

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 380 328**

51 Int. Cl.:  
**C23C 10/06** (2006.01)  
**C23C 16/04** (2006.01)  
**C23C 16/12** (2006.01)  
**B21D 47/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **02292399 .9**  
96 Fecha de presentación: **30.09.2002**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1302558**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **16.04.2003**

54 Título: **Procedimiento de protección por aluminización de piezas metálicas de turbomáquinas provistas de agujeros y cavidades**

30 Prioridad:  
**16.10.2001 FR 0113315**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**10.05.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**10.05.2012**

73 Titular/es:  
**SNECMA**  
**2, BOULEVARD DU GÉNÉRAL MARTIAL VALIN**  
**75015 PARIS, FR**

72 Inventor/es:  
**Fournes, Jean-Paul;**  
**Oberlaender, Guillaume y**  
**Richin, Catherine**

74 Agente/Representante:  
**de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 380 328 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 protección por aluminización de piezas metálicas de turbomáquinas provistas de agujeros y cavidades

**Antecedentes de la invención**

5 La invención concierne a la protección contra la oxidación a alta temperatura de piezas metálicas que presentan agujeros y cavidades.

10 El ámbito de aplicación de la invención es el de la protección de piezas de turbomáquinas, tales como piezas de turbinas, especialmente álabes, que presentan cavidades internas para la circulación de aire de enfriamiento, siendo conducido éste por agujeros o pasos de alimentación que atraviesan generalmente los pies de los álabes y siendo evacuado por agujeros de salida de aire que se abren en la superficie externa de los álabes.

A pesar de la utilización de superaleaciones metálicas, generalmente a base de níquel o cobalto, es necesario dotar a tales piezas de un revestimiento de protección contra la oxidación capaz de protegerlas contra la oxidación a las altas temperaturas cada vez más elevadas a las cuales se desea hacer funcionar las turbomáquinas con el fin de optimizar su rendimiento.

15 Un procedimiento de protección utilizado habitualmente es la aluminización por depósito en fase de vapor. Este procedimiento es bien conocido; en particular podrá referirse al documento FR 1 433 497. Éste consiste en colocar una o varias piezas que hay que proteger dentro de un recinto en el cual circula una mezcla gaseosa que comprende un compuesto del aluminio, tal como un halógeno, y un gas de dilución o gas portador. El halógeno es producido por reacción entre un halógeno, por ejemplo cloro o flúor, y un donante metálico que contiene aluminio, por ejemplo una aleación metálica de aluminio con uno o varios constituyentes metálicos del material de las piezas que hay que proteger. El gas de dilución asegura la dilución y el arrastre de la mezcla gaseosa para llevar el halógeno en contacto con las piezas de manera que se forme el depósito deseado en la superficie de éstas. El gas de dilución utilizado habitualmente es el argón. En el documento FR 1 433 497 antes citado se menciona igualmente el hidrógeno, pero su utilización es muy difícil en la práctica en razón de su peligrosidad.

25 El procedimiento clásico de aluminización por depósito en fase de vapor permite, ciertamente, la formación de un revestimiento de protección satisfactorio en la superficie externa de las piezas, pero no se forma ningún revestimiento sobre las paredes internas de los agujeros y cavidades. Ahora bien, a pesar de la circulación de aire de enfriamiento, la temperatura de estas paredes internas puede alcanzar al menos localmente valores tales que pueden producirse fenómenos de oxidación interna. La solicitante ha observado que esta oxidación puede traducirse en un desescamado del material constitutivo de las piezas y que escamas arrancadas de las paredes internas por el flujo de aire pueden obstruir parcialmente agujeros de salida de aire. Se obtiene, una irregularidad de la película protectora formada sobre la pared externa por el aire que se escapa a través de los agujeros de salida de aire, y la aparición de puntos calientes que provocan degradaciones locales de las piezas.

35 Además, hay tendencia a formarse una acumulación de depósito alrededor de los orificios exteriores de los agujeros. Esto se traduce en la presencia de estrangulamientos que pueden afectar de modo importante a la circulación del aire de enfriamiento, creando pérdidas de carga y favoreciendo la aparición de zonas de estancamiento de aire. Puede considerarse un remecanizado de los agujeros, pero éste es delicado de realizar, porque debe ser muy preciso y debe evitar degradar el revestimiento de protección en la proximidad de los orificios, y constituye una operación suplementaria costosa.

40 La solicitante ha observado también que sobreespesores importantes de depósito, en particular alrededor de los orificios de entrada de aire a nivel de los pies de álabes, presentan un riesgo no despreciable de fisuración no solamente del revestimiento, sino también del material metálico de los álabes.

45 En efecto, contrariamente al material de los álabes, el revestimiento está sujeto a fisuración causada por el ciclo térmico al cual son sometidos los álabes. Cuando el revestimiento es grueso, una fisura que se produzca a través del revestimiento tiene tendencia a propagarse al material subyacente (lo que no es el caso con un revestimiento de pequeño espesor).

Ahora bien, la fisuración del material de los álabes a nivel de sus pies puede llegar hasta una destrucción de los álabes, por tanto tener consecuencias potencialmente dramáticas.

**Objeto y resumen de la invención**

50 La invención tiene por objetivo proponer un procedimiento que permita realizar una protección por aluminización, tanto de las paredes externas, como de las paredes internas, de pieza metálica de turbomáquina provista de agujeros y/o cavidades que comunican con el exterior, con el fin de evitar los problemas anteriores.

Este objetivo se consigue gracias a un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1.

5 El alargamiento del recorrido libre medio de las moléculas de gas portador, permite una penetración más fácil en los agujeros y/o cavidades de la pieza y por tanto permite llevar moléculas de precursor gaseoso más en profundidad en contacto con superficies internas de la pieza. Esto permite a la vez formar un revestimiento de protección sobre superficies internas y limitar la formación de sobreespesores de depósito a nivel de los orificios de los agujeros y/o cavidades.

Ventajosamente, la pieza está realizada con agujeros que, al menos en su porción próxima al orificio exterior, presentan un diámetro creciente hacia el exterior. La forma progresivamente ensanchada de los agujeros permite compensar un espesor de revestimiento decreciente a partir del orificio exterior para obtener un agujero de diámetro sensiblemente constante deseado después de la aluminización.

## 10 Breve descripción de los dibujos

La invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción hecha seguidamente, a título indicativo pero no limitativo, refiriéndose a los dibujos anejos, en los cuales:

- la figura 1 es una vista esquemática en alzado de un álabe de turbina provisto de un circuito interno de enfriamiento;

15 - la figura 2 es una vista esquemática en corte según el plano II-II de la figura 1;

- la figura 3 es una vista muy esquemática de una instalación que permite la puesta en práctica de un procedimiento de acuerdo con la invención; y

20 - las figuras 4 a 6 muestran de modo esquemático un revestimiento formado por aluminización en la proximidad del orificio de un agujero de salida de aire de un álabe tal como el de las figuras 1 y 2, respectivamente con un procedimiento de la técnica anterior, con un procedimiento de acuerdo con la invención y con una variante de un procedimiento de acuerdo con la invención.

## Descripción detallada de modos de realización

25 En lo que sigue se describen modos de realización de la invención en el caso de la aplicación del procedimiento a la formación de revestimiento de protección para un álabe de turbina de gas que presenta agujeros y cavidades internas en el interior del cual puede circular aire de enfriamiento. Se verá inmediatamente que el procedimiento conviene para cualquier pieza metálica de turbomáquina que presente agujeros y/o cavidades que comuniquen con el exterior.

Un álabe 10 de turbina de gas está mostrado esquemáticamente en las figuras 1 y 2.

30 De modo clásico, el álabe 10, realizado en superaleación a base de níquel o cobalto, comprende cavidades internas 12, 14, 15, 16 que se extienden en la altura del álabe y que permiten la circulación de aire de enfriamiento.

La cavidad 12 situada en el lado del borde de ataque es alimentada por un paso formado en el pie de álabe 11. El aire que llega a la cavidad 12 se escapa por agujeros 13 a nivel del borde de ataque del álabe y forma una película de aire protectora sobre la superficie exterior del borde de ataque.

35 Las cavidades 14, 15, 16 son recorridas en serie por el aire admitido en la cavidad 14 a través de un paso formado en el pie de álabe.

Este aire se escapa a través de los agujeros de salida de aire 17 que desembocan en el intradós del álabe en la proximidad del borde de fuga y se abren en la cavidad 16. Otros agujeros de salida de aire pueden estar formados en el lado del intradós, que desembocan en la cavidad 15, incluso en la cavidad 14.

40 Agujeros esquematizados en 18 en la figura 1 hacen comunicar la cabeza de álabe 19 con las cavidades internas. Los agujeros 18 corresponden a los emplazamientos de soportes de los núcleos utilizados para reservar las cavidades internas durante la colada del álabe.

La circulación del aire de enfriamiento está esquematizada por trazos interrumpidos y flechas en las figuras 1 y 2.

45 Por un procedimiento de acuerdo con la invención, se forma sobre la superficie externa y las superficies internas del álabe 10 un revestimiento de protección contra la oxidación a alta temperatura, utilizando por ejemplo la instalación de aluminización en fase vapor ilustrada por la figura 3.

Esta instalación comprende una caja 20 cerrada por una tapa 22 de modo no estanco, y soportada en el interior de un bote 24. Este último está obturado de modo estanco por una tapa 26 y está dispuesto en el interior de un horno 28.

Una canalización 30 alimenta de gas portador (o gas de dilución) al recinto 21 definido por la caja 20. El mismo gas es inyectado en el interior del bote 24, al exterior de la caja 20, por una canalización 32. Este gas de barrido es recogido por una canalización 36, a través de la tapa 26.

- 5 En el interior de la caja 20 está dispuesto un donante 34 en forma por ejemplo de granulados o polvo. El donante está constituido generalmente por una aleación de aluminio y uno o varios metales constitutivos de los álabes que hay que aluminizar. Igualmente, se introduce en el recinto un activador en forma de polvo que permita formar un halogenuro con el donante. Activadores utilizados habitualmente son los fluoruros de amonio  $\text{NH}_4\text{F}$  y de aluminio  $\text{AlF}_3$ .
- 10 Los álabes que hay que aluminizar son dispuestos en el interior del recinto 21 siendo soportados o suspendidos por medio de herramientas (no representadas) de modo en sí bien conocido.
- La temperatura del horno es regulada para que en el interior del horno reine una temperatura comprendida generalmente entre  $950\text{ }^\circ\text{C}$  y  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ , a la cual se forme un halogenuro gaseoso por reacción entre el donante y el activador. La aluminización es realizada por depósito por descomposición del halogenuro en contacto con las superficies de los álabes. El gas portador tiene la función de facilitar el transporte de las moléculas de halogenuro.
- 15 De acuerdo con un primer modo de puesta en práctica de la invención, el gas portador utilizado es el helio.
- En comparación con el argón, que es utilizado habitualmente, las moléculas de helio tienen un recorrido libre medio netamente superior, a presiones iguales. El recorrido libre medio  $L$  es definido habitualmente como proporcional a  $1/P \cdot D^2$ , donde  $P$  es la presión y  $D$  el diámetro molecular. La relación  $L_{\text{He}}/L_{\text{Ar}}$  entre los recorridos libres medios de las moléculas de helio y de argón es de aproximadamente igual a 3, a la presión atmosférica.
- 20 Gracias al alargamiento del recorrido libre medio de las moléculas de gas portador, se facilita la difusión de halogenuro en el seno de los agujeros y cavidades del álabe, de modo que puede realizarse una aluminización sobre las superficies internas del álabe, al menos en una cierta distancia a partir de los orificios exteriores de los agujeros y cavidades. Se realiza, así, una protección interna contra la oxidación a alta temperatura.
- Esto está ilustrado muy esquemáticamente en las figuras 4 y 5.
- 25 La figura 4 muestra el resultado de una aluminización clásica con argón en la proximidad del orificio de un agujero de salida de aire 40 de un álabe. Se constata que el depósito 42 formado por aluminización está limitado a la superficie externa y no se prolonga sobre la pared interna del agujero 40, y por tanto todavía menos sobre paredes de cavidad interna del álabe. Además, el depósito 42 obstruye en parte el orificio exterior 40a del agujero 40 y perturba la salida del aire.
- 30 Gracias a la utilización de un gas portador que tiene moléculas cuyo recorrido libre medio es superior, la figura 5 muestra que el depósito 52 formado por aluminización se extiende, no solamente sobre la superficie externa del álabe, sino también sobre la superficie interna del agujero de salida de aire 40 y, desde aquí, puede prolongarse a la superficie de cavidad interna del álabe.
- 35 Como muestra (de modo exagerado) la figura 5, el espesor del depósito interno 52a decrece desde el orificio exterior 40a del agujero 40. La sección de salida es por tanto reducida, presentando por ello la misma restricción que en el caso de la figura 4.
- 40 En variante, y con el fin de evitar esta reducción de sección del agujero después de la aluminización, el álabe podrá ser realizado con agujeros de salida de aire que tengan una sección progresivamente creciente hacia el exterior, como el agujero 40' de la figura 6. La variación de sección es determinada para compensar la disminución de espesor de depósito interno 52'a observada desde el orificio exterior 40'a, de modo que después de la aluminización, se obtengan agujeros de salida de aire de diámetro sensiblemente constante que tengan la dimensión deseada. No es necesario ningún eventual retoque de mecanizado de los agujeros.
- 45 De acuerdo con un segundo modo de puesta en práctica de la invención, el gas portador utilizado es el argón, pero el proceso de aluminización se realiza a presión reducida de manera que se alargue igualmente el recorrido libre medio de las moléculas del gas portador.
- Así, después de la carga de los álabes en el interior del recinto 21 de la instalación de la figura 3, y cierre estanco del bote 24, la atmósfera del bote 24 y de la caja 20 es purgada con argón y la presión es disminuida por bombeo a través de la canalización 28 de manera que se lleve la presión dentro del bote 24 y la caja 20 a un valor relativamente pequeño, por ejemplo inferior a  $5\text{ kPa}$ .
- 50 A continuación, se admite un caudal continuo de argón a través de la canalización 30 de manera que se mantenga en el interior del bote 24 y de la caja 20 una presión a un valor inferior a la presión atmosférica. Se elegirá más bien un valor como mucho igual a  $50\text{ kPa}$ , preferentemente como mucho igual a  $25\text{ kPa}$ , siendo entonces la relación  $L_{\text{Ar red}}/L_{\text{Ar atm}}$  entre los recorridos libres medios de las moléculas de argón a presión reducida y a presión atmosférica al menos igual a 2, y preferentemente al menos igual a 4.

**Ensayos**

5 Se ha aluminizado un álabe de turbina semejante al de las figuras 1 y 2 utilizando una instalación del tipo de la figura 3, siendo el donante una aleación de cromo-aluminio con 30% al 35% de aluminio y siendo el activador  $AlF_3$ .

El proceso ha sido conducido a una temperatura en el interior del recinto igual aproximadamente a 1150 °C durante una duración de aproximadamente 3 h.

10 Han sido realizados tres ensayos A, B, C, respectivamente, con el argón a presión atmosférica (procedimiento de aluminización por depósito en fase vapor de la técnica anterior), con el helio, y con el argón a una presión reducida aproximadamente igual a 13 kPa.

La tabla que sigue indica los espesores de revestimiento (en  $\mu m$ ) medidos en la superficie externa del álabe y en la superficie interna de las cavidades, respectivamente, en la proximidad del pie, en la parte central y en la proximidad de la cabeza.

		A	B	C
Cabeza	externa	90	90	90
	interna	0	25	50
Parte central	externa	90	85	95
	interna	0	0	70
Pie	externa	90	90	90
	interna	0	40	65

15 Mientras que en todos los casos se obtiene un revestimiento externo sensiblemente uniforme, sólo los procedimientos realizados de acuerdo con la invención han podido permitir realizar un revestimiento de superficies internas.

20 El procedimiento que utiliza argón a presión reducida ha permitido una aluminización completa de las superficies internas de los agujeros y cavidades, habiendo revelado un examen detallado de ésta que las superficies internas estaban revestidas íntegramente con un espesor mínimo de 30  $\mu m$ .

Por el contrario, el procedimiento que utiliza el helio no ha permitido realizar un revestimiento interno hasta el núcleo del álabe.

25 Se observará que, en el caso del ensayo C (Ar a presión reducida), la relación  $L_{Ar\ red.}/L_{Ar\ atm.}$  era igual aproximadamente igual a 7,8 mientras que, en el caso del ensayo B (He a presión atmosférica), la relación  $L_{He}/L_{Ar\ atm.}$  era igual aproximadamente a 3.

El proceso de aluminización con gas portador constituido por el helio podrá ser realizado también a presión reducida con el fin de tener una relación  $L_{He\ red.}/L_{Ar\ atm.}$  superior a 3 y conducir a una aluminización completa de las superficies internas del álabe.

30

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento de aluminización por depósito en fase vapor para la protección contra la oxidación a alta temperatura de una pieza metálica de turbomáquina que comprende agujeros y/o cavidades que comunican con el exterior, procedimiento de acuerdo con el cual al menos un precursor gaseoso del depósito que hay que realizar, que comprende un compuesto del aluminio, es llevado en contacto con las superficies de la pieza dispuesta en el interior del recinto, caracterizado porque comprende las etapas consistentes en:
- cargar la pieza metálica que hay que aluminizar en el interior de un recinto;
- purgar con argón la atmósfera en el interior del recinto y disminuir la presión por bombeo de manera que se lleve la presión en el interior del recinto a un valor inferior a 5 kPa;
- 10 admitir en el interior del recinto un caudal continuo de argón de manera que se mantenga en el interior del recinto una presión como mucho igual a 25 kPa; y
- mantener en el interior del recinto una temperatura comprendida entre 950 °C y 1200 °C.
- 15 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque se disponen en el interior del recinto un donante y un activador, siendo el citado donante una aleación de cromo-aluminio con 30% a 35% de aluminio y siendo el citado activador  $\text{AlF}_3$ , siendo la temperatura interior del recinto igual aproximadamente a 1150 °C durante una duración de 3 horas y siendo mantenida la presión en el interior del recinto por el caudal continuo de argón a 13 kPa.
- 20 3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado porque la pieza está realizada con agujeros que, al menos en su porción próxima al orificio exterior, presentan un diámetro creciente hacia el exterior.

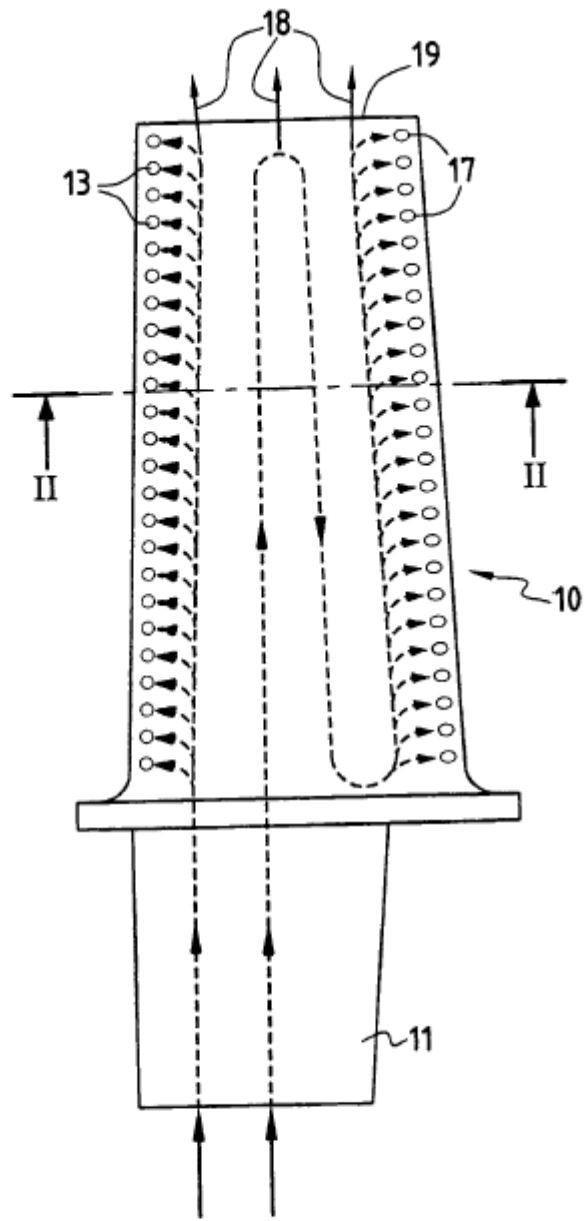


FIG.1

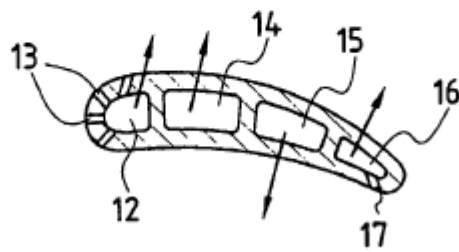


FIG.2

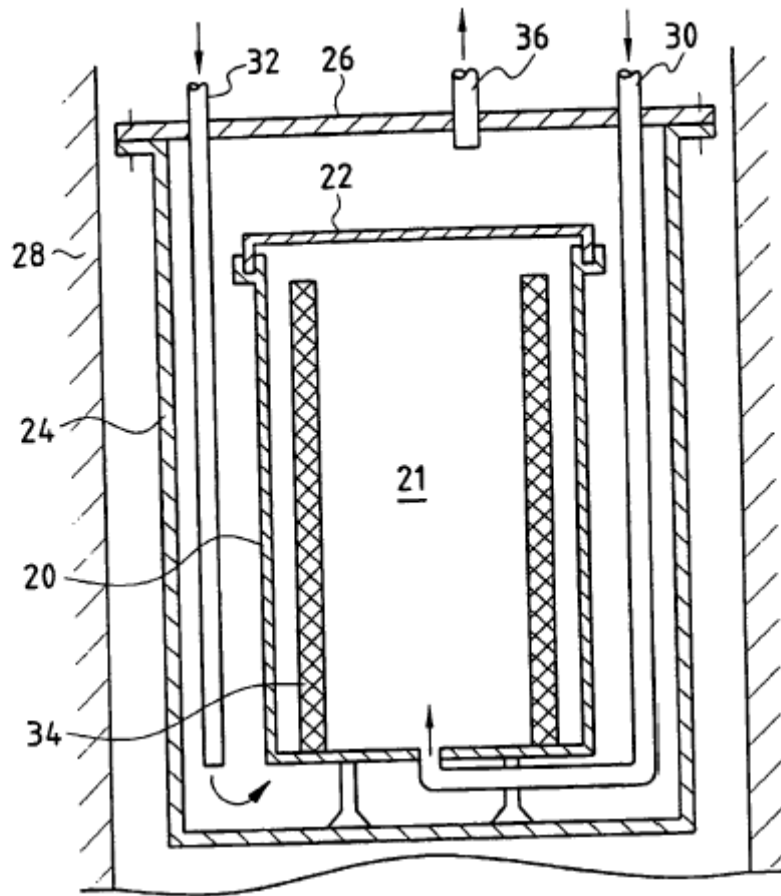


FIG. 3

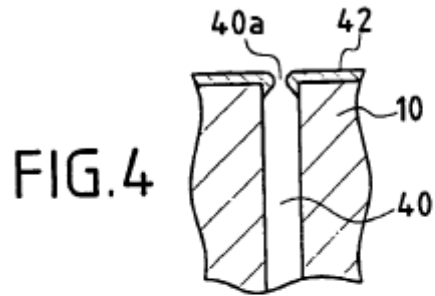


FIG. 4

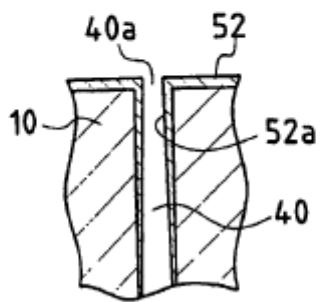


FIG. 5

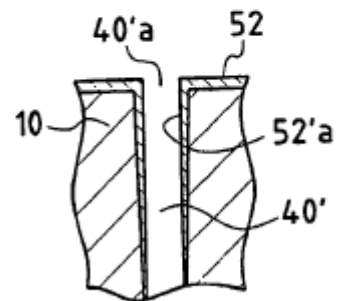


FIG. 6