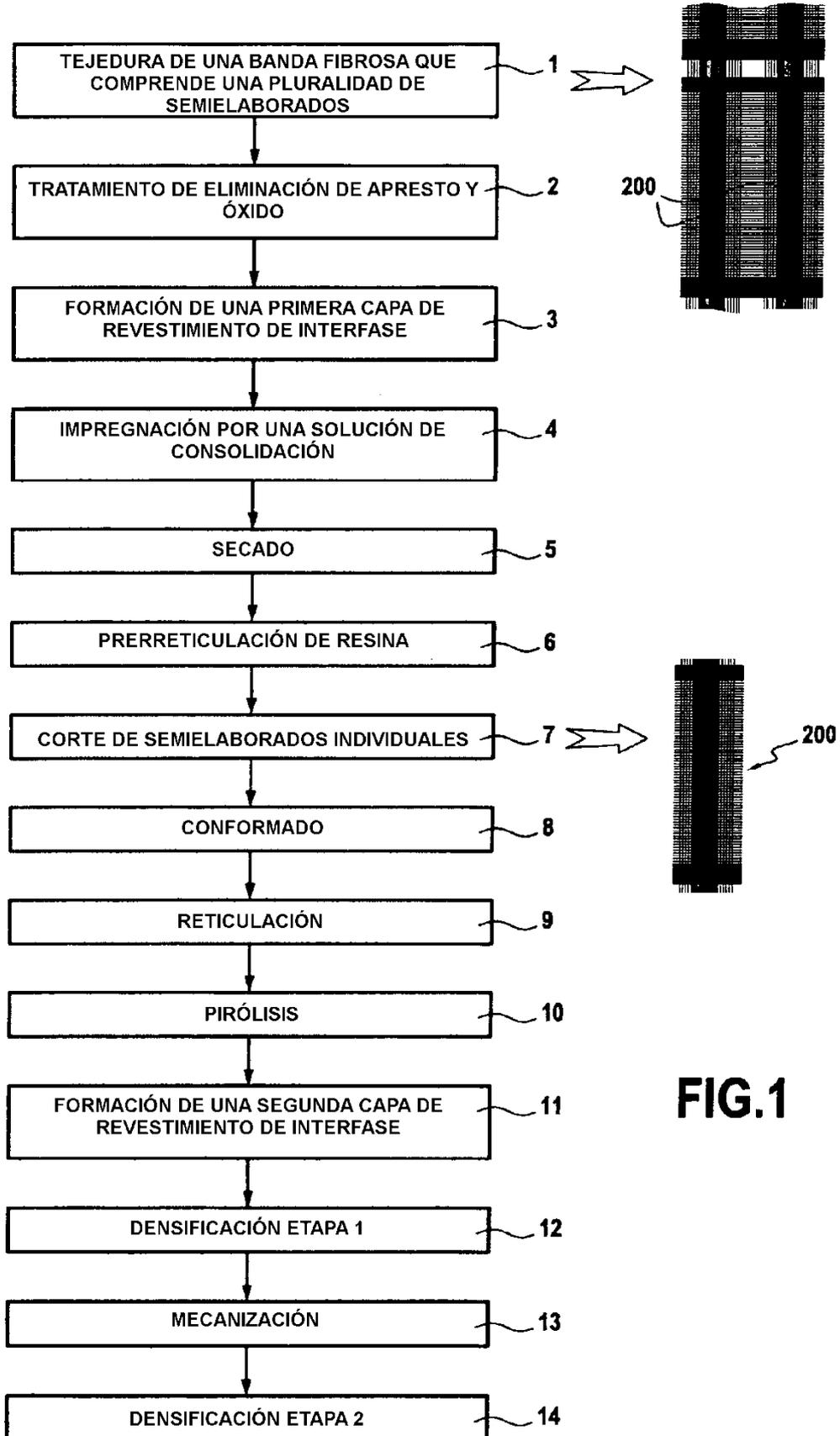
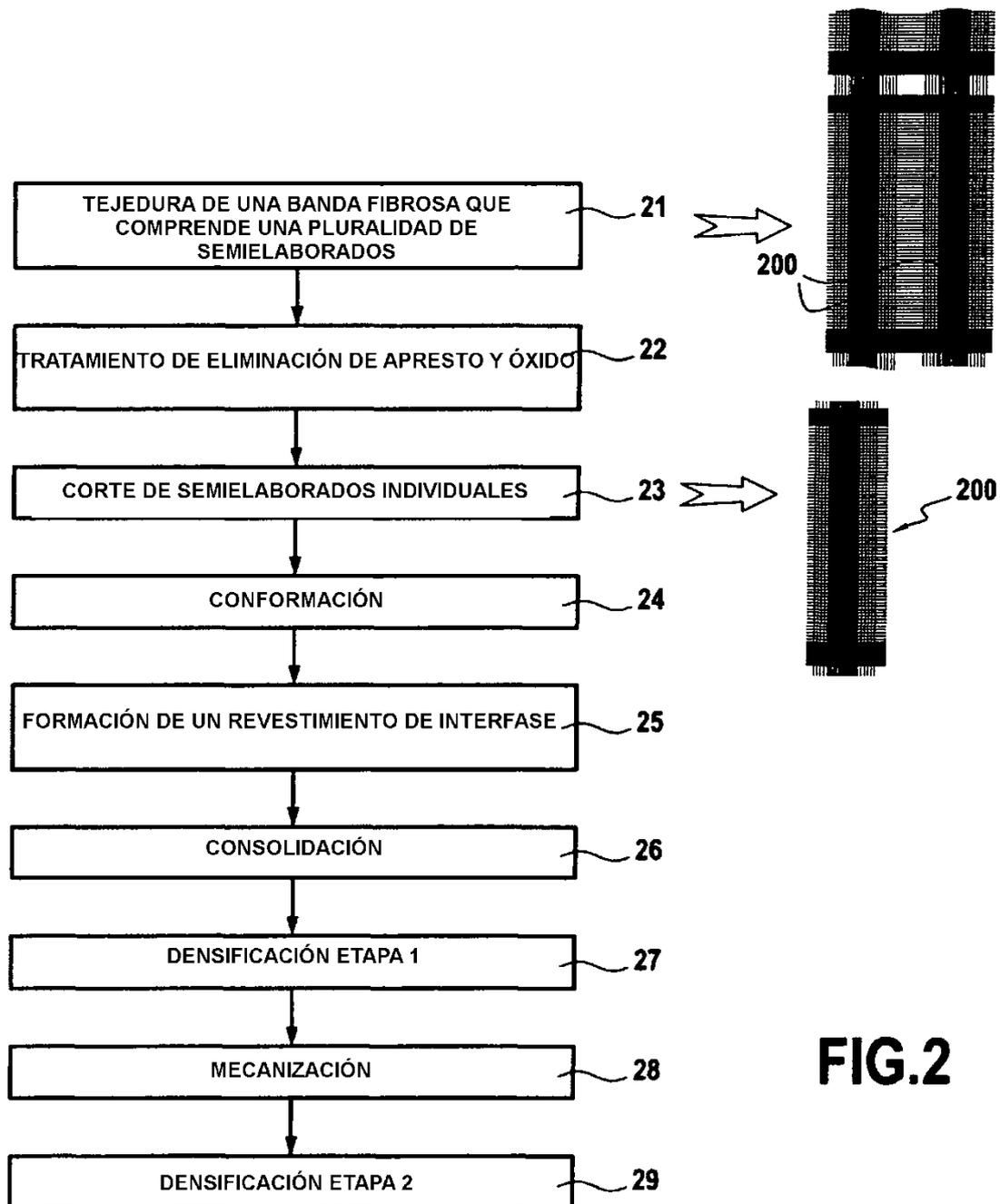
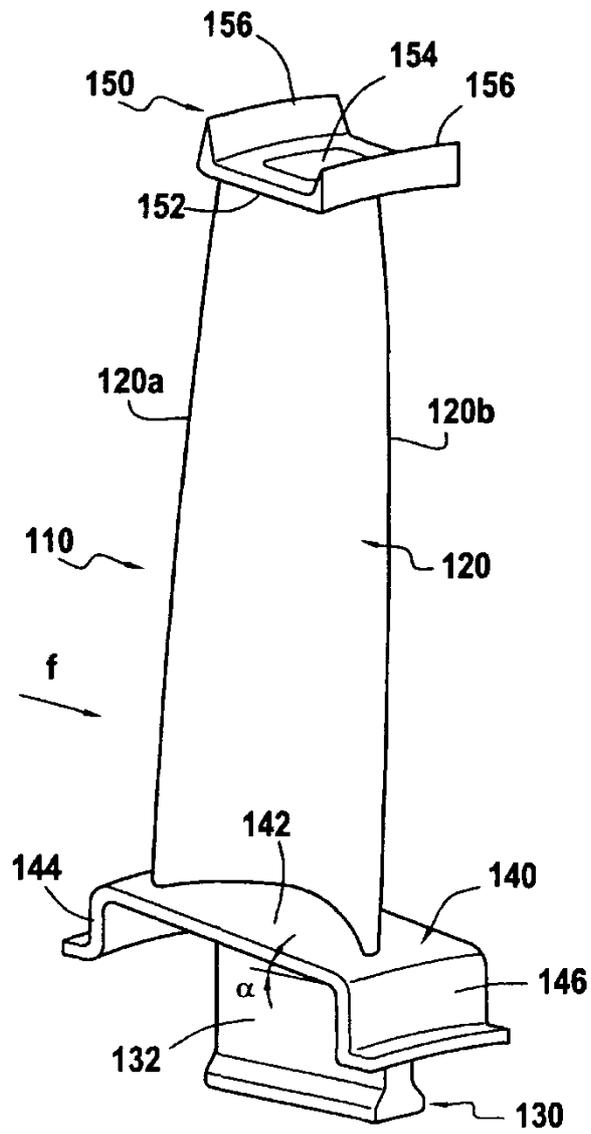


FIG.1



**FIG.2**



**FIG.3**

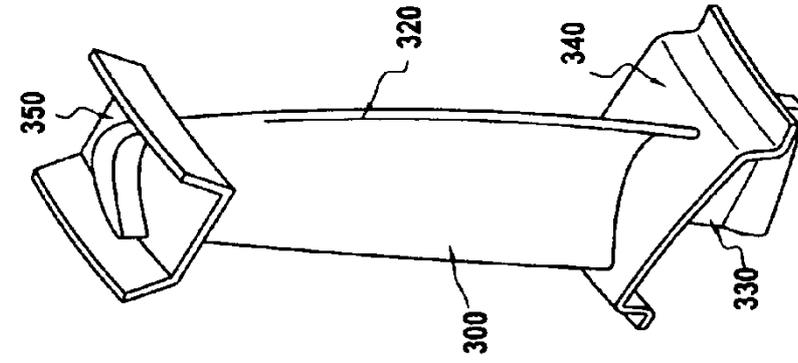


FIG.7

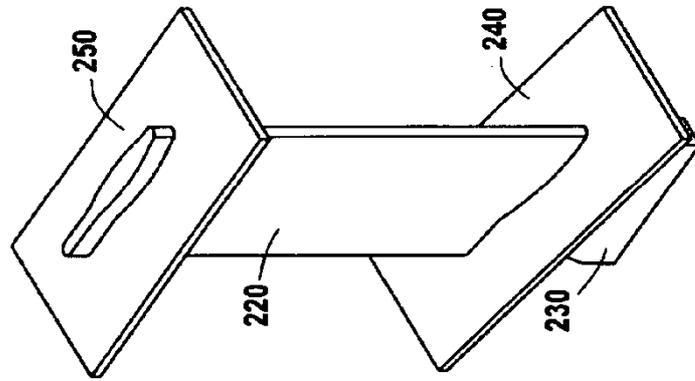


FIG.6

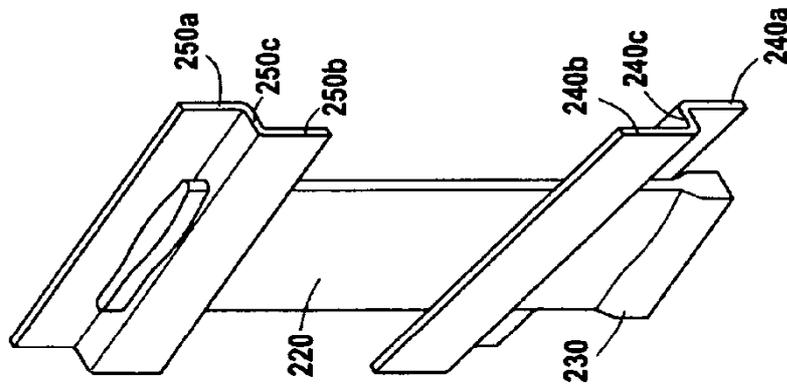


FIG.5

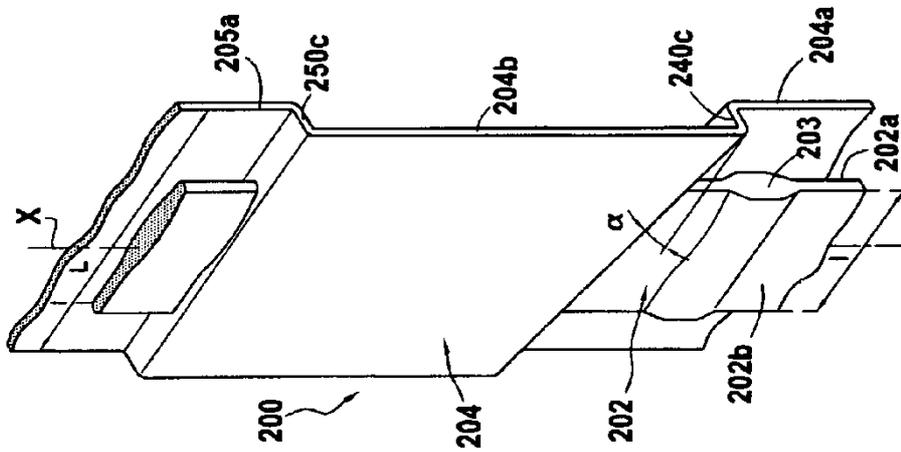


FIG.4

FIG.8



FIG.9

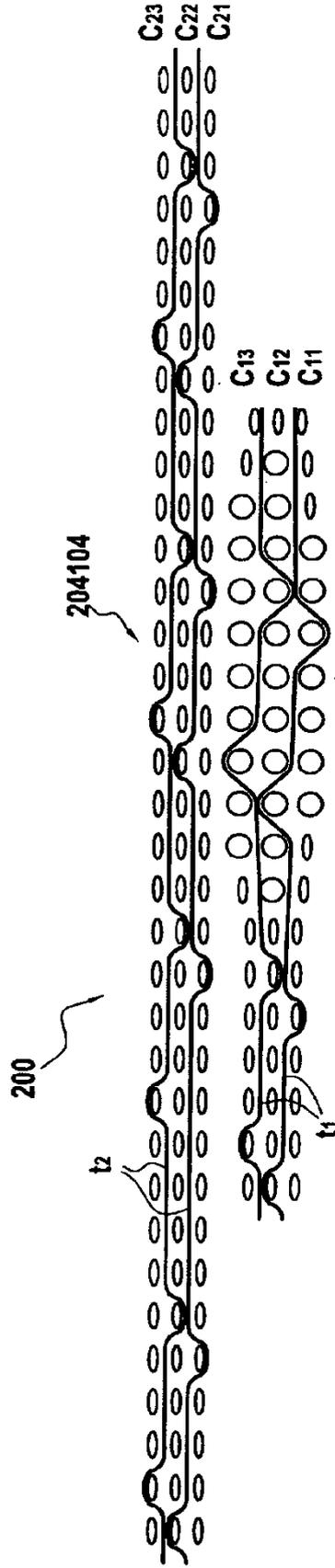
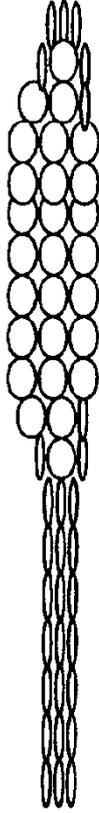


FIG.10A

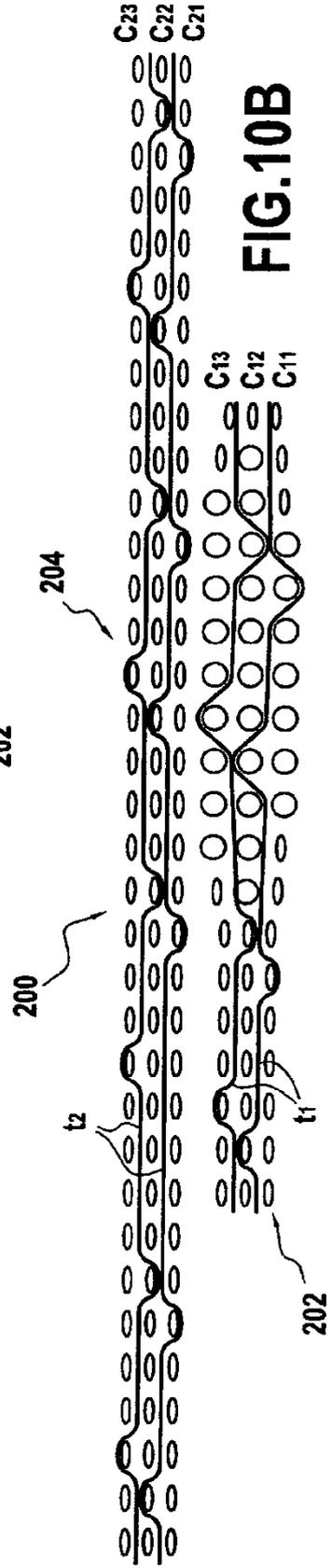


FIG.10B

FIG.11

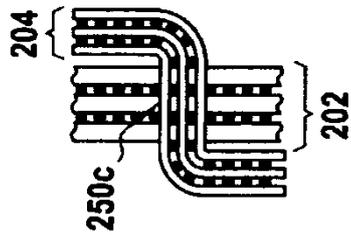
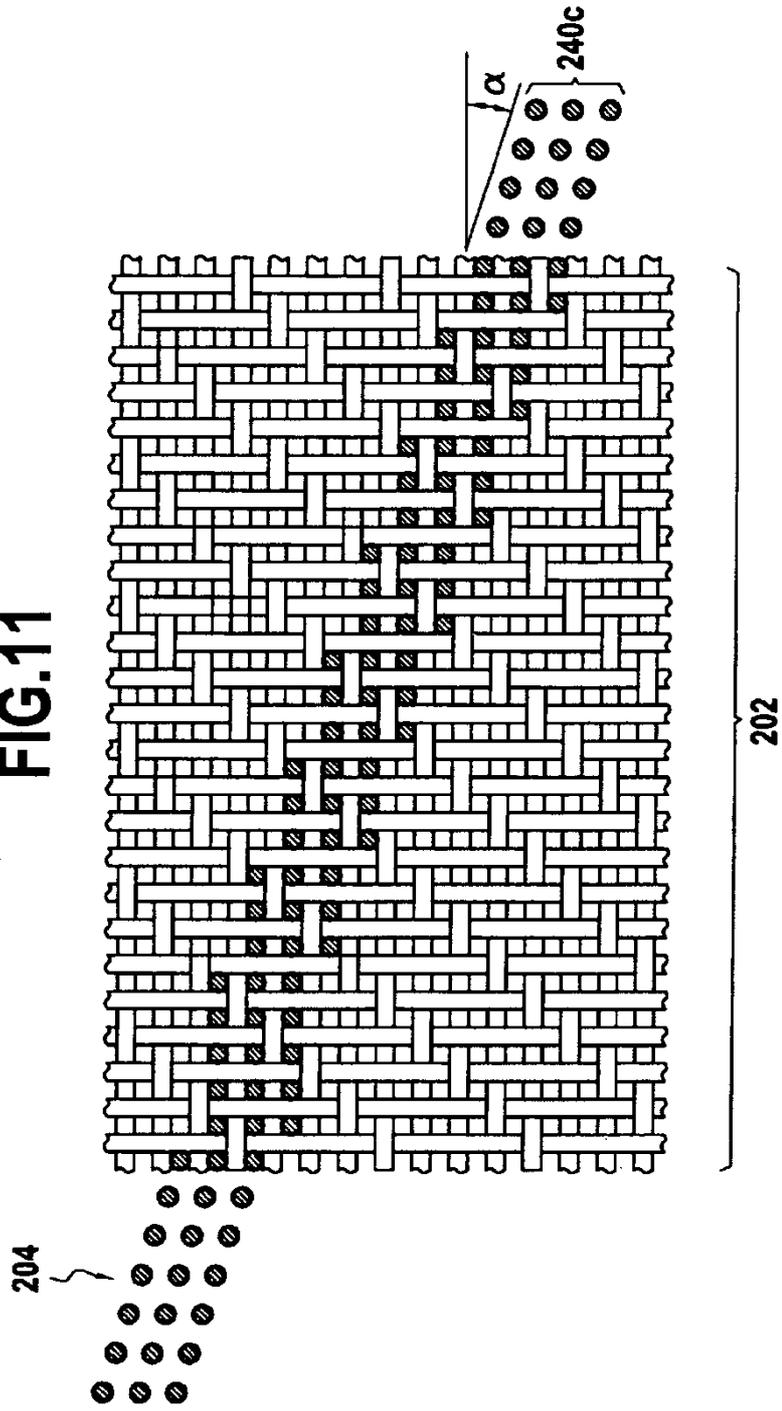
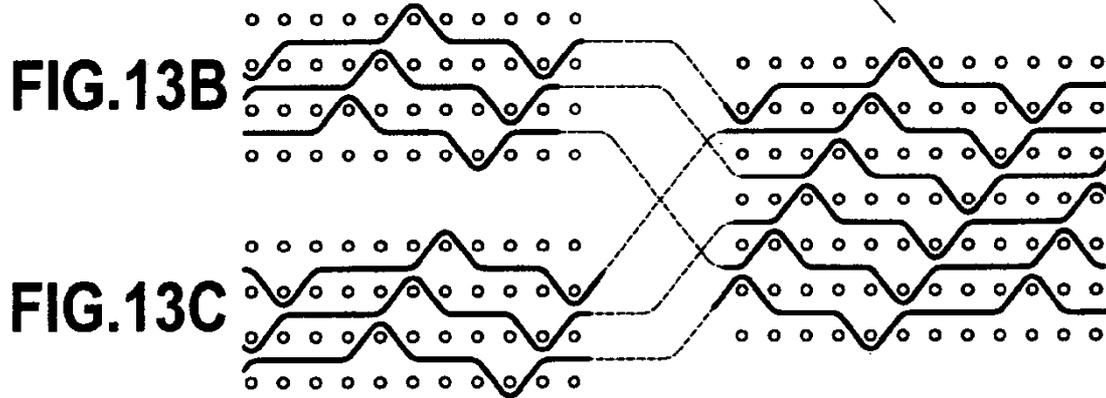
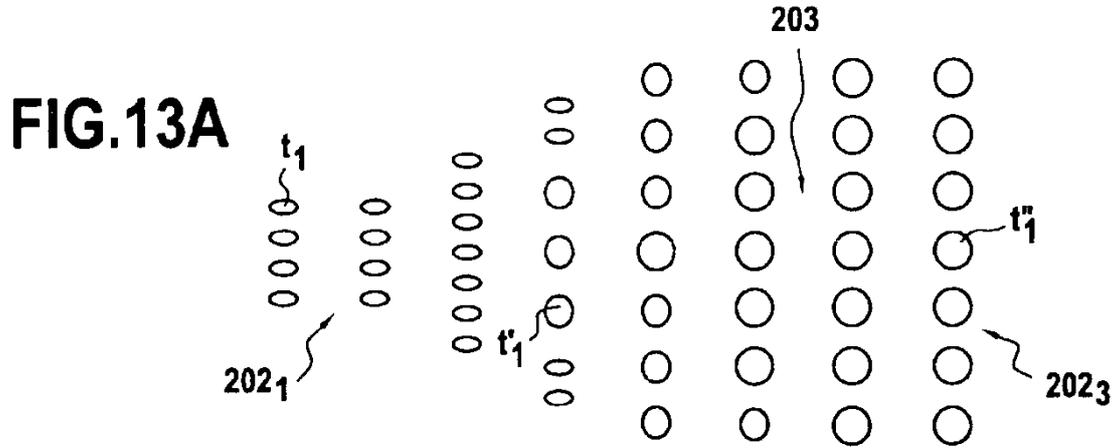
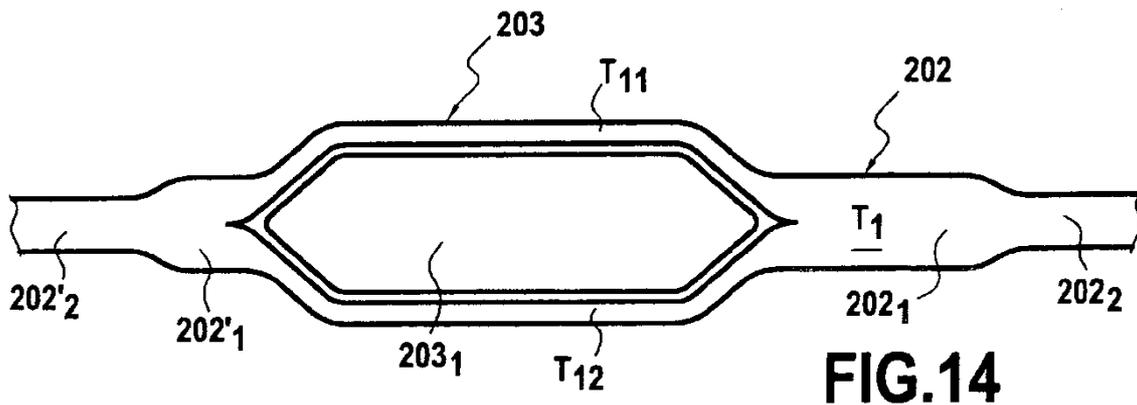
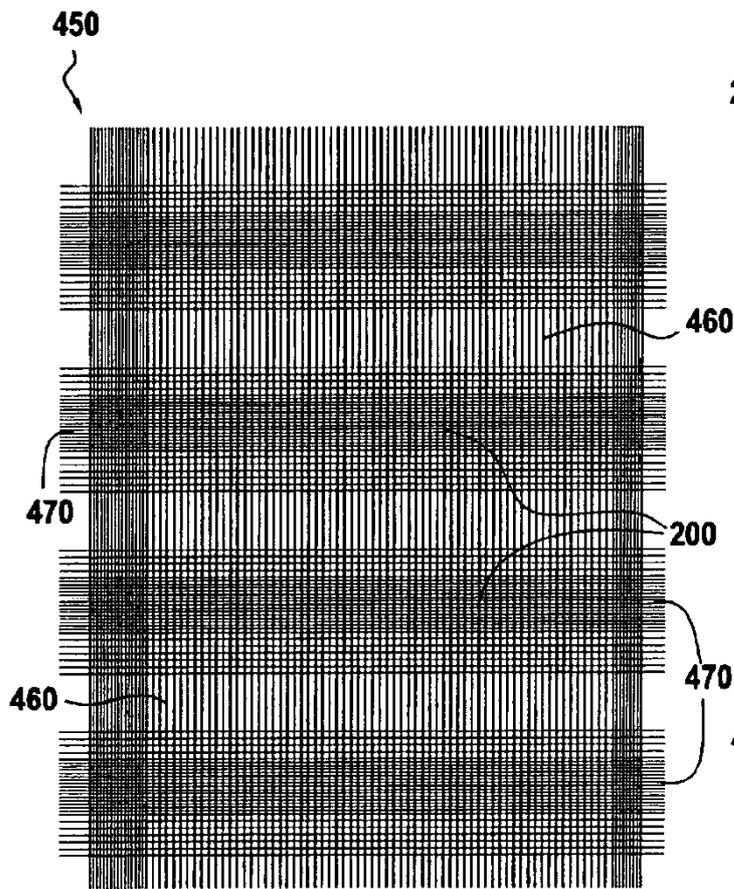


FIG.12

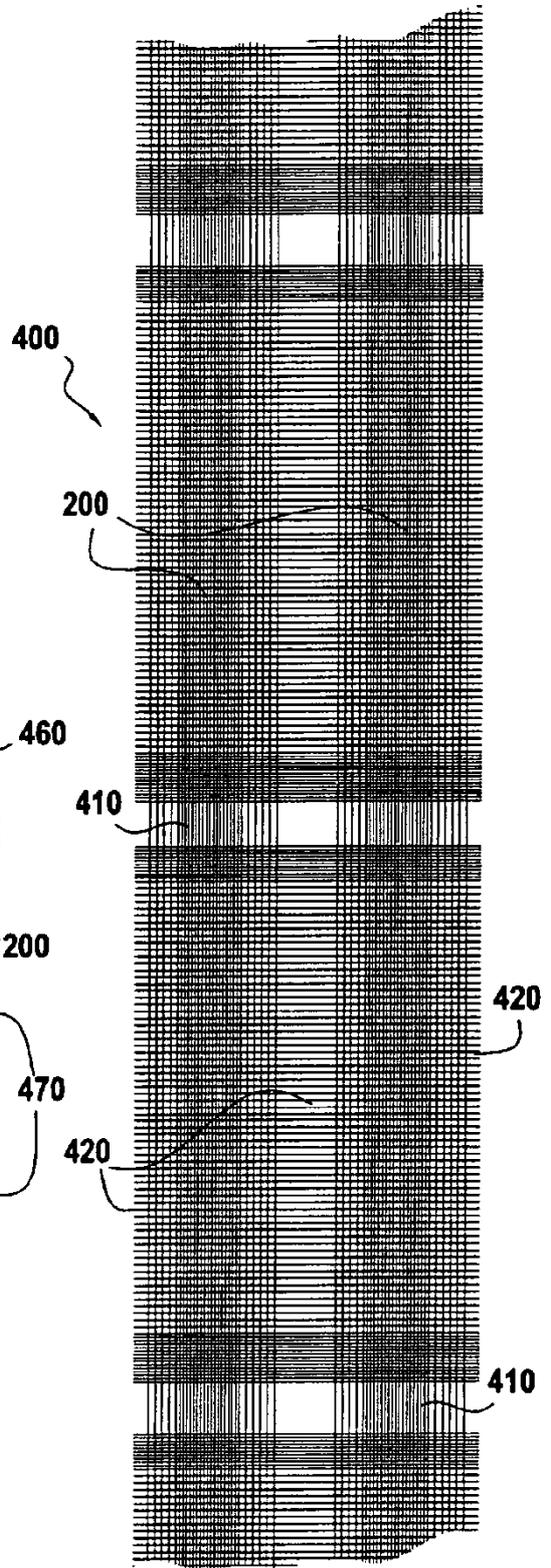


**FIG.13D**



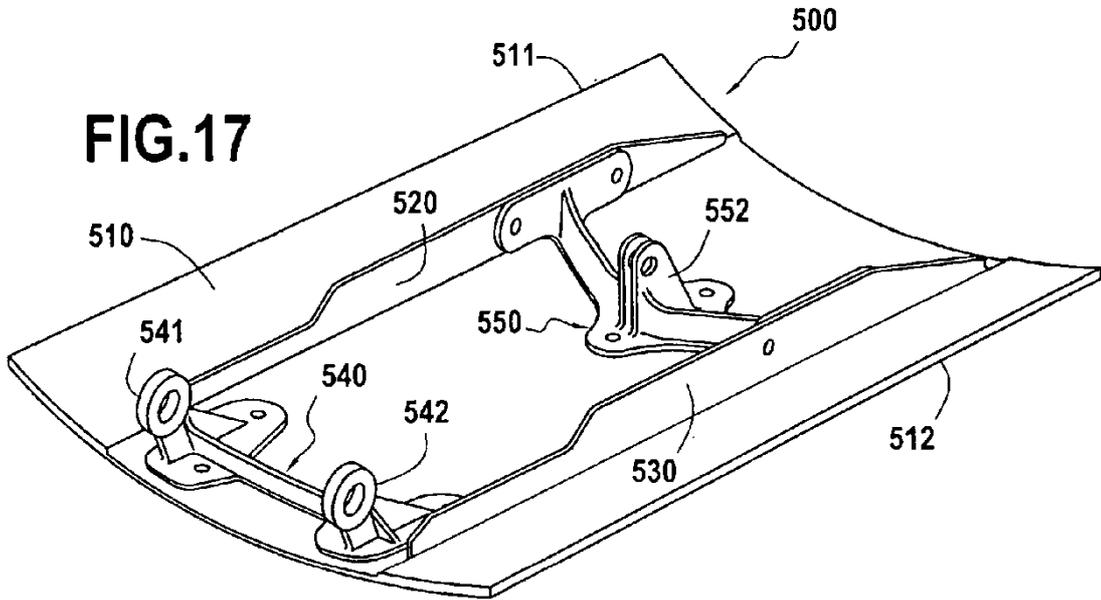


**FIG. 16**

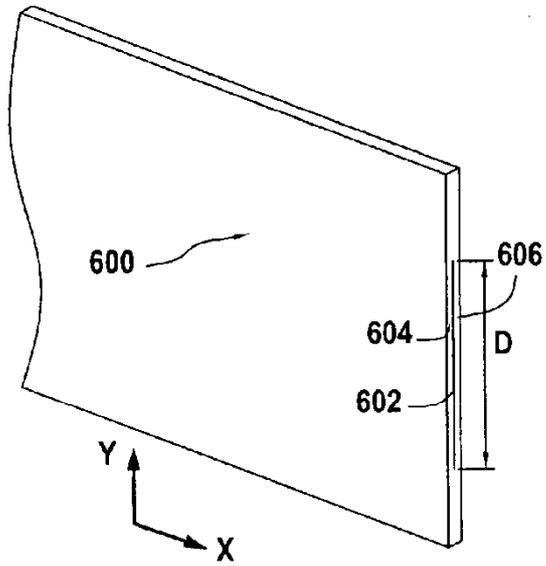
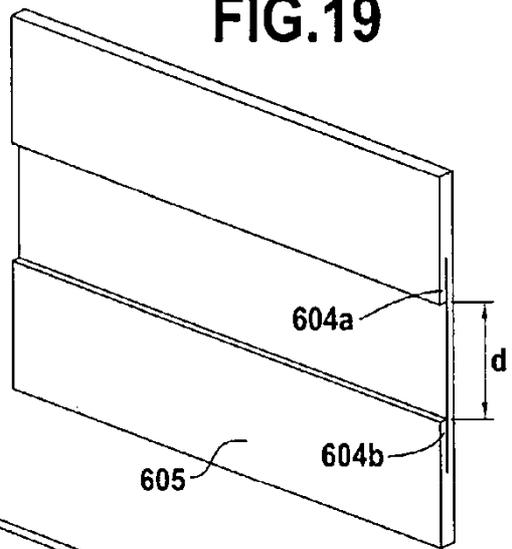


**FIG. 15**

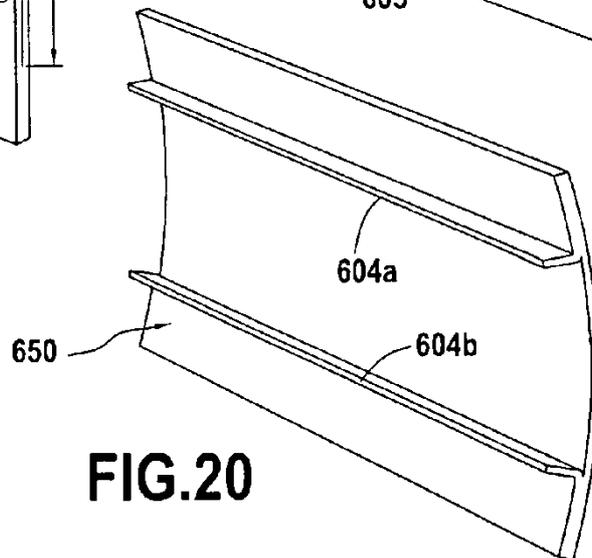
**FIG.17**



**FIG.19**



**FIG.18**



**FIG.20**

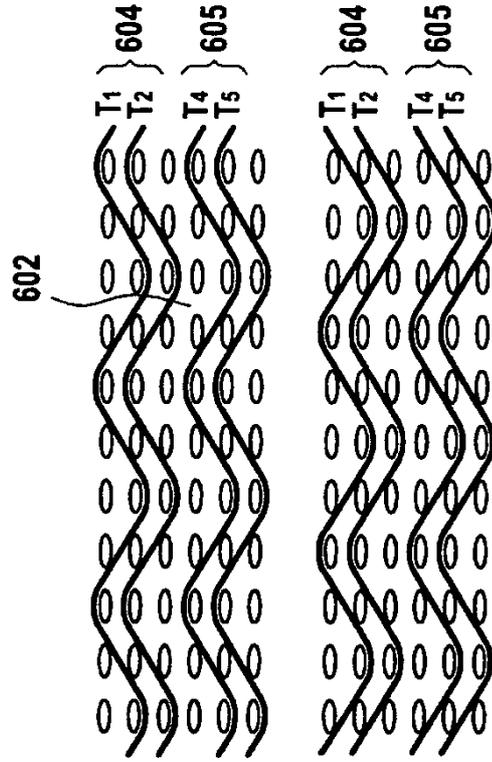


FIG.21B

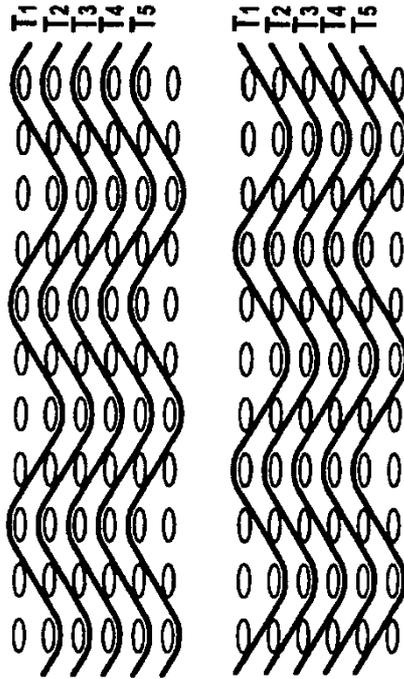


FIG.21A

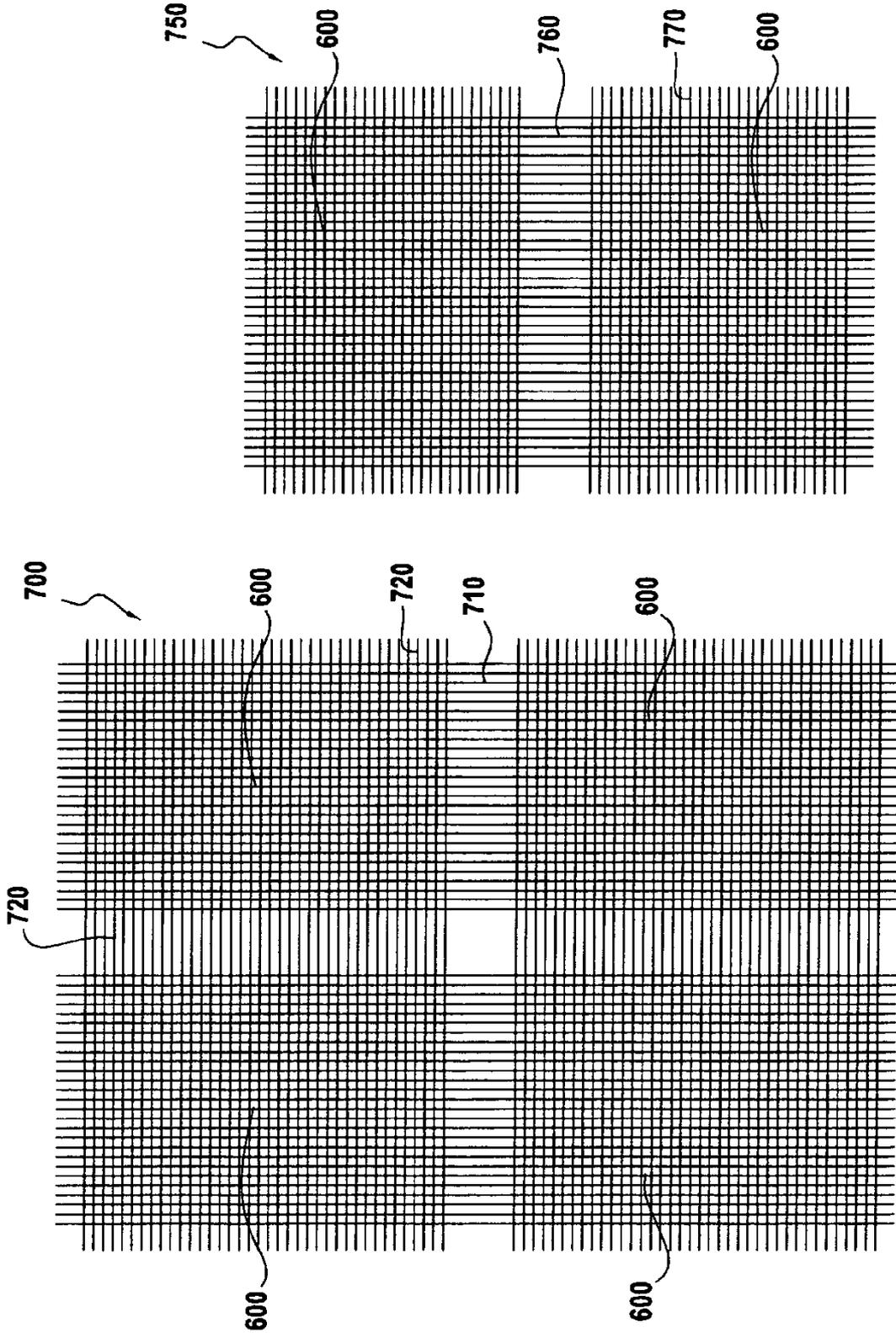


FIG.23

FIG.22