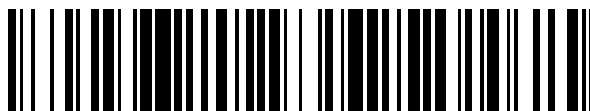


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 651 674**

51 Int. Cl.:

G01B 11/16 (2006.01)

G01L 1/24 (2006.01)

G02B 6/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.11.2012 PCT/DE2012/001095**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.05.2013 WO13071914**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.11.2012 E 12805923 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2017 EP 2780664**

54 Título: **Sensor de dilatación FBG para superficies curvadas**

30 Prioridad:

15.11.2011 DE 102011118527

15.11.2011 DE 102011118526

15.11.2011 DE 102011118525

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.01.2018

73 Titular/es:

**HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GMBH
(100.0%)**

**Im Tiefen See 45
64293 Darmstadt, DE**

72 Inventor/es:

**MAUL, JOCHEN;
KIPP, TOBIAS y
GÜNTHER, BERND**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 651 674 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

Sensor de dilatación FBG para superficies curvadas.

La presente invención concierne a un sensor de dilatación con una fibra óptica que presenta una rejilla de Bragg sobre fibra, denominado seguidamente sensor de dilatación FBG. La invención es adecuada para medir con precisión una dilatación incluso en superficies curvadas.

Los sensores sensibles a la dilatación, que se fijan sobre la superficie del material a examinar, se conocen en general como las llamadas DMS (DMS = banda extensométrica) de lámina metálica o como sensores de fibra FBG. Una DMS de lámina metálica consiste sustancialmente en una lámina portadora de plástico sobre la cual está fijada al menos una delgada tira de lámina metálica de forma de meandros en toda su superficie, es decir, con su superficie completa. Para registrar la dilatación se pega la lámina portadora de plástico sobre la superficie del material a examinar. La utilización de una lámina de plástico como portasensor es necesaria debido a que con tal disposición se pueden aplicar DMS en forma definida. La aplicación eléctricamente aislada de la lámina metálica muy delgada sin la lámina de plástico relativamente estable no es practicable fuera de las condiciones de laboratorio.

Análogamente a éstas DMS de lámina metálica se han desarrollado sensores FBG que presentan como componente esencial una fibra de vidrio con una rejilla de Bragg sobre fibra, denominada seguidamente FBG. Esta fibra de vidrio tiene que fijarse también sobre la superficie del material a examinar. En este caso, se presentan también problemas durante la manipulación, puesto que la fibra de vidrio es delgada y sensible a la rotura. Por tanto, se ha tenido que desarrollar también un portasensor para que el sensor FBG resulte más insensible frente a las duras condiciones de la práctica. En los documentos JP 2003 279760 A y WO 2008/101657 A1 se encuentran descritos sensores de esta clase. Debido a la incrustación de la fibra sensible con la FBG en una masa blanda de plástico el sensor ha pasado a ser manejable y, por tanto, apto para la práctica. El sensor FBG descrito en el documento WO 2008/101657 A1 tiene una introducción de fuerza de dos puntos y ofrece así una precisión de medida sensiblemente mayor que la de los sensores FBG que se aplican en toda la superficie. Con este tipo de sensor se pueden medir con precisión dilataciones en superficies planas. Sin embargo, en contraste con las DMS de lámina metálica se presentan en la medición con sensores FBG en superficies curvadas unos problemas que se explican con ayuda de las figuras 1a a 1g.

Las figuras 1a-1c muestran una DMS de lámina metálica convencional que está pegada sobre una superficie de material curvada, mostrando la figura 1a una representación en perspectiva de la superficie de material curvada con una aplicación de DMS. La figura 1b muestra la vista lateral de la figura 1a y la figura 1c muestra un detalle ampliado de la figura 1b.

Cuando se dilata el material por la acción de una fuerza o se alarga éste por la acción de una temperatura, tal como se insinúa en la figura 1c por medio de la flecha doble A1, se tiene que, debido a la fijación de la lámina de soporte con toda la superficie por pegado sobre el material, la dilatación se transmite uniformemente a la lámina metálica unida con la lámina portadora en toda la superficie y, por tanto, se dilata también la lámina metálica en esta medida. Por consiguiente, la dilatación del material se transmite casi sin errores a la DMS de lámina metálica, tal como se insinúa en la figura 1c por la flecha doble A2.

Sin embargo, en un sensor FBG con una introducción de fuerza de dos puntos se presenta una clase diferente de transmisión de la dilatación, lo que se explica seguidamente. Las figuras 1d y 1e muestran en corte longitudinal y en corte longitudinal un sensor FBG fijado sobre un material según el documento WO 2008/101657 A1, que está constituido de la manera siguiente: Una fibra de vidrio con una FBG está sujeta entre dos elementos de fijación rígidos e incrustada en un plástico blando, por ejemplo una goma de silicona. Los dos elementos de fijación rígidos están pegados sobre la superficie del material a examinar. El plástico blando sirve preferiblemente para proteger la sección de la fibra de vidrio provista de la FBG contra fuerzas perturbadoras, es decir, fuerzas laterales, y para mejorar en conjunto la manejabilidad del sensor FBG durante la aplicación. Si embargo, si se emplea un sensor FBG con esta constitución para medir la dilatación en una superficie curvada, se presentan unos efectos que conducen a mayores errores de medida. Las causas de ello se explican seguidamente con ayuda de las figuras 1f-1g.

La figura 1f muestra el sensor aplicado sobre una superficie de material curvada según el documento WO 2008/101657 A1 y la figura 1g muestra la manera en que la fibra de vidrio sigue a una dilatación de la superficie del material. La dilatación de la superficie del material está insinuada por la flecha doble en el material que se debe vigilar. Debido a la dilatación de la superficie del material se agranda la distancia entre los dos elementos de fijación en la magnitud de las longitudes $a + a$, es decir que la fibra se dilata en la magnitud de la longitud 2a. Dado que la fibra está sujeta solamente en los dos elementos de fijación, ésta es arrastrada en dirección a la superficie del material, es decir que el plástico presiona de manera indefinida sobre la FBG. Además, debido a este movimiento de la fibra se transmite falseada a la FBG la dilatación real de la superficie del material, con lo que se presenta así un error de medida que depende del radio de curvatura de la superficie del material.

Por tanto, se ha comprobado que tanto con un sensor según el documento JP 2003 279760 A como con un sensor según el documento WO 2008/101657 A1 no son posibles mediciones de dilatación exactas sobre superficies

curvadas.

El cometido de la invención consiste en crear un sensor FBG con un cuerpo portador que presente una alta precisión de medida incluso en mediciones sobre superficies curvadas, pueda manejarse bien y pueda fabricarse a bajo coste. Este problema se resuelve con un sensor FBG según la reivindicación 1 o 2. Según la reivindicación 1, un sensor FBG con una fibra óptica que presenta una FBG está inmovilizado entre dos elementos de fijación. Los lados inferiores de los elementos de fijación están configurados como superficies adhesivas que se pegan sobre la superficie del material a examinar. Asimismo, la fibra óptica y los elementos de fijación están incrustados en una masa de protección a base de una goma de silicona blanda o un plástico con propiedades mecánicas comparables. La fibra está incrustada entre una delgada lámina de deslizamiento superior y una delgada lámina de deslizamiento inferior hechas de Teflon o de un plástico con un pequeño coeficiente de rozamiento comparable al del Teflon, estando situado el lado inferior de la lámina de deslizamiento inferior en un plano con las superficies adhesivas.

Según la reivindicación 2, el sensor FBG con una fibra óptica que presenta una FBG está inmovilizado entre dos elementos de fijación. Los lados inferiores de los elementos de fijación están configurados como superficies adhesivas que se pegan sobre la superficie de material a examinar. Asimismo, la fibra óptica y los elementos de fijación están incrustados en una masa de protección a base de una goma de silicona blanda o un plástico con propiedades mecánicas comparables. La fibra está rodeada con un delgado tubo flexible de deslizamiento hecho de Teflon o de un plástico con un pequeño coeficiente de rozamiento comparable al del Teflon, estando situada la línea generatriz inferior exterior del tubo flexible de deslizamiento en un plano con las superficies adhesivas.

Un sensor FBG con la constitución según la reivindicación 1 o la reivindicación 2 presenta también sobre una superficie curvada un error de medida sensiblemente menor que el de una disposición sensora según el documento JP 2003 279760 A o el documento WO 2008/101657 A1. Esto puede atribuirse a dos efectos:

Cuando se dilata la fibra, ésta no puede moverse en dirección a la superficie de la pieza de trabajo, puesto que dicha fibra descansa ya en la línea más profunda cerca de la superficie de la pieza de trabajo y únicamente está separada de ésta por la delgada lámina de deslizamiento. Dado que esta capa de deslizamiento presenta un coeficiente de rozamiento muy pequeño, casi no se producen efectos de pegado-deslizamiento. Asimismo, no se producen tampoco efectos de pegado-deslizamiento por influencias de la masa de protección, ya que ésta no entra en contacto con la FBG, sino que está separada de la masa de protección por la lámina de deslizamiento superior.

En el perfeccionamiento de la invención según la reivindicación 1 se han soldado o pegado según la reivindicación 3 las láminas de deslizamiento en sus bordes y se ha pegado la lámina de deslizamiento superior con la masa de protección.

En el perfeccionamiento de la invención según la reivindicación 2 se ha pegado según la reivindicación 4 el tubo flexible de deslizamiento con la masa de protección.

La soldadura o pegadura de las láminas una con otra y la pegadura de las láminas y el tubo flexible de deslizamiento con la masa de protección impiden que las láminas y el tubo flexible de deslizamiento puedan migrar a consecuencia de micromovimientos. Debido a estos desplazamientos se pueden producir dentro de la masa de protección unas tensiones de deformación que empeoren la precisión de medida de la FBG. Tales micromovimientos se originan tanto en presencia de fuerzas mecánicas periódicamente producidas como en presencia de fluctuaciones de la temperatura.

El perfeccionamiento de la invención según la reivindicación 5 hace posible una disposición en cascada de varias FBG yuxtapuestas en un único componente muy compacto que puede aplicarse bien. En metrotecnia se utilizan frecuentemente disposiciones múltiples para que, en caso de fallo de un sensor FBG, se pueda recurrir a otro canal de medida en funcionamiento.

Se explicará seguidamente la invención con más detalle ayudándose de ejemplos en combinación con dibujos esquemáticos.

La figura 1a muestra una DMS de lámina metálica convencional sobre una superficie de material curvada.

La figura 1b muestra la vista lateral de la figura 1a.

La figura 1c muestra un detalle ampliado de la figura 1b.

Las figuras 1d-1e muestran en corte longitudinal y en corte transversal un sensor FBG.

La figura 1f muestra el sensor FBG según la figura 1d sobre una superficie de material curvada.

La figura 1g muestra el sensor FBG según la figura 1f en una superficie de material que se está dilatando.

La figura 2a muestra el corte longitudinal de un sensor FBG según la invención.

La figura 2b muestra una primera forma de realización del sensor FBG según la invención en corte transversal.

La figura 2c muestra una segunda forma de realización del sensor FBG según la invención en corte transversal.

La figura 2d muestra una tercera forma de realización del sensor FBG según la invención en corte transversal.

5 La figura 2e muestra una cuarta forma de realización del sensor FBG según la invención en corte transversal.

La figura 1a muestra en vista en perspectiva una DMS de lámina metálica convencional 1 sobre una superficie de material curvada 2, por ejemplo un tubo o una caldera de presión. Una DMS de lámina metálica 1 consiste sustancialmente en una lámina portadora de plástico 1a sobre la cual está fijada en toda la superficie al menos una banda de lámina metálica delgada 1b de forma de meandros. Para registrar la dilatación se pega la lámina portadora 1a de plástico sobre la superficie de material 2.

La figura 1b muestra la vista lateral de la figura 1a y la figura 1c muestra un detalle ampliado de la figura 1b. Cuando se dilata el material, tal como se muestra en la figura 1c con la flecha de dilatación A1, esta dilatación se transmite uniformemente a la lámina portadora 1a debido a la pegadura en toda la superficie, y a consecuencia de la unión en toda la superficie de la lámina metálica 1b con la lámina portadora 1a se dilata la lámina metálica 1b. Por tanto, la dilatación del material de la superficie 2 se transmite casi sin error a la banda de lámina metálica 1b, lo que se ha representado con la flecha de dilatación A2 del mismo tamaño. Esta transmisión de dilatación casi exenta de error rige para superficies planas y también para superficies curvas.

En contraste con esto, en un sensor FBG la dilatación no se transmite por toda la superficie de aplicación, lo que se explica seguidamente.

20 Las figuras 1d y 1e muestran en corte longitudinal y en corte transversal un sensor FBG 3 según el documento WO 2008/101657 A1 que está constituido de la manera siguiente: Una fibra de vidrio 4 con una FBG 4a está sujeta entre dos elementos de fijación rígidos 5a, 5b e incrustada en un plástico blando 6, por ejemplo una goma de silicona. Los dos elementos de fijación rígidos 5a, 5b están pegados sobre la superficie de material 2 a examinar y pueden consistir en hojas de fibra de vidrio impregnadas con resina fenólica y unidas una con otra. La goma de silicona blanda 6 sirve para proteger la sección de la fibra óptica 4 con la FBG 4a contra fuerzas perturbadoras, es decir, por ejemplo, fuerzas laterales, y para mejorar la manejabilidad del sensor FBG 3 durante la aplicación. Cuando atacan fuerzas F en el material a examinar y el material y, por tanto, la superficie plana 2 del mismo se dilatan en la magnitud de las longitudes $a + a$, se tiene que, al igual que ocurre en la banda extensométrica de lámina metálica, esta dilatación se transmite también casi sin error al sensor FBG 3.

30 Sin embargo, si se emplea un sensor FBG 3 con esta constitución para medir la dilatación en una superficie curvada, se presentan efectos que conducen a mayores errores de medida, lo que se explica seguidamente con ayuda de las figuras 1f y 1g.

La figura 1f muestra el sensor FBG 3 aplicado sobre una superficie de material curvada 2. Dado que la fibra óptica 4 es muy delgada y, por tanto, tiene una buena flexibilidad y dado que la goma de silicona 6 se adapta igualmente bien al radio de curvatura de la superficie de material 2, se tiene que, en principio, se pueden aplicar igualmente bien sensores FBG 3 con esta constitución sobre superficies fuertemente curvadas.

La figura 1g muestra la situación en la que se dilata esta superficie de material 2, lo que se simboliza con las flechas por debajo de la pared de material curvada.

40 Con la flecha doble se representa la dilatación de la superficie de material. Sin embargo, dado que la fibra 4 solamente está sujeta en los dos elementos de sujeción 5a, 5b, dicha fibra se mueve hacia la superficie del material y se hince a presión en la goma de silicona. Este movimiento está simbolizado con las flechas pequeñas. Las fuerzas transversales que actúan entonces sobre la FBG 4a falsean el resultado de medida. Además, debido a este movimiento la dilatación real de la superficie del material se transmite tan solo de manera incompleta a la FBG 4a, con lo que se presenta así un error de medida adicional que depende del radio de curvatura de la superficie del material. Por tanto, se ha comprobado que ni con el sensor según el documento JP 2003 279760 A ni con un sensor según el documento WO 2008/101657 A1 son posibles mediciones de dilatación exactas sobre superficies curvadas.

Sin embargo, estas dos causas de errores de medida se eliminan con el sensor FBG de la invención según las figuras 2a a 2e.

50 La figura 2a muestra el corte longitudinal del sensor FBG 3 según la invención. La constitución fundamental y el funcionamiento del sensor FBG 3 se describen en combinación con la representación en corte transversal de la figura 2b.

La fibra óptica 4 está pegada entre los elementos de fijación 5a, 5b y cada elemento de fijación está pegado

5 mediante su lado inferior con la superficie de material 2. Asimismo, la fibra óptica 4 está incrustada entre dos láminas de deslizamiento 7 y 8. Estas dos láminas consisten, por ejemplo, en Teflon, están soldadas una con otra en sus bordes y forman un apoyo de deslizamiento para la fibra 4. La delgada lámina de deslizamiento 7 con un espesor de 0,15 mm en este caso descansa directamente sobre la superficie de material 2, es decir que el lado inferior de la lámina de deslizamiento 7 está situado en el mismo plano que las superficies adhesivas de los elementos de fijación 5a, 5b. Dado que la lámina de deslizamiento 7 se comprime tan solo en grado despreciable debido a su naturaleza y a su pequeño grosor cuando se sujeta la fibra 4, el error de medida descrito en relación con la figura 1g no se produce o es despreciablemente pequeño. Asimismo, dado que la fibra 4 está cubierta por arriba con una lámina de deslizamiento, no se presentan tampoco efectos de deslizamiento-pegado debido a la influencia del plástico blando 6.

10 Las formas de realización según las figuras 2c y 2d presentan el mismo funcionamiento. La forma de realización según la figura 2c muestra que el plástico blando 6 sobresale de los bordes de las láminas de deslizamiento 7, 8 y, por tanto, proporciona un sellado muy bueno contra la humedad que pudiera penetrar por efecto capilar hasta localizarse por debajo del sensor, lo que conduciría a errores de medida en caso de heladas. En la forma de realización según la figura 2d se emplea un tubo flexible elásticamente blando 9 en lugar de las láminas 7, 8. Ésta es una forma de realización preferida de la invención, dado que se la pueda fabricar con facilidad y fiabilidad.

Como material de lámina y de tubo flexible entran en consideración todos los plásticos que puedan describirse como elásticamente blandos y que presenten una superficie muy lisa, tal como, por ejemplo, Teflon o silicona.

20 En la forma de realización según la figura 2e dos fibras ópticas 4 están pegadas entre los elementos de fijación 5a, 5b e incrustadas en el plástico 6. Tales sensores múltiples se emplean para, por ejemplo, reducir la probabilidad de fallos de cadenas de medida.

REIVINDICACIONES

1. Sensor FBG con una fibra óptica (4) que presenta una FBG (4a), en el que
 - la fibra óptica (4) está inmovilizada entre dos elementos de fijación (5a, 5b) cuyos lados inferiores están configurados como superficies adhesivas, en el que la fibra óptica (4) y los elementos de fijación (5a, 5b)
- 5
 - están incrustados en una masa de protección (6) a base de una goma de silicona blanda o un plástico con propiedades mecánicas comparables y
 - la fibra (4) está incrustada entre una delgada lámina de deslizamiento superior y una delgada lámina de deslizamiento inferior (7, 8) a base de Teflon o un plástico con un pequeño coeficiente de rozamiento comparable al del Teflon, y en el que
- 10
 - el lado inferior de la lámina de deslizamiento inferior (7) está situado en un plano con las superficies adhesivas de los elementos de fijación (5a, 5b).
2. Sensor FBG con una fibra óptica (4) que presenta una FBG (4a), en el que
 - la fibra óptica (4) está inmovilizada entre dos elementos de fijación (5a, 5b) cuyos lados inferiores están configurados como superficies adhesivas, en el que la fibra óptica (4) y los elementos de fijación (5a, 5b)
- 15
 - están incrustados en una masa de protección (6) a base de una goma de silicona blanda o un plástico con propiedades mecánicas comparables y
 - la fibra (4) está rodeada con un delgado tubo flexible de deslizamiento (9) a base de Teflon o un plástico con un pequeño coeficiente de rozamiento comparable al de Teflon, y en el que
- 20
 - la línea generatriz inferior exterior del tubo flexible de deslizamiento (9) está situado en un plano con las superficies adhesivas de los elementos de fijación (5a, 5b).
3. Sensor FBG según la reivindicación 1, en el que las láminas de deslizamiento (7, 8) están soldadas o pegadas en sus bordes y la lámina de deslizamiento superior (8) está pegada con la masa de protección (6).
4. Sensor FBG según la reivindicación 2, en el que el tubo flexible de deslizamiento (9) está pegado con la masa de protección (6).
- 25 5. Sensor FBG según la reivindicación 1 o 2, en el que varias fibras ópticas (4) están inmovilizadas entre los elementos de fijación (5a, 5b).

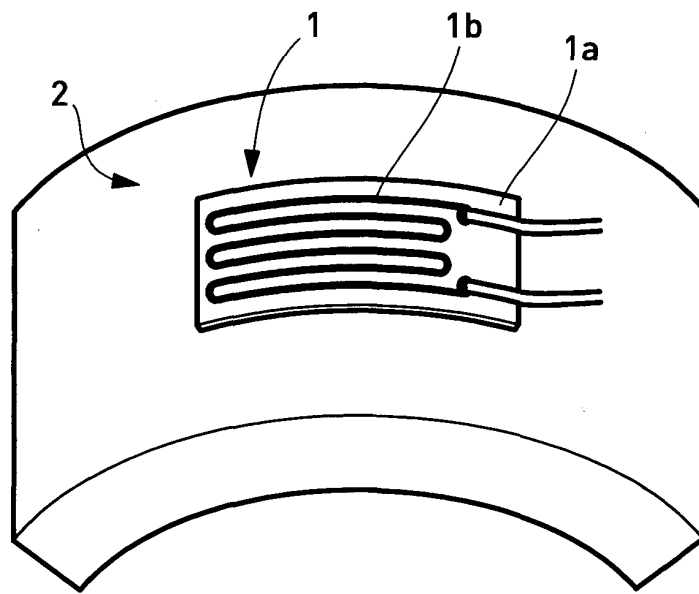


Fig. 1a

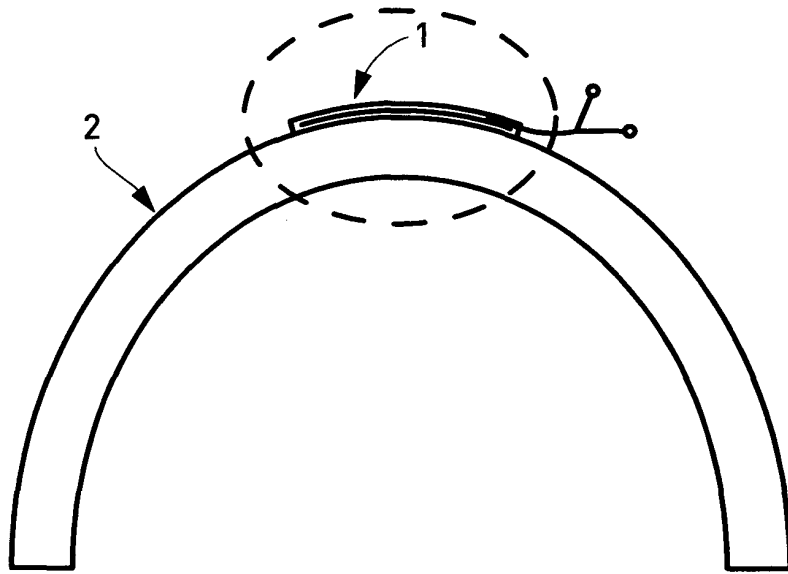


Fig. 1b

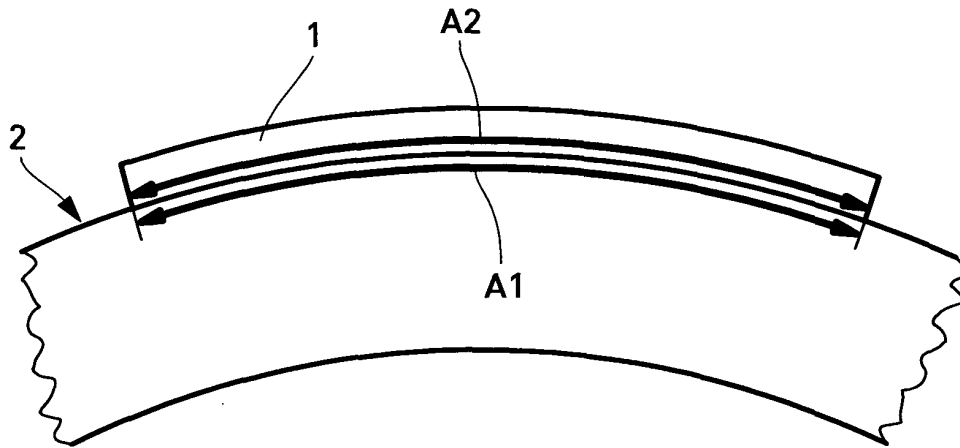
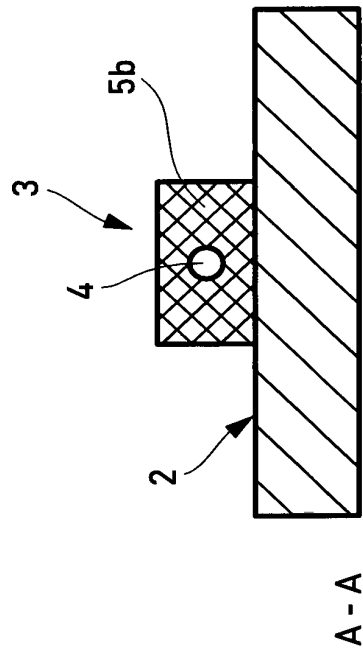
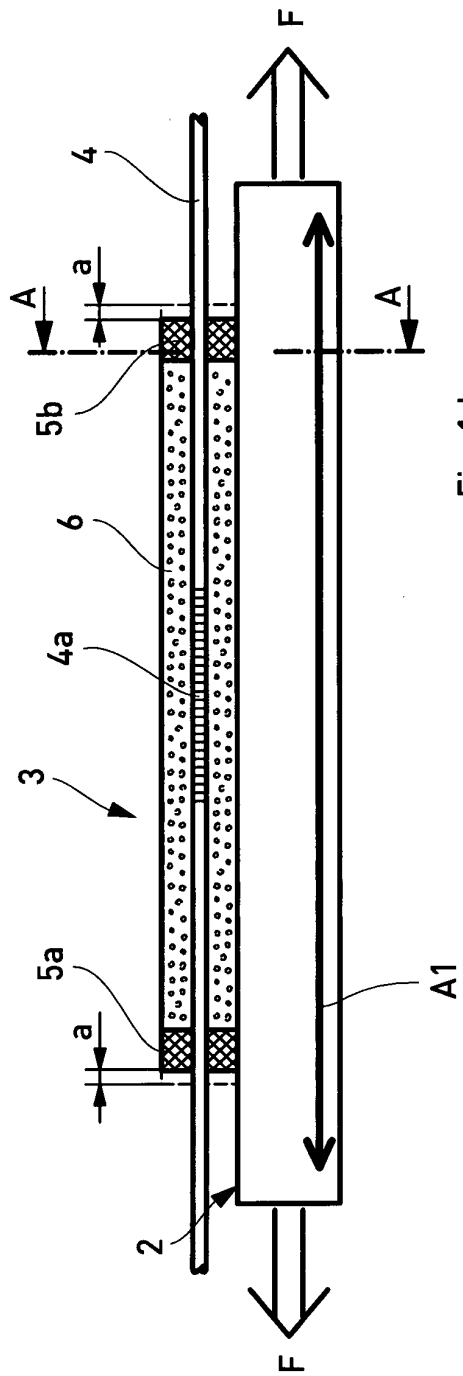


Fig. 1c



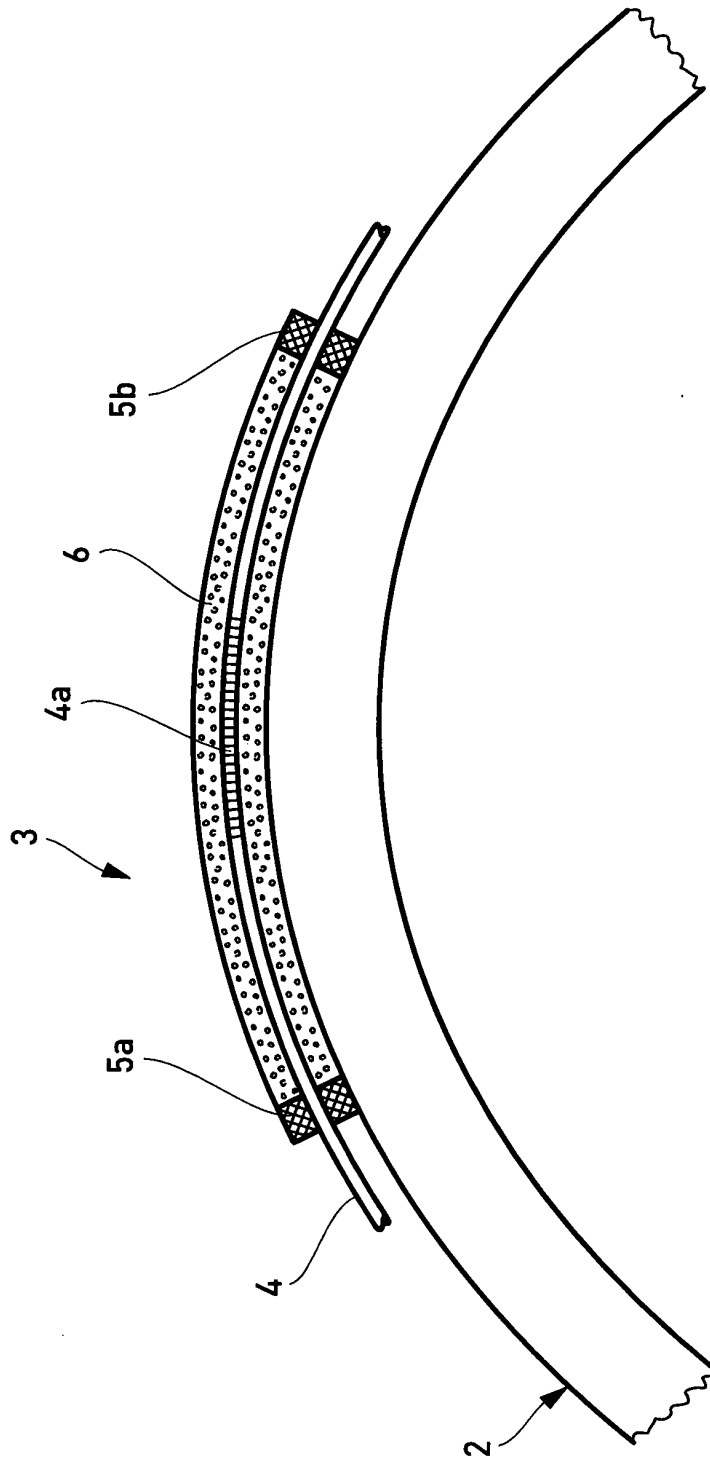


Fig. 1f

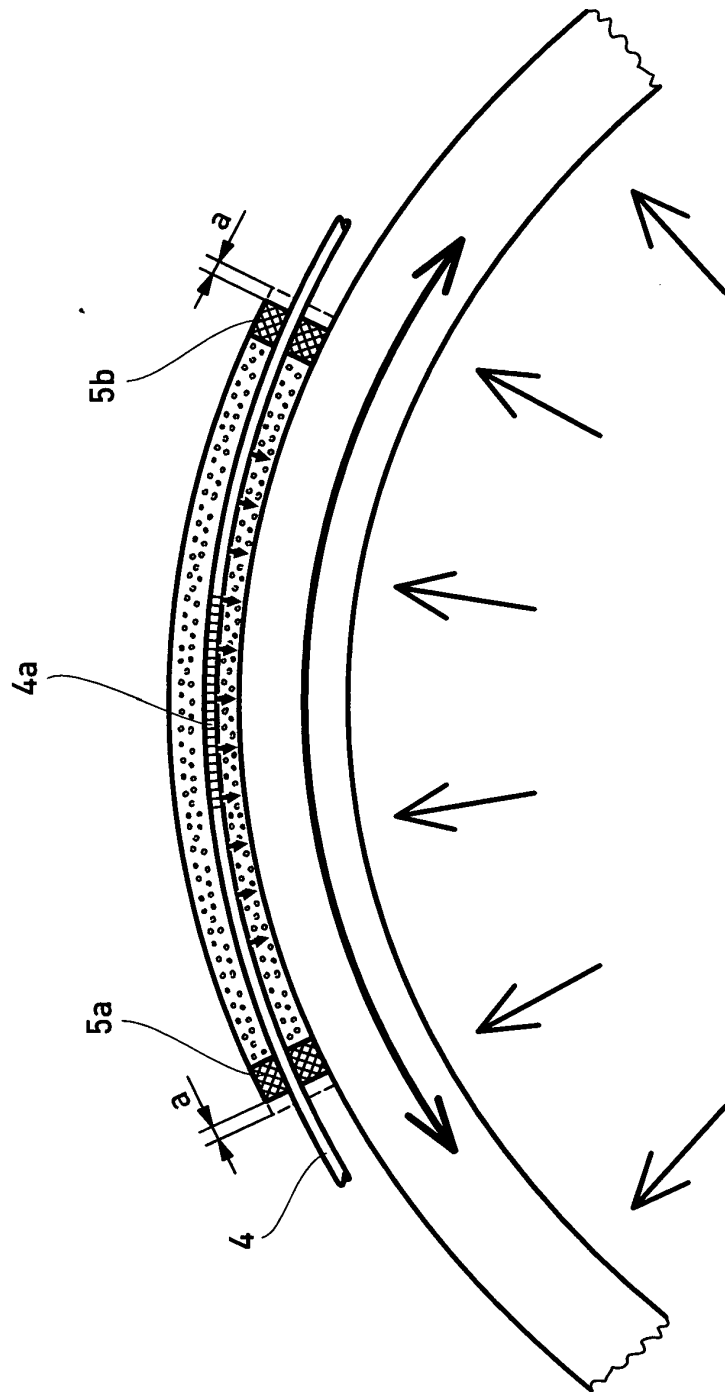


Fig. 19

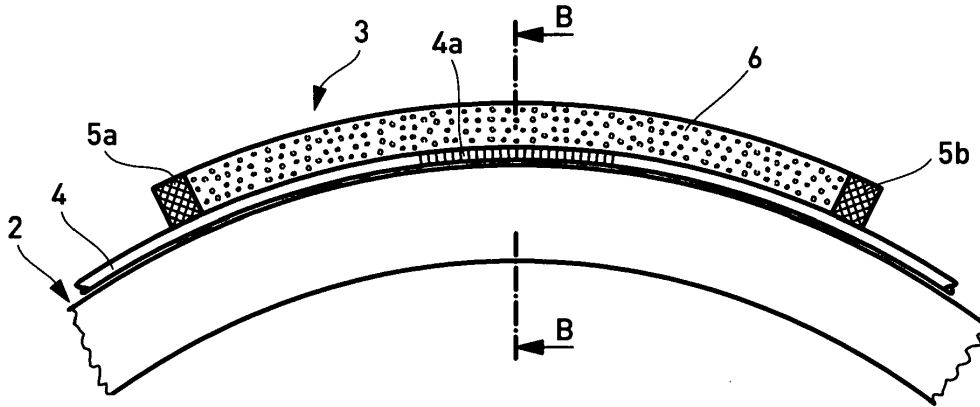


Fig. 2a

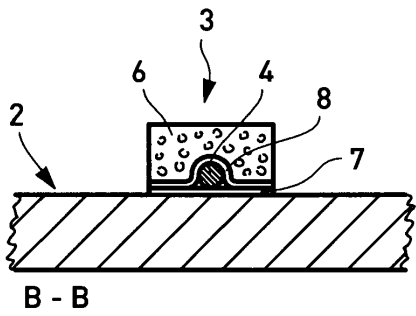


Fig. 2b

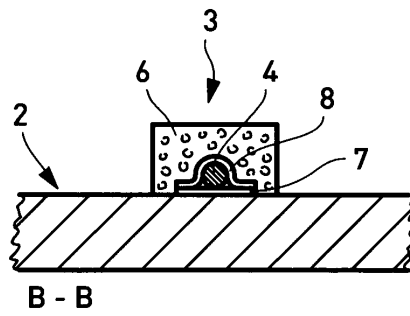


Fig. 2c

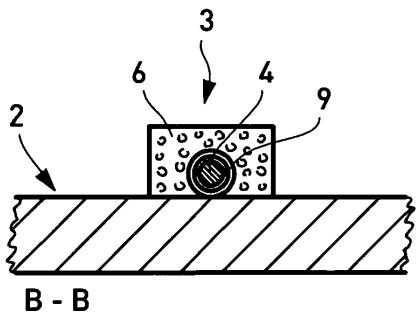


Fig. 2d

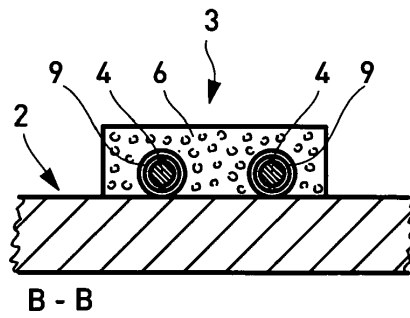


Fig. 2e