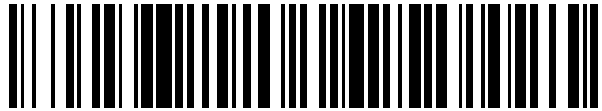


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 456 324**

51 Int. Cl.:

**B23K 31/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.07.2004 E 04767681 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2014 EP 1648651**

54 Título: **Procedimiento de soldadura de una aleación de Ti-Al**

30 Prioridad:

**25.07.2003 FR 0309154**

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

**22.04.2014**

73 Titular/es:

**ONERA (OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AÉROSPATIALES) (100.0%)  
29, AVENUE DE LA DIVISION-LECLERC  
92320 CHÂTILLON, FR**

72 Inventor/es:

**HOFFMANN, CARINE;  
BACOS, MARIE-PIERRE;  
JOSSO, PIERRE y  
NAVEOS, SERGE**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 456 324 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 soldadura de una aleación de Ti-Al

5 La invención se refiere a un procedimiento para fijar a la superficie de una primera pieza de un primer material intermetálico un segundo material metálico por fusión de una soldadura adaptada al segundo material, siendo el primer material una aleación intermetálica de Ti-Al, así como un objeto fabricado por tal procedimiento. El documento US 2.906.008 A describe un procedimiento para fijar a la superficie de una primera pieza una segunda pieza, así como el objeto fabricado por tal procedimiento.

10 La aleación intermetálica de  $\gamma$ -TiAl presenta la ventaja, respecto a otras aleaciones basadas en titanio, tal como la aleación conocida con la denominación TA6V, y a las aleaciones basadas en níquel, utilizadas habitualmente para fabricar componentes de motores aeronáuticos, que poseen una baja densidad, de una resistencia mecánica comparable a la de los aceros y la de las aleaciones de níquel citadas previamente, que permite una reducción importante de la masa introducida y, por lo tanto, del consumo específico.

15 Sin embargo, las aleaciones intermetálicas de tipo TiAl no pueden roscarse, atornillarse o remacharse sin riesgo de agrietamiento porque son frágiles al frío. Por lo tanto, es necesario utilizar otra técnica de unión, en concreto encolado, cobresoldadura o soldadura. Los ensamblajes encolados no pueden utilizarse a temperaturas superiores a 150°C. La cobresoldadura exige una compatibilidad entre los materiales a soldar, que no existe por ejemplo entre las aleaciones basadas en titanio y las aleaciones basadas en níquel, cobalto y/o hierro. Respecto a la soldadura de estos mismos materiales, se enfrenta a dificultades de hacer que el titanio forme eutécticos de bajo punto de fusión con el níquel, el cobalto y el hierro. Por lo tanto, es necesario tener recursos de soldadura-difusión.

20 Los documentos US 4 869 421 A y EP 0 904 881 A describen procedimientos de soldadura limitados a la unión de dos piezas de aluminio de titanio. El documento US 5 318 214 A describe un procedimiento de soldadura aplicado especialmente al ensamblaje de una pieza de  $Ti_3Al$  y de una pieza de aleación de níquel comercializada con la denominación Hastelloy X. Sin embargo, los presentes inventores no fueron capaces de obtener una unión que reproduzca el modo de operación descrito en este documento, estando reemplazado  $Ti_3Al$  por  $\gamma$ -TiAl.

25 El objeto de la invención es realizar una unión por soldadura entre un primer material intermetálico, que es una aleación Ti-Al cualquiera, y un segundo material metálico que puede ser especialmente una aleación de níquel, de cobalto, de hierro o de titanio.

La invención tiene por objetivo especialmente un procedimiento del tipo definido en la introducción, y con la condición de que se interponga una capa de níquel entre dicha primera pieza y la soldadura.

30 A continuación se detallan las características opcionales de la invención, complementarias o de sustitución:

- El segundo material está formado por una segunda pieza preexistente y en el que se presiona la capa de níquel y la soldadura entre la primera y segunda piezas.

- El segundo material está formado de un revestimiento que se aplica sobre el conjunto formado por la primera pieza, la capa de níquel y la soldadura.

35 - La capa de níquel está en forma de una lámina preexistente.

- La capa de níquel está en forma de un revestimiento.

- El revestimiento de níquel se deposita por vía electrolítica.

- La capa de níquel tiene un espesor de al menos 30  $\mu m$  y preferiblemente de al menos 40  $\mu m$ .

- El segundo material es una aleación basada en níquel.

40 - Se calienta el conjunto que se va a tratar a una temperatura superior a la temperatura de fusión de la soldadura, durante al menos diez minutos, a vacío.

- Se trabaja a una presión residual inferior a  $10^{-3}$  Pa.

45 La invención también tiene por objeto una pieza metálica compuesta que puede obtenerse por un procedimiento tal como el definido anteriormente, que comprende un sustrato de una aleación intermetálica Ti-Al, recubierto de una multiplicidad de capas sucesivas, en concreto una primera capa que contiene las fases  $\alpha_2$ - $Ti_3Al$ ,  $\tau_2$ - $Ti_2AlNi$  y  $\tau_3$ - $TiAlNi$ , una segunda, tercera y cuarta capas formadas respectivamente por las fases  $\tau_4$ - $TiAlNi_2$  y  $\gamma$ - $Ni_3Al$  y de níquel, y una quinta capa de soldadura que une la cuarta capa a otro material metálico.

La pieza según la invención puede incluir al menos algunas de las siguientes características:

- Dicha primera capa contiene islas de  $\alpha_2$ - $Ti_3Al$  dispersadas en una matriz polifásica que comprende  $\tau_2$ - $Ti_2AlNi$  y  $\tau_3$ - $TiAlNi$ .

- Dicha primera capa comprende una primera sub-capa de  $\alpha_2\text{-Ti}_3\text{Al}$  y una segunda sub-capa polifásica que comprende  $\tau_2\text{-Ti}_2\text{AlNi}$  y  $\tau_3\text{-TiAlNi}$ .

- Dicha primera capa comprende una primera sub-capa de  $\alpha_2\text{-Ti}_3\text{Al}$ , una segunda sub-capa de  $\tau_2\text{-Ti}_2\text{AlNi}$  y una tercera sub-capa de  $\tau_3\text{-TiAlNi}$ .

5 - Dicho otro material metálico es una aleación basada en níquel.

Las características y ventajas de la invención se exponen con más detalle en la descripción a continuación, con referencia a los dibujos adjuntos.

La figura 1 es una vista esquemática en sección que muestra dos piezas metálicas a ensamblar entre las cuales están interpuestas dos láminas metálicas utilizadas para el ensamblaje por el procedimiento según la invención.

10 La figura 2 es una vista análoga a la figura 1, que muestra el ensamblaje obtenido por el procedimiento según la invención.

Las dos piezas a ensamblar representadas en la figura 1 son una pieza 1 de aluminuro de titanio y una pieza 4 de aleación basada en níquel. Según la invención, se deposita la pieza 1 sobre una banda de níquel 2 cuyo espesor es preferiblemente de al menos  $40\ \mu\text{m}$ . El conjunto se deposita entonces sobre una tira 3 de una soldadura clásica que puede ser, por ejemplo, una de las aleaciones conocidas con las denominaciones TiCuNi 70, TiNi 67 y MBF 1006, o de boruro de níquel  $\text{BNi}_3$  o el eutéctico plata-cobre, y todo ello se deposita sobre la pieza 4. Se coloca el apilamiento obtenido en un horno a vacío de aire cuya presión residual es inferior a  $10^{-3}$  Pa y se calienta a una temperatura superior al punto de fusión de la soldadura 3. Para mejorar la calidad de la unión soldada, se puede someter el apilamiento a una ligera compresión. Una duración de mantenimiento de la temperatura de aproximadamente una hora permite obtener una solidificación de la soldadura por difusión de sus constituyentes en las otras capas (solidificación isoterma), que conduce a la estructura representada en la figura 2.

Respecto a la figura 2, una capa de interdifusión 5 adyacente al sustrato de aluminuro de titanio 1 está formada por islas de  $\alpha_2\text{-Ti}_3\text{Al}$  5-1 dispersadas en una matriz polifásica 5-2 que contiene las fases  $\tau_2\text{-Ti}_2\text{AlNi}$  y  $\tau_3\text{-TiAlNi}$ . La capa 5 va seguida de una capa continua 6 de la fase  $\tau_4\text{-TiAlNi}_2$  y después de una capa continua 7 de  $\gamma\text{-Ni}_3\text{Al}$ , ella misma adyacente a la capa 2 de níquel puro. Entre esta última y la pieza 4 está interpuesta una capa 8 resultante de la difusión de los elementos de la soldadura en la capa 2 y en la pieza 4.

### Ejemplo 1

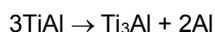
Este ejemplo ilustra la soldadura de una pieza de aleación de  $\gamma\text{-TiAl}$  y de una pieza de una aleación de níquel comercializada con la denominación Nimonic 75. Para hacer esto, se inserta una lámina de níquel de  $60\ \mu\text{m}$  de espesor entre una soldadura de TiCuNi y la pieza de aluminuro de titanio, la pieza de aleación de níquel está directamente en contacto con la soldadura. El conjunto se lleva, a una presión de 5 kPa, a una temperatura de  $1050^\circ\text{C}$  a un vacío menor que  $10^{-3}$  Pa durante dos horas. En la interfaz TiAl/níquel, el aluminio migra desde el TiAl hacia el níquel. Se forman así cuatro capas que contienen, respectivamente, un 35%, 39%, 26% y 13% de aluminio atómico. Se obtiene como resultado un conjunto estable y exento de fisuras. El titanio no parece haberse difundido hacia la soldadura, su contenido es del 60% atómico en la interfaz TiAl/Ni.

La lámina de níquel evita la difusión del aluminio hacia la aleación de níquel. La soldadura presenta precipitados poco repartidos de manera no homogénea. Está constituida por varias fases de composiciones diferentes, entremezcladas las unas con las otras, en concreto:

- una fase gris oscuro de composición atómica Ti 54%, Ni 30%, Cr 10%;
- 40 - una fase gris claro y una fase blanca, de composiciones respectivas Ni 45,5%, Ti 38% y Ni 62,5%, Ti 26%, correspondientes a las fases TiNi y  $\text{Ti}_3\text{Ni}$  del diagrama binario Ti-Ni; y
- una fase negra de composición Ti 87%, Ni 9% ( $\beta\text{-Ti}$ ).

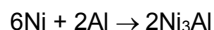
El níquel se difunde desde la aleación de níquel hacia la soldadura, como demuestra la presencia de precipitados de cromo puro en la ubicación de la interfaz inicial. También está presente una fase que contiene níquel, titanio y cromo ( $\alpha\text{-Ti} + \eta\text{-Ni}_3\text{Ti} + \gamma\text{-NiCr}$ ), pudiendo provenir el titanio de la soldadura, o del TiAl, probablemente de este último, estando empobrecida en titanio la zona de fusión de la soldadura. En la soldadura intervienen las siguientes reacciones:

del lado del aluminuro de titanio

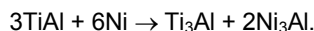


50

y del lado de la aleación de níquel



siendo la reacción global



- 5 El gradiente de concentración de titanio que se manifiesta como resultado de la presencia de los diferentes compuestos definidos a lo largo de la trayectoria de difusión, constituye las capas 5 a 7 descritas anteriormente en relación con la figura 2. Esto se produce en presencia de un equilibrio termodinámico.

10 Las muestras soldadas se envejecen en atmósfera de argón a 800°C durante 150 horas. La estructura de la interfaz de aleación de níquel/soldadura permanece sin cambios. La distancia entre la aleación y la lámina de níquel disminuye de 120 a 75 μm. Por lo tanto, el frente de difusión del níquel ha progresado. La interfaz TiAl/níquel no se ha desplazado, lo que demuestra que la lámina de níquel detiene eficazmente la difusión del aluminio. La homogeneidad de la soldadura aumenta por el envejecimiento.

15 No se constata ninguna evolución de la interfaz aleación de níquel/soldadura cuando la duración del envejecimiento se realiza durante 300 horas. La fase Ti-Ni-Cr, ya reducida después de 150 horas, está entonces totalmente redisuelta en su matriz. Por lo tanto, no quedan precipitados de cromo en la matriz Ni<sub>3</sub>Ti.

20 Los ensayos mecánicos de cizalla se realizan a valores de resistencia  $\tau = 221,4 \pm 7,5$  MPa. Un examen metalográfico después del ensayo muestra que las piezas soldadas no se han disociado, pero el agrietamiento producido se ha desviado, de manera que no haría inutilizable un objeto industrial obtenido según este ejemplo. Esto indica que la capa de níquel desempeña el papel de un amortiguador que absorbe las restricciones termomecánicas (por ejemplo, dilatación) o puramente mecánicas (cizalla, fatiga).

El reemplazar la soldadura de TiCuNi por una cinta de TiNi 67 conduce a un enlace que tiene prácticamente la misma estructura.

### Ejemplo 2

25 Se procede como en el ejemplo 1 reemplazando la lámina de níquel por un depósito electrolítico de níquel. Para hacer esto, se somete el aluminuro de titanio a un pretratamiento por chorreado con arena seguido de una activación en una solución acuosa que contiene un 40% de ácido nítrico y un, 3,6% en masa de ácido fluorhídrico. El depósito se realiza en una solución de sulfamato de níquel en un baño listo para su uso comercializado por la empresa Frappaz-Imaza, a una temperatura de 45°C y a una densidad de corriente de 3 A/dm<sup>2</sup>. Los ensayos preliminares han mostrado que el espesor de níquel debe ser de al menos de 30 μm, eligiéndose un valor de 40 μm.

30 Como resultado del tratamiento de soldadura, se obtiene la misma sucesión de capas que en el ejemplo 1, cualquiera que sea la soldadura utilizada, TiCuNi 70 o TiNi 67.

### Ejemplo 3

35 Se procede como en el ejemplo 2, se deposita una capa de níquel de un espesor de aproximadamente 50 μm sobre una pieza de una aleación de níquel comercializada con la denominación Hastelloy X. Se utiliza como soldadura el eutéctico plata-cobre cuyo punto de fusión es 790°C. Los puntos de fusión de los diferentes eutécticos que se pueden formar con el titanio son los siguientes: Ag-Ti 960°C, fusión no eutéctica, Cu- Ti 885°C y 960°C, NiTi 942°C. La lámina de soldadura se interpone entre el revestimiento de níquel y una pieza de γ-TiAl y el conjunto se lleva a una temperatura de 820°C, 65°C por debajo de los puntos de fusión anteriores, a una presión mecánica de 5 kPa y un vacío mayor que 10<sup>-3</sup> Pa durante una hora. Como resultado del tratamiento, el examen metalográfico muestra un enlace perfecto que presenta las mismas capas que contienen Ti y Al que previamente y, en contacto con la aleación de níquel, una capa de AgCu seguida de una capa de NiCuAg. Si se reemplaza la soldadura de Ag-Cu por una de plata pura, con una presión de acoplamiento de aproximadamente 1 MPa, la capa adyacente a la aleación de níquel y de plata, va seguida de una capa de γ-Ni.

45 En los dos casos, la capa de níquel, en equilibrio termodinámico con el aluminuro de níquel, actúa absorbiendo las restricciones mecánicas, como se ha indicado anteriormente.

### Ejemplo 4

50 Este ejemplo se refiere a la soldadura de γ-TiAl con una aleación de níquel comercializada con la denominación N 18, y tiene como objetivo resolver el difícil problema, dada la fragilidad al frío de las aleaciones de tipo γ-TiAl, de la fijación de los álabes móviles de los compresores de las turbinas aeronáuticas sobre los discos en aleación N 18, siendo esta última es una aleación a base de níquel que contiene, en masa, 15,5% de cobalto, 11,5% de cromo, 6,5% de molibdeno, 4,3% de aluminio, 4,3% de 25 titanio y trazas de zirconio, de carbono, de boro y de hafnio.

Se procede como en el ejemplo 2 reemplazando la aleación Nimonic 75 por la aleación N 18 y utilizando como soldadura TiNi 67. Como resultado de este tratamiento, la interfaz TiAl/Ni es similar a la obtenida en los ejemplos anteriores. La zona de difusión entre la aleación de níquel y la soldadura está compuesta por precipitados de titanio y de fase cromo-molibdeno. El ensamblaje puede funcionar a temperaturas de 800°C durante más de 300 horas.

5 Ejemplo 5

Este ejemplo ilustra la formación sobre una pieza de  $\gamma$ -TiAl de una barrera de protección contra la oxidación y la corrosión al calor.

10 Se realiza un revestimiento de níquel sobre una muestra de  $\gamma$ -TiAl como se ha descrito en el ejemplo 2, y se reviste este revestimiento con una lámina de soldadura TiNi 67, después con una lámina de 0,1 mm de espesor obtenida por sinterización a partir de una aleación de tipo MCrAlY disponible con la denominación AMDRY 997, que es una aleación basada en níquel que contiene, en masa, 23% de cobalto, 20% de cromo, 8,5% de aluminio, 4% de tantalio y 0,6% de itrio. Se realiza un tratamiento térmico a vacío como se ha descrito en el ejemplo 2. Como resultado de este tratamiento, el examen metalográfico muestra un enlace perfecto que presenta la secuencia de capas ya descrita del sustrato TiAl hasta la lámina de níquel. La lámina de MCrAlY es fuertemente adherente y puede asegurar, por lo tanto, una protección contra la oxidación y la corrosión al calor, especialmente en presencia de fases condensadas o que no contienen cloro.

15 En una variante, la aleación MCrAlY, en lugar de ser aplicada en forma de una lámina, puede proyectarse mediante una antorcha de plasma, de una manera ya conocida.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento para fijar a la superficie de una primera pieza (1) de un primer material metálico un segundo material metálico (4) por fusión de una soldadura (3) adaptada al segundo material, caracterizado por que se interpone una capa de níquel (2) entre dicha primera pieza (1) y la soldadura (3) y por que el primer material es una aleación intermetálica Ti-Al.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el segundo material está en forma de una segunda pieza preexistente (4) y en la que se presiona la capa de níquel (2) y la soldadura (3) entre la primera y la segunda piezas (1, 4).
- 10 3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el segundo material (4) está en forma de un revestimiento que se aplica sobre el conjunto formado por la primera pieza, la capa de níquel y la soldadura.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la capa de níquel está en forma de una lámina preexistente (2).
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la capa de níquel está en forma de un revestimiento.
- 15 6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que el revestimiento de níquel se deposita por vía electrolítica.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la capa de níquel (2) tiene un espesor de al menos 30  $\mu\text{m}$  y preferiblemente de al menos 40  $\mu\text{m}$ .
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el segundo material (4) es una aleación basada en níquel.
- 20 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que se lleva el conjunto que se va a tratar a una temperatura superior a la temperatura de fusión de la soldadura durante al menos diez minutos a vacío.
10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que se opera a una presión residual inferior a  $10^{-3}$  Pa.
- 25 11. Pieza metálica compuesta tal como la que se puede obtener por el procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende un sustrato (1) de una aleación intermetálica Ti- Al, recubierto por una multiplicidad de capas sucesivas, en concreto una primera capa (5) que contiene las fases  $\alpha 2\text{-Ti}_3\text{Al}$ ,  $\tau 2\text{-Ti}_2\text{AlNi}$  y  $\tau 3\text{-TiAlNi}$ , una segunda, una tercera y una cuarta capas (6, 7, 2) formadas respectivamente por las fases  $\tau 4\text{-TiAlNi}_2$  y  $\gamma'$ - $\text{Ni}_3\text{Al}$  y níquel, y una quinta capa (8) de soldadura que une la cuarta capa (2) a otro material metálico (4).
12. Pieza según la reivindicación 11, en la que dicha primera capa (5) contiene islas (5-1) de  $\alpha 2\text{-Ti}_3\text{Al}$  dispersadas en una matriz polifásica (5-2) que comprende  $\tau 2\text{-Ti}_2\text{AlNi}$  y  $\tau 3\text{-TiAlNi}$ .
- 30 13. Pieza según la reivindicación 11, en la que dicha primera capa comprende una primera sub-capa de  $\alpha 2\text{-Ti}_3\text{Al}$  y una segunda sub-capa polifásica que comprende  $\tau 2\text{-Ti}_2\text{AlNi}$  y  $\tau 3\text{-TiAlNi}$ .
14. Pieza según la reivindicación 11, en la que dicha primera capa comprende una primera sub-capa de  $\alpha 2\text{-Ti}_3\text{Al}$ , una segunda sub-capa de  $\tau 2\text{-Ti}_2\text{AlNi}$  y una tercera sub-capa de  $\tau 3\text{-TiAlNi}$ .
- 35 15. Pieza según una de las reivindicaciones 11 a 14, en la que dicho otro material metálico (4) es una aleación basada en níquel.

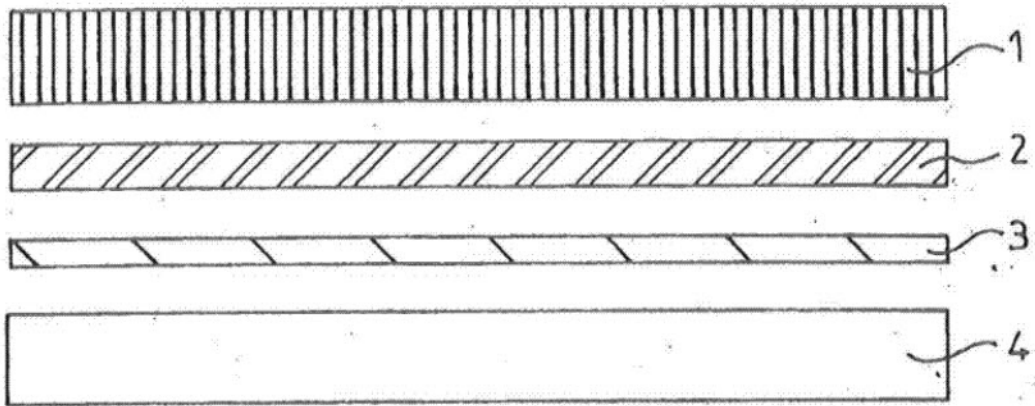


FIG. 1

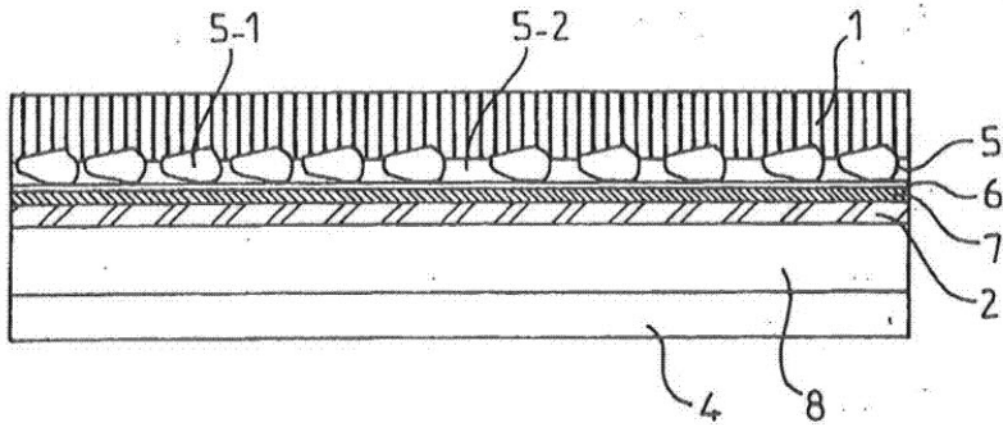


FIG. 2