

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 584 836**

51 Int. Cl.:

B29C 35/08

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.01.2015 E 15150869 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.07.2016 EP 2907642**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de consolidación y de conformación por inducción de una preforma de material compuesto**

30 Prioridad:

18.02.2014 FR 1451292

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

29.09.2016

73 Titular/es:

**AIRBUS OPERATIONS (S.A.S) (100.0%)
316, route de Bayonne
31060 Toulouse, FR**

72 Inventor/es:

**COLLART, CYRILLE y
CHOTARD, FLORIAN**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 584 836 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 y dispositivo de consolidación y de conformación por inducción de una preforma de material compuesto

5 La invención se refiere a la fabricación de piezas de materiales compuestos en el ámbito de la aeronáutica. Se refiere a un procedimiento y a un dispositivo de consolidación y conformación por inducción de una pieza de material compuesto.

10 Las piezas de materiales compuestos se fabrican a partir de una preforma que comprende, en general, fibras de carbono embebidas en una resina, que se depositan, por ejemplo por drapeado para formar pliegues superpuestos entre sí. En cada pliegue, las fibras están alineadas en una dirección principal (0°, 45°, 90°). Los planos de los pliegues de fibras de carbono son paralelos entre sí y definen un plano llamado plano principal. Además, los procedimientos de fabricación de una preforma de este tipo generan puntos de contacto entre los pliegues cuya distribución es aleatoria y depende en gran medida de la naturaleza de la resina y de la velocidad de deposición de las fibras de carbono.

15 La consolidación de una pieza de material compuesto se lleva a cabo calentando la preforma previamente obtenida hasta una temperatura que produce el reblandecimiento de la estructura de la preforma. Así, la preforma reblandecida podrá ser consolidada y, en su caso, conformada en una forma definida, por ejemplo por medio de un molde. Para consolidar la preforma se utilizan, generalmente, dispositivos de consolidación (o de cocción) por convección, por ejemplo un autoclave, en el que se lleva a cabo un calentamiento por transferencia de energía térmica entre un fluido y la pieza a consolidar. Sin embargo, el control de la temperatura de la pieza a consolidar es delicado y este modo de consolidación no garantiza la uniformidad del aporte de energía y, por lo tanto, la consolidación.

25 El calentamiento de una preforma se puede obtener también por inducción aplicando un campo magnético alrededor de la preforma a consolidar. El documento EP1326741B1 describe una composición de matriz polimérica que comprende elementos ferromagnéticos dispersos en una matriz polimérica y un procedimiento que permite generar un calentamiento por histéresis homogéneo en dicha composición con el fin de controlar con precisión la temperatura de consolidación de esta composición.

Por otra parte, se sabe que, bajo el efecto de un campo magnético aplicado a una pieza, por la misma circulan corrientes inducidas y generan un aumento de la temperatura por efecto Joule ligado a la resistencia eléctrica del material por la que circulan estas corrientes.

30 En una preforma de material compuesto, las corrientes inducidas circulan en dos direcciones:

- una dirección principal, en los pliegues, a lo largo de las fibras de carbono de la preforma, y
- una dirección secundaria, perpendicular a la dirección principal, entre los pliegues, a lo largo de la cual los puntos de contacto están situados entre los pliegues.

35 Por lo tanto, la preforma experimenta un gradiente de temperatura, por ejemplo, desde la superficie exterior hacia el centro de la pieza. Por consiguiente, la consolidación no es homogénea en toda la preforma y los tiempos de calentamiento deben ser suficientes para asegurar que la temperatura de consolidación adecuada en todo el volumen de la preforma.

40 Así, durante la consolidación de una preforma de material compuesto en la que la resina contiene partículas ferromagnéticas, como se describe en el documento EP1326741B1, coexisten los dos fenómenos de cocción por inducción, es decir, el calentamiento por corrientes inducidas y el calentamiento por histéresis.

Sin embargo, el calentamiento por corrientes inducidas prevalece con relación al calentamiento por histéresis, lo que perjudica la homogeneidad de la cocción. Por consiguiente, las preformas que comprenden variaciones de espesor o que tienen formas complejas no se pueden realizar correctamente con este tipo de dispositivo de consolidación.

45 La presente invención tiene como objetivo superar en todo o en parte este inconveniente. Se refiere a un procedimiento de consolidación y de conformación por inducción de una preforma de un material compuesto que comprende fibras de carbono embebidas en una resina y orientadas en una dirección principal que pertenece a un plano principal, comprendiendo dicho procedimiento las etapas siguientes:

- a) preparación de una mezcla homogénea que comprende la resina y al menos un material ferromagnético, presentado en forma de partículas;
- 50 b) formación de una preforma embebiendo las fibras de carbono en la mezcla; y
- c) calentamiento de la preforma por inducción hasta una temperatura definida, sustancialmente igual dicha temperatura del procedimiento a la temperatura de Curie del material ferromagnético, por la generación, por medio de un inductor bifacial, de un campo magnético homogéneo en la preforma en una dirección de incidencia.

Según la invención, dicho procedimiento se caracteriza porque comprende además una etapa de inclinación de al menos uno de los elementos siguientes: la preforma y el inductor bifacial, a fin de orientar la dirección de incidencia del campo magnético con respecto al plano principal en un ángulo distinto de 90° y distinto de un ángulo cero.

5 Así, el procedimiento según la invención permite optimizar el predominio del calentamiento por histéresis sobre el calentamiento por corrientes inducidas y, por lo tanto, calentar la preforma de manera uniforme, tanto en la parte exterior como en el centro de la preforma de material compuesto compuesta por fibras de carbono embebidas en una resina que comprende partículas ferromagnéticas. La preforma se cuece, por lo tanto, de forma integral a la misma velocidad y en el mismo tiempo, reduciéndose con ello el tiempo de cocción. Además, el procedimiento permite obtener una mayor precisión de la temperatura de la que la pieza alcanza en el momento de la cocción, ya que es sustancialmente la misma en el conjunto de la preforma.

10 La presente invención puede presentarse en diferentes realizaciones, que pueden tomarse en combinación o por separado:

- el procedimiento comprende una etapa de aplicación de una presión de contacto,
- el procedimiento comprende una etapa que consiste en colocar la preforma en un molde,
- 15 - la temperatura del procedimiento está definida entre una temperatura de transformación de la resina y una temperatura superior a esta temperatura de transformación de la resina en al menos 50°C ,
- en la etapa de calentamiento, la preforma es desplazada en el inductor bifacial según una velocidad de desplazamiento, dependiendo el tiempo de la generación del campo magnético de la velocidad del desplazamiento.

20 La presente invención también se refiere a un dispositivo de consolidación y de conformación por inducción de una preforma de material compuesto que comprende fibras de carbono embebidas en una resina y orientadas en una dirección principal que pertenece a un plano principal, y que comprende también partículas de material ferromagnético, comprendiendo el dispositivo al menos una unidad de calentamiento provista de al menos un inductor bifacial cuyas dos paredes están distribuidas a cada lado de un soporte sobre el que se coloca la preforma, comprendiendo el dispositivo, además, medios de generación y medios de adaptación de corriente alterna, para su uso en la generación de un campo magnético homogéneo en una dirección de incidencia entre las dos paredes del inductor bifacial con el fin de obtener un calentamiento por inducción de la preforma hasta una temperatura definida, dicha temperatura del procedimiento, aproximadamente igual a la temperatura de Curie del material ferromagnético.

25 Según la invención, este dispositivo comprende, además, medios de inclinación de al menos uno de los elementos siguientes: la preforma y el inductor bifacial, a fin de orientar la dirección de incidencia del campo magnético con relación al plano principal en un ángulo distinto de 90° y distinto de un ángulo cero.

30 Según diferentes realizaciones de la invención, que pueden tomarse en combinación o por separado:

- el inductor bifacial comprende dos bobinas de Helmholtz que comprenden al menos dos espiras correspondiendo cada una a una pared del inductor bifacial,
- 35 - el inductor bifacial comprende un número par de espiras distribuidas de dos en dos a cada lado del soporte,
- dicho dispositivo comprende un molde en el que se coloca la preforma.

Las figuras adjuntas muestran claramente cómo se puede realizar la invención. En estas figuras, referencias idénticas designan elementos similares.

40 La figura 1 ilustra esquemáticamente una vista en perspectiva de una realización particular de un dispositivo de consolidación según la invención,

La figura 2 ilustra esquemáticamente una vista de perfil del dispositivo de la figura 1,

La figura 3 es una vista en perspectiva de detalle de una segunda realización de un dispositivo, y

La figura 4 es una vista en perspectiva de la realización de la figura 3.

45 El dispositivo 1 de consolidación, mostrado en las figuras 1 a 4 está destinado a consolidar una preforma 2, de material compuesto que comprende fibras de carbono alineadas según una dirección principal D_p y embebidas en una resina, formando las fibras pliegues 17 paralelos a un plano principal P_p . Este plano principal P_p es perpendicular a una dirección secundaria D_i , a lo largo de la cual se pueden colocar puntos de contacto entre los pliegues 17 durante la fabricación de la preforma 2.

50 La resina contiene un absorbente del campo que comprende un material ferromagnético cuya permeabilidad magnética relativa es mayor que la permeabilidad magnética de la resina utilizada y de la del carbono de las fibras

(permeabilidad magnética relativa $\mu < 2 \text{ T}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}$), por ejemplo, hierro en polvo (permeabilidad magnética relativa $\mu=250 \text{ T}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}$ y temperatura de Curie = $770 \text{ }^\circ\text{C}$). El material ferromagnético se presenta en forma de partículas ferromagnéticas esféricas embebidas en la resina, por ejemplo, polisulfona (PSU), con fracciones de volumen que varían de 10 % a 20 %. El diámetro de las partículas ferromagnéticas está comprendido entre 22 micras y 300 micras. La homogeneidad de la mezcla resina-partículas es función del grado de la resina, de la granulometría de las partículas de material ferromagnético así como de la impregnación entre la resina y las fibras de carbono (calidad de la interfaz de fibra/resina, viscosidad de la resina y tasa de porosidad).

Se selecciona un material cuya temperatura de Curie sea aproximadamente igual a una temperatura definida, llamada "temperatura de procedimiento" que corresponde, por ejemplo, a la temperatura de transformación de la resina aumentada en 0 a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ dependiendo de la geometría de la preforma 2 y el uso final de la pieza de material compuesto. La temperatura de Curie corresponde a la temperatura a la que el material ferromagnético se transforma en paramagnético y pierde, especialmente, sus propiedades de conducción térmica y eléctrica. La temperatura de transformación depende de la naturaleza de la resina y es, por ejemplo:

- bien la temperatura de superenfriamiento en el caso en el que la resina de la preforma 2 a consolidar sea de material semicristalino;
- bien la temperatura de fusión (temperatura de comienzo del "reblandecimiento") en el caso en el que la resina de la preforma 2 a consolidar sea de material amorfo;
- bien la temperatura de polimerización en el caso en el que la resina de la preforma 2 a consolidar sea de material termoendurecible.

Por ejemplo, en el caso de fibras de carbono embebidas en una resina de polieteretercetona (designada PEEK), el material ferromagnético utilizado puede ser NiFe5.

El dispositivo 1 de consolidación conlleva también una unidad 18 de calentamiento. La unidad 18 de calentamiento comprende un inductor 19 bifacial, un generador 14 de corriente eléctrica alterna, y los medios 15 para adaptar esta corriente.

La preforma 2 se coloca sobre un soporte 25 en la zona 8 entre dos paredes 5 y 6 paralelas y separadas del inductor 19 bifacial. Una presión 9 de contacto (ilustrada por las flechas 9 en la figura 2) se aplica sobre la preforma 2, por ejemplo, como se muestra en las figuras 3 y 4, recuperando la preforma 2 de una vejiga 23 sometida a vacío.

Preferiblemente, el inductor 19 bifacial comprende dos bobinas de Helmholtz y las dos paredes 5, 6, conteniendo cada una de ellas una espira 5A, 6A. Las espiras 5A, 6A tienen un mismo radio. Están dispuestas paralelamente entre sí y separadas entre sí por una distancia D igual a su radio, como se muestra en la figura 4.

La aplicación de una corriente eléctrica alterna genera un campo magnético 7 alternativo homogéneo entre las dos espiras 5A, 6A. El campo magnético 7 se dirige en una dirección D_B de incidencia, como se muestra en la figura 2 por las líneas del campo 7 perpendiculares al plano de las espiras 5A, 6A. Así, el inductor 19 bifacial permite generar un campo magnético homogéneo en una zona 8 aproximadamente circular.

Como se ilustra en la figura 2, el dispositivo 1 comprende, además, medios 27 de inclinación del soporte 25 destinados a orientar la preforma 2. Por ejemplo, los medios 27 de inclinación comprenden un conjunto de al menos tres cilindros neumáticos situados bajo los lados del soporte 25. Así, para un juego de movimientos diferentes de un cilindro a otro, la preforma 2 se puede inclinar según al menos tres ejes de forma que el ángulo entre la dirección D_B de incidencia del campo magnético 7 y el plano principal P_P de los pliegues de las fibras de carbono, sea:

- diferente de 90° , para limitar un calentamiento por circulación de corrientes inducidas a lo largo de la dirección principal D_P de las fibras de carbono; y
- diferente de 0° , para limitar un calentamiento por circulación de corrientes inducidas, en los puntos de contacto entre pliegues, a lo largo de la dirección secundaria D_i . Preferiblemente, el ángulo es mayor de 5° .

En una realización preferida, el campo magnético 7 tiene una frecuencia alta (del orden de 1 MHz a 10 MHz) y la potencia del campo magnético 7 es superior a 5.000 A/m . Estos parámetros inductivos inician un calentamiento por histéresis y limitan un calentamiento por circulación de corrientes inducidas.

En presencia de un campo magnético de este tipo, las partículas ferromagnéticas se orientan en la dirección de las líneas del campo 7. El ordenamiento progresivo de las partículas genera un calentamiento por inducción que sigue un ciclo de histéresis y se llama calentamiento por histéresis. La temperatura de la preforma 2 aumenta hasta que las partículas ferromagnéticas pierden su propiedad de magnetización espontánea, es decir, hasta que la temperatura de la preforma 2 sea igual a la temperatura de Curie. La homogeneidad de la distribución de las partículas de material ferromagnético garantiza la homogeneidad del calentamiento por inducción generado en la preforma 2. La geometría de la preforma 2 a consolidar no tiene ningún impacto sobre la distribución térmica en el seno de la preforma 2.

- Este calentamiento por histéresis es adicional al generado por la circulación de corrientes inducidas a lo largo de las fibras de carbono del material compuesto. La fracción de volumen de las partículas ferromagnéticas, los parámetros inductivos y la inclinación entre la preforma 2 y las paredes 5, 6 del inductor 19 bifacial maximizan el calentamiento por histéresis y su predominio sobre el calentamiento por circulación de corrientes inducidas y, cuando la temperatura de la pieza es igual a la temperatura de Curie, el calentamiento de la preforma se detiene automáticamente.
- Así, escogiendo un material ferromagnético cuya temperatura de Curie sea igual a la temperatura del procedimiento y adaptando los parámetros inductivos tales como la frecuencia de la corriente alterna y la potencia inyectada del generador 14, el dispositivo 1 permite generar un calentamiento homogéneo en la preforma 2 a un nivel de temperatura controlado y reproducible que permite una consolidación homogénea de la preforma 2.
- En una variante de realización, mostrada en la figura 1, el dispositivo 1 comprende, además, medios 23 de enfriamiento que comprenden un fluido, tal como agua o aire forzado, y un conjunto de canalizaciones que rodean la preforma 2 o el molde 10, como se ilustra en la figura 1 por una flecha 24. El enfriamiento se logra cuando la temperatura ha descendido por debajo de la temperatura de cristalización de la resina.
- En una realización particular, el dispositivo 1 comprende además medios 22 de desplazamiento del soporte 25, tal como una cadena de oruga asociada a una rueda impulsora, que pueden desplazar la preforma 2 entre las espiras 5A y 6A, como se muestra por una flecha 16 en las figuras 1 y 4. La preforma 2 se somete a una traslación en la zona 8 donde el campo magnético 7 es homogéneo. La velocidad de desplazamiento de la preforma 2 se controla de manera que el tiempo de exposición al campo magnético 7 (entre las espiras 5A y 6A) sea suficiente para alcanzar la temperatura de transformación de la resina, y obtener así la consolidación de la preforma 2.
- En esta realización particular, una línea de producción permite consolidar varias preformas haciéndolas circular por los medios 22 de desplazamiento sobre el soporte 25 entre la dos espiras 5A y 6A.
- En otra realización particular para una conformación, la preforma 2 se coloca en un molde 10 y se mantiene en el molde 10 durante la generación del campo magnético 7 hasta la consolidación y conformado de la pieza. El molde 10 se mantiene, por ejemplo, sobre la preforma 2 por la presión 9 de contacto, como se representa esquemáticamente en la figura 2.
- En una variante de realización, la preforma 2 se coloca en el molde 10 desde la instalación en el montaje y después se enfría antes de ser desmoldeada. Por ejemplo, la preforma 2 se consolida en quince minutos a la temperatura de transformación de la resina y después se enfría hasta 60 °C para ser desmoldeada.
- En otra realización alternativa, la preforma 2 se coloca en el molde 10 después de la consolidación. Por ejemplo, la preforma 2 se consolida en quince minutos a la temperatura de transformación de la resina y después se moldea durante 60 a 90 segundos, dependiendo principalmente del espesor de la preforma 2.
- El campo magnético 7 se genera durante un tiempo definido para consolidar y formar la preforma 2 con la geometría deseada de la pieza. Una vez que el campo magnético 7 deja de actuar, el conjunto se mantiene en el molde 10 hasta que se haya enfriado lo suficiente y la preforma 2 se haya endurecido.
- Por supuesto, la presente invención no se limita a las realizaciones descritas anteriormente y se puede ampliar a cualquier variante que tenga las características antes mencionadas. En particular, las diferentes realizaciones se pueden combinar. Así, el dispositivo 1 se puede utilizar para realizar la consolidación y el conformado de una pieza de material compuesto durante una sola etapa de producción.
- Del mismo modo, los medios 27 de inclinación se pueden aplicar al inductor 19 bifacial. En esta realización adicional (no mostrada), las dos paredes 5, 6 del inductor 19 bifacial son orientadas de manera que el soporte 25, sobre el que se coloca la preforma 2, quede fijo. En otra realización adicional (no mostrada tampoco), los medios 27 de inclinación pueden comprender primeros elementos de inclinación aplicados al inductor 19 bifacial y segundos elementos de inclinación aplicados al conjunto 21.
- Por otra parte, el dispositivo 1 no se limita a las bobinas de Helmholtz de dos espiras. El dispositivo 1 puede estar equipado con un inductor bifacial que comprenda un número par de espiras distribuidos de dos en dos y a cada lado del soporte 25. Del mismo modo, el inductor puede ser un dispositivo circular o esférico rodeando la preforma 2 a consolidar y generando un campo magnético homogéneo alrededor de la preforma 2. En tales realizaciones, los medios 15 de adaptación del dispositivo 1 son configurados para suministrar la totalidad o parte de las espiras del inductor, siendo los parámetros del campo magnético 7 así generado en el seno del inductor dependientes de la preforma a consolidar y/o conformar.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de consolidación y conformación por inducción de una preforma (2) de material compuesto que comprende fibras de carbono embebidas en una resina y orientadas en una dirección principal que pertenece a un plano principal (P_P), comprendiendo dicho procedimiento las etapas siguientes:
- 5 - preparación de una mezcla (21) homogénea que comprende la resina y al menos un material ferromagnético, presentado en forma de partículas;
- formación de la preforma (2) embebiendo las fibras de carbono en la mezcla (21); y
- 10 - calentamiento por inducción de la preforma (2) hasta una temperatura definida, sustancialmente igual dicha temperatura del procedimiento a la temperatura de Curie del material ferromagnético por la generación, por medio de un inductor (19) bifacial, de un campo magnético (7) homogéneo en la preforma (2) en una dirección (D_B) de incidencia,
- caracterizado por que el procedimiento comprende además una etapa de inclinación de al menos uno de los siguientes: la preforma (2) y el inductor (19) bifacial, a fin de orientar la dirección (D_B) de incidencia del campo magnético (7) con respecto al plano principal (P_P) según un ángulo distinto de 90° y un ángulo distinto de cero.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1,
- caracterizado por que el procedimiento comprende una etapa de aplicación de una presión (9) de contacto.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 y 2,
- 20 caracterizado por que el procedimiento comprende una etapa que consiste en colocar la preforma (2) en un molde (10).
4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes,
- 25 caracterizado por que la temperatura del procedimiento está definida entre una temperatura de transformación de la resina y una temperatura superior a esta temperatura de transformación de la resina de al menos 50°C .
5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes,
- caracterizado por que en la etapa de calentamiento, la preforma (2) es desplazada en el inductor (19) bifacial según una velocidad de desplazamiento, dependiendo el tiempo de generación del campo magnético (7) de la velocidad del desplazamiento.
- 30 6. Dispositivo (1) de consolidación y de conformación por inducción de una preforma (2) de material compuesto que comprende fibras de carbono embebidas en una resina y orientadas en una dirección principal que pertenece a un plano principal (P_P), y que comprende también partículas de material ferromagnético, comprendiendo el dispositivo (1) al menos una unidad (18) de calentamiento provista de al menos un inductor (19) bifacial cuyas dos paredes (5,6) están distribuidas a cada lado de un soporte (25) sobre el que se coloca la preforma (2), comprendiendo el
- 35 dispositivo (1), también, medios (16) de generación y medios (15) de adaptación de una corriente alterna destinados para su uso en la generación de un campo magnético (7) homogéneo en una dirección (D_B) de incidencia entre las dos paredes del inductor (19) bifacial, para obtener un calentamiento por inducción de la preforma (2) hasta una temperatura definida, aproximadamente igual dicha temperatura del procedimiento a la temperatura de Curie del material ferromagnético,
- 40 caracterizado por que el dispositivo (1) comprende, además, medios (27) de inclinación de al menos uno de los elementos siguientes: la preforma (2) y el inductor (19) bifacial, a fin de orientar la dirección (D_B) de incidencia del campo magnético (7) con respecto al plano principal (P_P) según un ángulo distinto de 90° y distinto de un ángulo cero.
- 45 7. Dispositivo según la reivindicación 6,
- caracterizado por que el inductor (19) bifacial comprende dos bobinas de Helmholtz que comprenden al menos dos espiras (5A, 6A) correspondiendo cada una a una pared (5, 6) del inductor (19) bifacial.
- 50 8. Dispositivo según la reivindicación 6,
- caracterizado por que el inductor (19) bifacial comprende un número par de espiras (5A, 6A) distribuidas de dos en dos a cada lado del soporte (25).
9. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8,
- 55 caracterizado por que comprende un molde (10) en el que se coloca la preforma (2).

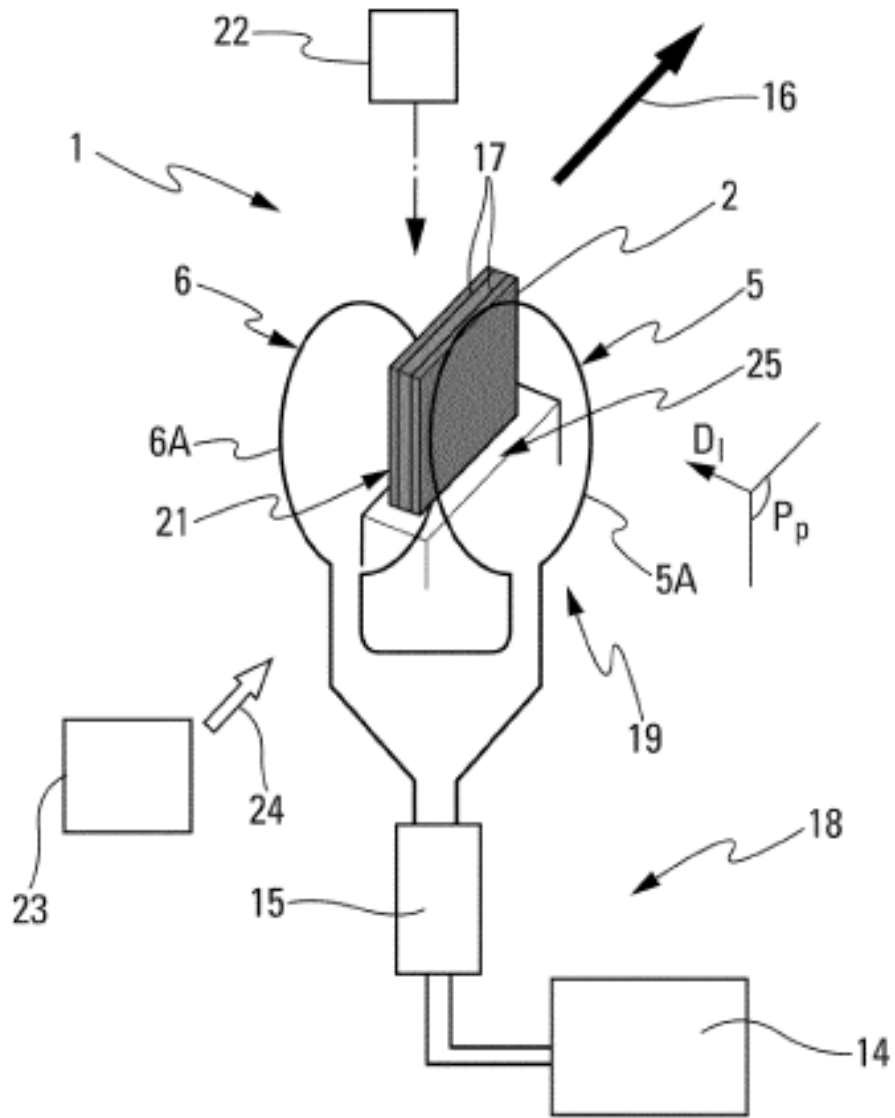


Fig. 1

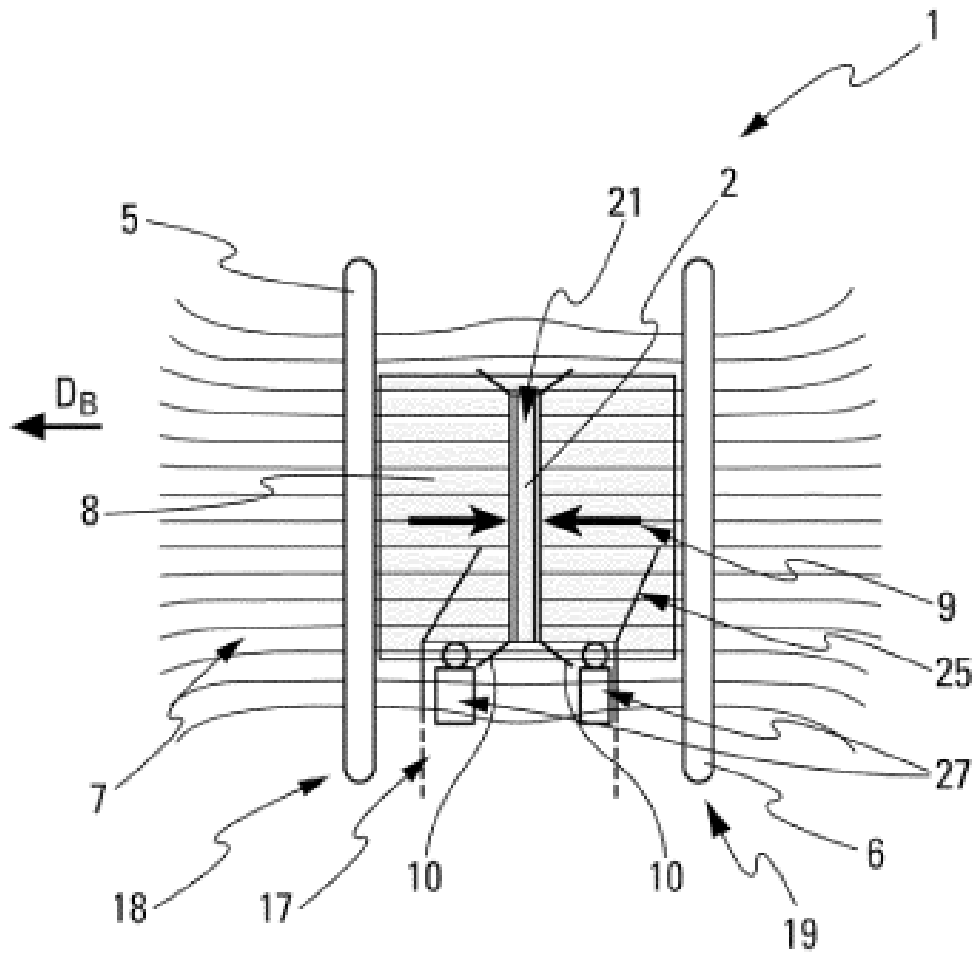


Fig. 2

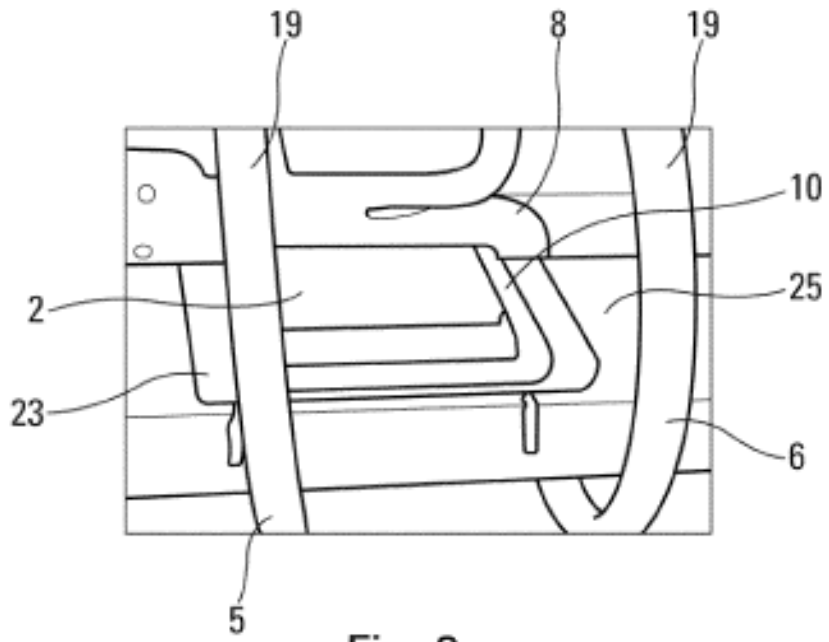


Fig. 3

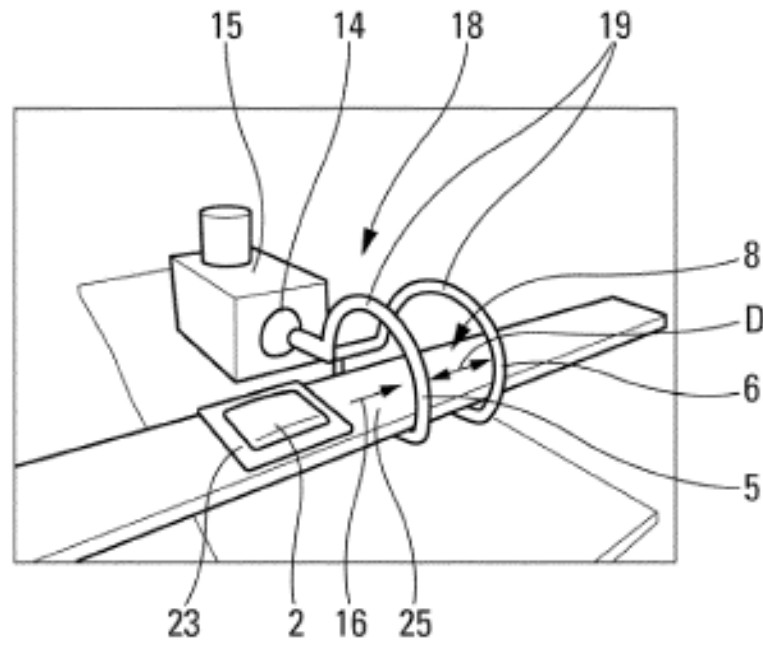


Fig. 4