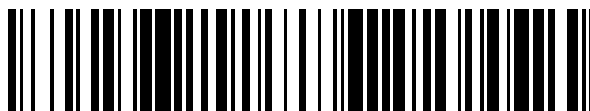


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 436 415**

51 Int. Cl.:

**B23K 20/04** (2006.01)

**B23K 20/233** (2006.01)

**B21B 1/22** (2006.01)

**B21B 1/28** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2007 E 07764934 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2013 EP 2043808**

54 Título: **Procedimiento para la producción de una pieza constructiva a partir de un producto aplanado de titanio para usos a altas temperaturas con aplicación de una capa de aluminio sobre por lo menos un lado del producto aplanado de titanio mediante chapado por laminación y laminación en frío**

30 Prioridad:

**05.07.2006 DE 102006031469**

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

**02.01.2014**

73 Titular/es:

**WICKEDER WESTFALENSTAHL GMBH (100.0%)  
HAUPTSTRASSE 6  
58739 WICKEDE / RUHR, DE**

72 Inventor/es:

**LAN, YUN DR.;  
MAGER, PETER;  
PAULI, JAN-BERND y  
GERLACH, THORSTEN**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 436 415 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 para la producción de una pieza constructiva a partir de un producto aplanado de titanio para usos a altas temperaturas con aplicación de una capa de aluminio sobre por lo menos un lado del producto aplanado de titanio mediante chapado por laminación y laminación en frío

El presente invento se refiere a un procedimiento para la producción de una pieza constructiva a partir de un producto aplanado de titanio producido a partir de una aleación de titanio, tal como una chapa o banda de titanio producida a partir de una aleación de titanio, para usos a altas temperaturas. En el caso de tales piezas constructivas se trata, por ejemplo, de unos componentes de instalaciones de gases de escape para motores de combustión, de unos intercambiadores de calor o de unos dispositivos comparables, en el caso de cuyo empleo se presentan regularmente unas temperaturas de funcionamiento de 600 - 900 °C.

Unas instalaciones de alto valor para gases de escape para, por ejemplo, motores de combustión empleados en vehículos automóviles se producen hoy en día a base de aceros inoxidable. Los materiales de acero de este tipo son bien conformables y se distinguen por una alta resistencia mecánica específica y por una buena estabilidad frente a la corrosión también a altas temperaturas de funcionamiento. Estas ventajas son contrarrestadas, sin embargo, por la desventaja de un alto peso; como consecuencia de la densidad comparablemente alta (de aproximadamente 8 g/cm<sup>3</sup>) de un acero inoxidable.

El titanio y sus aleaciones, debido a su densidad manifiestamente más pequeña, de aproximadamente 4,5 g/cm<sup>3</sup>, son esencialmente más ligeros que los aceros. Ellos/as poseen, además de esto, una alta resistencia mecánica específica y una muy buena estabilidad frente a la corrosión a la temperatura ambiente. Su temperatura máxima de empleo está restringida, no obstante, por el hecho de que en el caso de unas altas temperaturas de funcionamiento se inicia una oxidación acelerada. Por lo tanto, unas piezas constructivas, que son producibles a partir de unas aleaciones de titanio convencionales, estables en caliente, sólo se utilizan hasta llegar a unas temperaturas de funcionamiento de menos que 600 °C.

A partir del documento de patente alemana DE 101 03 169 B4 es conocido que la resistencia mecánica a altas temperaturas y la estabilidad frente a la oxidación de unas piezas constructivas producidas a partir de una chapa de titanio se pueden mejorar mediante el recurso de que las chapas de titanio son chapadas por laminación con una lámina de aluminio, antes de su conformación para dar la respectiva pieza constructiva. En el marco del procedimiento conocido, sobre una chapa de titanio se aplica, por lo menos por un lado, una lámina de aluminio, cuyo espesor es pequeño en comparación con el espesor de la chapa de titanio. Mediante un tratamiento térmico de la chapa de titanio chapada por laminación, a partir del revestimiento de aluminio y del sustrato de titanio que está situado debajo de éste, se forma una capa de cubrimiento que se compone de TiAl o respectivamente TiAl<sub>3</sub>. Con el fin de que la capa de TiAl difícilmente conformable no obstaculice la conformación, el tratamiento térmico se llevará a cabo de manera preferida tan sólo después de la conformación de la chapa de titanio cubierta con la capa de aluminio, para dar la pieza constructiva.

Unos ensayos prácticos han puesto de manifiesto que el procedimiento descrito en el documento DE 101 03 169 B4 presupone que el sustrato de titanio cubierto con la capa de Al se compone de un titanio muy puro, que se maneja de acuerdo con la norma DIN 17 850 bajo la denominación abreviada de material Ti1, con el número de material 3.7025 y que, junto a titanio y unas impurezas inevitables, puede contener hasta como máximo 0,15 % de Fe, hasta como máximo 0,12 % de O, hasta como máximo 0,05 % de N, hasta como máximo 0,06 % de C y hasta como máximo 0,013 % de H (datos en % en peso). En el caso de la utilización de unas chapas de titanio, que han sido producidas a partir de un titanio menos puro o respectivamente aleado en más alto grado, el cuerpo compuesto de Al y Ti obtenido de acuerdo con el documento DE 101 03 169 B4 después del chapado por laminación, no puede ser conformado en frío para dar una pieza constructiva.

En la práctica se pone de manifiesto, no obstante, que se han establecido unos límites a la aptitud para la utilización de un titanio Ti1 muy puro debido al engrosamiento de los granos, que se inicia a unas temperaturas de más que 620 °C. A esto se agrega el hecho de que un titanio muy puro solamente es obtenible a un precio comparativamente alto.

Por lo demás, a partir del documento de solicitud de patente japonesa JP-63140782-A, es decir, el estado más próximo de la técnica, se conoce un procedimiento, en cuyo caso una banda de titanio es revestida por ambos lados con una lámina de aluminio. Para esto, la banda de titanio es cubierta primeramente por sus lados superior e inferior mediante chapado por laminación que se efectúa simultáneamente, en el caso de unos grados de conformación de 30 - 70 %, en cada caso con una lámina de aluminio constituida a base de un aluminio esencialmente puro. A continuación, el sustrato de titanio, cubierto por ambos lados con la capa de Al, es recocido por difusión a una temperatura de 500 - 600 °C durante un período de tiempo de 1 - 6 horas en un horno de paso continuo bajo vacío o bajo una atmósfera gaseosa inerte, de tal manera que en la interfase entre la banda de titanio y los revestimientos de Al se forman unos compuestos intermetálicos, que garantizan una cohesión segura del cuerpo compuesto de Al-

Ti-Al. En la práctica, no obstante, la idoneidad para altas temperaturas de este cuerpo compuesto de materiales está restringida debido a la proporción de aluminio puro sobre las superficies de la banda. Además de esto, existe el peligro de que en el caso de un cambio de conformación del cuerpo compuesto de Al-Ti-Al para dar una pieza constructiva moldeada, debido a su mala aptitud de conformación en la región de la interfase, se llegue a un desprendimiento de los estratos superpuestos de Al desde la banda de núcleo de Ti.

Además, a partir del documento de solicitud de patente internacional WO 02/068185 A2 y del documento de patente de los EE.UU. US 3.359.142 se ha dado a conocer un procedimiento para el chapado con una lámina de titanio constituida a base de una aleación de titanio sobre una chapa de aluminio constituida a base de una aleación de aluminio. En este caso tampoco se utilizan, por consiguiente, ni aluminio puro ni titanio puro. El espesor de la lámina de titanio permanece sin embargo ampliamente por debajo del espesor de la chapa de titanio, de tal manera que las etapas de procedimiento presentadas en este contexto no son adecuadas para el chapado de un producto aplanado de titanio, por ejemplo una chapa de titanio, con una lámina de aluminio.

Partiendo del estado de la técnica precedentemente ilustrado, la misión del invento consistió en indicar un procedimiento, que haga posible producir unas piezas constructivas con una idoneidad mejorada para altas temperaturas a partir de unos productos aplanados de titanio producidos a partir de unas convencionales aleaciones de titanio, tales como unas chapas o una banda de titanio producidas a partir de unas convencionales aleaciones de titanio.

El problema planteado por esta misión se ha resuelto mediante las etapas y características definidas en la reivindicación 1, es decir que en el caso de la producción de unas piezas constructivas para usos a altas temperaturas a base de un producto aplanado de titanio producido a partir de una aleación de titanio, tal como una chapa o banda de titanio producida a partir de una aleación de titanio, se llevan a cabo las siguientes etapas de trabajo y se toman en cuenta las siguientes condiciones:

- a) Aplicación de una capa de Al sobre por lo menos un lado del producto aplanado de titanio mediante chapado por laminación del producto aplanado de titanio con una lámina de Al, que se ha producido a partir de una aleación de Al,
- b) laminación en frío del producto aplanado de titanio cubierto con la capa de Al,
- c) estando situados el espesor de partida de la lámina de Al en el intervalo de 0,03-0,3 mm y el espesor de partida del producto aplanado de titanio en el intervalo de 1,0-8,0 mm, y siendo el grado de conformación, conseguido en el marco del chapado por laminación y de la laminación en frío, de 30 - 90 %, referido al espesor total del producto aplanado de titanio y de la lámina de Al, y escogiéndose el espesor de la lámina de Al, tomando en consideración el grado de conformación total y el espesor nominal del producto aplanado de titanio cubierto con la capa de Al, de tal manera que el espesor de la capa de Al presente en cada caso sobre el producto aplanado de titanio después del chapado por laminación y de la laminación en frío, no sobrepase los 90 µm, en particular los 70 µm.
- d) recocido con ablandamiento del producto aplanado de titanio cubierto con la capa de Al en el horno de paso continuo a unas temperaturas de recocido de 600 - 750°C durante un período de tiempo de 0,1 - 10 min, o en el horno de campana a unas temperaturas de recocido de 550 - 650 °C durante un período de tiempo de 1 - 30 h,
- e) cambio de conformación del producto aplanado de titanio, cubierto con la capa de Al, para dar la pieza constructiva,
- f) tratamiento térmico de la pieza constructiva conformada a partir del producto aplanado de titanio cubierto con la capa de Al para la formación de una capa de cubrimiento, que abarca unas fases intermetálicas, sobre la pieza constructiva.

Conforme al invento, como base para la pieza constructiva que debe de ser producida, se emplea un sustrato de titanio que, al contrario que en el estado de la técnica, no se compone de un titanio muy puro sino de una aleación de titanio. Esta base de titanio es cubierta primeramente por lo menos por un lado, de manera preferida por ambos lados, de un modo en sí conocido mediante chapado por laminación con una lámina de Al, la cual por su parte conforme al invento no se compone de aluminio puro sino de una aleación de Al. Sobre el sustrato de titanio chapado por laminación, la lámina de Al forma una capa de Al, que protege contra la corrosión al material de núcleo de titanio del cuerpo compuesto formado por la lámina de Al y el sustrato de Ti, también en el caso de un empleo a unas altas temperaturas de 900 °C y más.

Para el éxito del invento es esencial que el sustrato de titanio chapado por laminación con la capa de Al sea laminado en frío adicionalmente después del chapado por laminación. Sorprendentemente, se ha puesto de

manifiesto que tan sólo mediante esta etapa de laminación en frío, llevada a cabo conforme al invento, se consigue la recristalización completa del sustrato de Ti, que constituye una premisa para la buena conformabilidad del cuerpo compuesto formado por el sustrato de Ti y la capa de Al, a pesar del hecho de que el producto aplanado de titanio, elaborado conforme al invento como sustrato, ha sido producido a partir de una aleación convencional de titanio.

El chapado por laminación y la subsiguiente laminación en frío se llevan a cabo, con esta finalidad, de tal manera que el grado de conformación total  $\epsilon_h$  conseguido por medio de estas dos etapas de conformación sea de 30 - 90 % ( $\epsilon_h = \Delta h / \sum (h_{Al} + h_{Ti})$ ); siendo  $\Delta h$ : la disminución, conseguida a través del chapado por laminación y de la laminación en frío, de la suma de los espesores de la(s) lámina(s) de Al y del producto aplanado de titanio,  $h_{AlSi}$ : el/los espesor(es) de la(s) lámina(s) de Al antes de la laminación en frío, y  $h_{Ti}$ : el espesor del producto aplanado de titanio antes del chapado por laminación.

En el caso del mantenimiento de estos grados de conformación total se consigue una fijación adosada buena y duraderamente firme de la(s) lámina(s) de Al al sustrato de titanio. Este efecto se puede garantizar de un modo especialmente seguro mediante el recurso de que el grado de conformación conseguido en el marco del chapado por laminación y de la laminación en frío se sitúe en la región de 40 - 80 %. Mediante estas condiciones de conformación, en el sustrato de Ti cubierto con la capa de Al se forma de una manera especialmente ventajosa la microestructura favorable para el recocido con ablandamiento y la conformación subsiguientes.

El espesor de la lámina de Al aplicada sobre el producto aplanado de titanio y las condiciones de conformación se escogen, en el caso del procedimiento conforme al invento, de tal manera que el espesor de la capa superpuesta después de la laminación en frío no sobrepase los 90  $\mu m$ , en particular los 70  $\mu m$ . Mediante el mantenimiento de este espesor de capa se garantiza que la chapa de Ti producida conforme al invento y las piezas constructivas conformadas a partir de ésta se puedan soldar bien a pesar de la capa superpuesta de Al. Conforme al invento, el espesor de partida de la lámina de Al se situará en el intervalo de 0,03 - 0,3 mm, mientras que los espesores de partida del producto aplanado de titanio son de 1,0 - 8,0 mm.

El material del cuerpo compuesto obtenido después del chapado por laminación y de la laminación en frío es recocido con ablandamiento, con el fin de descomponer las tensiones resultantes en el material en el marco de la precedente conformación en frío y de producir una estructura recristalizada que es óptima para la subsiguiente deformación. Las condiciones de recocido se escogen en este caso de tal manera que el espesor de la región de transición, formada entre el sustrato de Ti y la capa de Al aplicada en cada caso sobre ésta, en la que se forman unas fases intermetálicas, sea restringido a como máximo 30  $\mu m$ , en particular a como máximo 16  $\mu m$ . Unos ensayos prácticos han mostrado que hasta llegar a este espesor se garantiza de un modo seguro que después del recocido con ablandamiento no se llegue a ningún desprendimiento del revestimiento de Al, ni siquiera en el caso de unas fuertes deformaciones del cuerpo compuesto de Ti y Al formado conforme al invento.

En lo que respecta a la formación pretendida de una capa intermedia que sea delgada y que, a pesar de todo, sea eficaz en lo que respecta a la fijación adosada de la capa de cubrimiento de Al, se ha manifestado como favorable que las temperaturas de recocido sean escogidas bajas. Así, por ejemplo, se pueden conseguir de un modo especialmente seguro unos espesores de capas intermedias de hasta como máximo 16  $\mu m$ , cuando la temperatura de recocido del recocido con paso continuo o en campana sea restringida a como máximo 630 °C.

La formación de una interfase excesivamente gruesa se evita, conforme al invento, en particular también mediante el recurso de que como material de trabajo para el revestimiento con Al no se utiliza un aluminio puro sino una aleación de Al aleada en bajo grado. En el caso de ésta se trata de manera preferida de una aleación de AlSi, que puede tener, por ejemplo, la siguiente composición (en % en masa): Si: 0,1 - 1,6 %, Fe: 0,1 - 0,8 %, Zn: < 0,2 %, Be: < 0,02 %, Mn: < 0,2 %, Cu: < 0,2 %, Cr: < 0,2 %, Ti: < 0,2 %, Mg: < 0,1 %, siendo el resto Al y unas impurezas inevitables. En unos ensayos prácticos, como un material de trabajo para el revestimiento se han acreditado unas láminas de Al, que han sido producidas a partir de una aleación de AlSi0,8. La presencia de Si como el elemento de aleación principal en estas aleaciones da lugar a una formación decelerada de una capa intermetálica al realizar el recocido. Además, por medio del contenido de Si se mejoran la resistencia mecánica y el alargamiento de rotura del aluminio así como se aumenta en total la estabilidad frente a la corrosión del producto aplanado de titanio chapado por laminación y laminado en frío.

Como consecuencia del recocido con ablandamiento llevado a cabo conforme al invento después del chapado por laminación y de la laminación en frío, los productos aplanados de titanio elaborados conforme al invento ya no tienen que componerse de un titanio muy puro, sino que pueden ser producidos a base de unos materiales de titanio convencionales, aleados en un grado bajo o alto.

Unas aleaciones de Ti aleadas en un grado bajo, adecuadas para esta finalidad, son las aleaciones de Ti aleadas en grado bajo, conocidas a partir de la norma DIN 17 851, que contienen (datos en % en masa) hasta 0,05 % de N, hasta 0,1 % de C, hasta 0,015 % de H, hasta 0,3 % de Fe, hasta 0,25 % de O, hasta 0,1 % de Al, así como 0,05 - 0,5 % de Si ó 0,10 - 0,3 % Pd, en cada caso individualmente, o 0,5 - 1,0 % de Ni y 0,1 - 0,5 % de Mo, en común,

siendo el resto Ti y unas impurezas inevitables, pudiendo ser la proporción de los elementos asociados a las impurezas individualmente de hasta 0,1 % y la suma de las impurezas de hasta 0,4 %. Unas aleaciones de Ti aleadas en grado bajo, compuestas de un modo correspondiente, se indican a modo de ejemplo en la Tabla A.

5 En particular, en el caso del modo de proceder conforme al invento, a partir de las composiciones de Ti aleadas con silicio TiSi0,3 se pueden fabricar unas piezas constructivas, que se adecuan en particular para el empleo a unas temperaturas de funcionamiento de 600 - 900 °C. Los contenidos de las aleaciones de los mencionados materiales de Ti aleados en grado bajo se pueden ajustar en este caso sin problemas, de tal manera que se establezca una relación óptima entre la estabilidad frente a altas temperaturas y la conformabilidad del material de Ti.

10 Para unos empleos a unas temperaturas de funcionamiento todavía más altas, en particular situadas en el intervalo de 900 - 1.000°C, se adecuan unos substratos de Ti, que son producidos a partir de unas aleaciones de Ti aleadas en un grado todavía más alto. De acuerdo con la norma DIN 17 851, tales aleaciones de Ti (en % en masa) pueden tener la siguiente composición (en % en masa): Al: 2,3 - 7,8 %, así como facultativamente por lo menos uno o varios elementos escogidos entre el conjunto formado por V, Sn, Zr, Mo, Cu, Si, Fe, O, N, C y H, siendo válido para sus contenidos que V: ≤ 6,9 %, Sn: ≤ 3,5 %, Zr: ≤ 6,9 %, Mo: ≤ 5,8 %, Cu: ≤ 1,2 %, Si: ≤ 0,8 %, Fe: ≤ 3,5 %, O: ≤ 0,3 % N: ≤ 0,06 %, C: ≤ 0,09 %, H: ≤ 0,02 %, siendo el resto Ti y unas inevitables impurezas, pudiendo ser la proporción de los elementos asociados con las impurezas individualmente de hasta 0,1 %, y la suma de las impurezas de hasta 0,4 %. Unas aleaciones aleadas en grado alto, compuestas de un modo adecuado, se han indicado asimismo en la norma DIN 17 851 y se recopilan a modo de ejemplo en la Tabla B.

25 El recocido con ablandamiento que se lleva a cabo conforme al invento después de la laminación en frío, se puede efectuar en paso continuo o de manera escalonada en un horno de recocido de campana. En este contexto, se ha puesto de manifiesto que en el caso del recocido en campana se pueden ajustar unos resultados del trabajo especialmente buenos, cuando el producto aplanado de Ti, cubierto de un modo conforme al invento con la capa de Al, es introducido en forma de una bobina abierta (en inglés "Open-Coil") en el horno de campana. En el caso de una bobina abierta, los arrollamientos individuales de la bobina están situados con una distancia entre ellos, de tal manera que el gas que circula a través del horno de campana atraviese también los intersticios presentes entre los arrollamientos y se alcance rápidamente una distribución uniforme de las temperaturas a lo largo de la sección transversal de la bobina.

35 Después del recocido con ablandamiento, el producto aplanado de titanio cubierto con la capa de Al es conformado conforme al invento para dar la respectiva pieza constructiva. Puesto que la conformabilidad de los substratos de Ti disminuye con un grado de aleación creciente, es ventajoso, en particular en el caso de la elaboración de unos productos aplanados de Ti aleados en alto grado como material de núcleo, llevar a cabo la conformación de los substratos de Ti revestidos conforme al invento con una capa de Al en una disposición calentada de conformación.

40 A continuación, de un modo en sí conocido, se lleva a cabo el tratamiento térmico, en cuyo caso se forma la capa que se compone de unas fases intermetálicas junto a la superficie de la pieza constructiva, por medio de la cual la pieza constructiva es protegida duraderamente contra una oxidación excesiva en el empleo práctico. Este tratamiento térmico se puede llevar a cabo, tal como en sí ya es asimismo conocido, en una fase separada de trabajo, o en el empleo práctico se puede efectuar de tal manera que la pieza constructiva sea sometida a unas temperaturas de empleo en cada caso suficientemente altas.

45 A continuación, el invento se ilustra más detalladamente con ayuda de unos Ejemplos de realización.

La Figura 1 muestra esquemáticamente una instalación de fabricación 1 para la producción de una pieza constructiva 2 a partir de una banda de Ti 3 revestida por ambos lados con una capa de AlSi.

50 La instalación de fabricación 1 abarca a este efecto una disposición de desdevanado 4, que desenrolla la banda de Ti 3 y la alimenta a una disposición de chapado por laminación 5. En la disposición de chapado por laminación 5, por el lado superior y por el lado inferior de la banda de Ti 3 se aplica en cada caso una lámina de AlSi 6 (en el lado superior), y otra 7 (en el lado inferior) producidas a partir de una aleación de AlSi.

55 La banda de Ti 3 chapada por laminación de esta manera pasa a continuación a través de un bastidor de laminación en frío 9, dispuesto en línea (en inglés "inline") en la dirección de transporte 8 con respecto a la disposición de chapado por laminación 5, en el cual el cuerpo compuesto de materiales formado por las láminas de AlSi 6,7 y la banda de Ti 3 es reducido al espesor nominal exigido en cada caso. El grado de conformación conseguido en este caso es tan grande que se ajusta una microestructura de la banda de Ti 3, que, en combinación con el tratamiento térmico llevado a cabo a continuación, proporciona una conformabilidad óptima.

60 Después de la laminación en frío, la banda de Ti 3 es recocida en un horno de paso continuo, no mostrado aquí, o en el horno de recocido de campana 10 aquí esbozado. Si el recocido se lleva a cabo en el horno de recocido en campana 10, entonces la banda de Ti se enrolla a este fin sobre una adecuada disposición de arrollamiento, de

manera preferida en forma de una bobina abierta 11a con unos estratos de arrollamiento distanciados entre sí, con el fin de asegurar un calentamiento uniforme y una distribución uniforme de las temperaturas.

5 A partir de la banda de Ti 3 recocida se cortan entonces unas chapas de Ti 11 por medio de una cizalladora de piezas transversales 12.

Las chapas de Ti 11 obtenidas de esta manera son luego embutidas profundamente en una prensa 13 con una herramienta de conformación calentada en caso necesario para dar la respectiva pieza constructiva 2.

10 Finalmente, la pieza constructiva 2 obtenida de esta manera es tratada térmicamente una vez más en otro horno 14, con el fin de formar una capa de cubrimiento, que abarque unas fases intermetálicas, sobre la pieza constructiva 2.

15 Para la comprobación del efecto del invento se ha utilizado una banda de titanio B1, cuya aleación se indica en la Tabla 1, con un espesor de 1,6 mm, que ha sido producida a partir de un material de titanio W1 aleado en grado bajo. Para la comparación se ha elaborado una banda de titanio B2 que tiene asimismo un espesor de 1,6 mm, que había sido producida a partir de un titanio W2 muy puro. Los contenidos de impurezas del material de titanio W2 muy puro se indican asimismo en la Tabla 1.

	Al	C	Cr	Fe	H	N	Ni	O	Si	Sn
W1	0,019	0,008	0,014	0,23	0,0013	0,0004	0,010	0,0010	0,33	0,004
W2	0,003	0,005	0,011	0,025	0,0009	0,0003	0,015	0,0014	<0,002	<0,002

20 siendo el resto Ti y unas impurezas inevitables, datos en % en masa

Tabla 1

25 Las bandas de titanio B1 y B2 compuestas de esta manera son chapadas por laminación por ambos lados con unas láminas de AlSi0,8 que tienen unos espesores de 0,11 mm o respectivamente de 0,08 mm, cuya composición se indica en la Tabla 2.

Si	Mn	Cu	Cr	Ti	Zn	Fe	Mg
0,8	<0,03	<0,05	<0,03	0,01	0,01	0,26	0,01

siendo el resto Al y unas impurezas inevitables, datos en % en masa

30 Tabla 2

A partir de la banda de titanio B1 correspondientemente chapada por laminación con las láminas de AlSi0,8 se ha cortado una muestra PE1 conforme al invento, que a continuación ha sido laminada en frío. Adicionalmente, a partir de la banda de titanio B1 chapada por laminación se ha cortado una primera muestra comparativa PV1, que sin embargo, después del chapado por laminación, al contrario que la muestra PE1, ya no ha sido laminada en frío.

40 A partir de la banda de titanio B2 revestida con las láminas de AlSi0,8, después del chapado por laminación se han cortado dos muestras comparativas PV2 y PV3. Mientras que la muestra comparativa PV2, después del chapado por laminación, ya no ha sido laminada en frío, la muestra comparativa PV3 ha sido laminada en frío adicionalmente igual a como la muestra PE1 conforme al invento, con el fin de conseguir unas propiedades optimizadas en comparación con la muestra PV2. Los parámetros mantenidos en el caso del chapado por laminación y de la laminación en frío se indican en la Tabla 3.

Muestra	Espesor de la banda de Ti [mm]	Espesor de la lámina de AlSi0,8 [mm]	Laminación en frío	Conformación total [%]	Espesor final [mm]
PE1	1,6	0,08	SÍ	60	0,7
PV1	1,6	0,08	NO	32	1,2
PV2	1,6	0,11	NO	34	1,2
PV3	1,6	0,08	SÍ	72	0,5

45 Tabla 3

En la Tabla 4, para la muestra PE1 conforme al invento y para las muestras comparativas PV1, PV2 y PV3 se indican el límite de alargamiento  $R_{p0,2}$ , la resistencia a la tracción  $R_m$  y el alargamiento de rotura  $A_{80}$ .

Muestra	Límite de alargamiento $R_{p0,2}$ [MPa]	Resistencia a la tracción $R_m$ [MPa]	Alargamiento de rotura $A_{80}$ [%]
PE1	706	840	6,4
PV1	631	747	7,7
PV2	479	518	8,3
PV3	576	717	6,2

Tabla 4

5 Se pone de manifiesto que la muestra PE1 conforme al invento posee unos valores de resistencia mecánica más altos que las muestras comparativas PV1, PV2 y PV3. Simultáneamente, la muestra PE1 conforme al invento tiene, sin embargo, unos valores de alargamiento de rotura más bajos que los de las muestras comparativas PV1 y PV2. Estos valores de resistencia mecánica, mejores en comparación con los de las muestras comparativas PV1 y PV2, solamente chapadas por laminación, pero no laminadas en frío, y los más pequeños valores del alargamiento de rotura de la muestra PE1 conforme al invento y de la muestra comparativa PV3, se explican a partir de los más altos  
10 grados de conformación, que han sido conseguidos en los casos de las muestras PE1 y PV3 como consecuencia de los procesos combinados de chapado por laminación y de laminación en frío.

15 A partir de unos recortes de chapa, cortados a partir de las muestras comparativas PV2 y PV3, cuyo substrato de Ti ha sido producido a partir del material de titanio muy puro W2, ya en el estado duro laminado se pudieron embutir profundamente unos pocillos, mientras que esto no era posible en los casos de la muestra PE1 conforme al invento y de la muestra comparativa PV1, cuyo substrato de Ti había sido producido en cada caso a partir del convencional material de Ti W1, aleado en bajo grado.

20 Después del chapado por laminación y de la laminación en frío llevada a cabo adicionalmente en el caso de las muestras PE1 y PV3, unos recortes de chapa, cortados a partir de las muestras PE1, PV1, PV2 y PV3 han sido recocidos en el horno de recocido de campana a una temperatura de recocido de 550 °C, 600 °C y 620 °C en cada caso durante 16 h (las PV1, PV2 y PV3) y 9 h (la PE1). Otro ensayo de embutición profunda, llevado a cabo a continuación de esto, estableció el hecho de que a partir de la chapa obtenida a partir de la muestra comparativa PV1 seguían sin poderse embutir profundamente unos pocillos, mientras que esto era posible en los casos de las chapas cortadas a partir de la muestra PE1 conforme al invento y de las muestras comparativas PV2 y PV3.  
25

30 En otro ensayo de recocido, a diversas temperaturas de recocido y durante diversos períodos de tiempo de recocido, unos recortes de chapa cortados a partir de la muestra PE1 conforme al invento y de las muestras comparativas PV1, PV2 y PV3 se recoció con ablandamiento en el horno de recocido de campana.

35 A partir de las muestras recocidas se produjeron unas muestras pulidas, que se han reproducido en las Figs. 1a, 1b (muestra PE1, a 620 °C/9 h), la Figs. 2a, 2b (muestra PV1, a 630 °C/9 h), las Figs. 3a, 3b (muestra PV2, a 630 °C/4 h) y las Figs. 4a, 4b (muestra PV3, a 630 °C/4 h).

40 Las Figuras 1b, 2b, 3b y 4b muestran en cada caso una sección de detalle ampliada de las Figuras 1a, 2a, 3a y 4a. En las Figuras 1b, 2b, 3b y 4b se pueden reconocer claramente la capa de cubrimiento A de AISi0,8, la capa intermedia Z y el respectivo substrato de titanio T.

45 Por lo demás, las Figuras 1a, 2a, 3a y 4a muestran que las chapas obtenidas a partir de las muestras comparativas PV2 y PV3 (Figs. 3a y 4a), en comparación con las chapas obtenidas a partir de la muestra PE1 conforme al invento (Fig. 1a), tenían un manifiesto engrosamiento de los granos en la región del substrato de titanio T producido a partir del material de titanio muy puro W1 (con un diámetro de granos parcialmente mayor que 100 µm). Esto era válido en particular para la chapa obtenida a partir de la muestra PV2, que había sido conformada en el marco del chapado por laminación sin ninguna subsiguiente laminación en frío con un grado de conformación de sólo 34 %.

50 En comparación con la chapa obtenida a partir de la muestra comparativa PV1 (Fig. 2a), la chapa obtenida a partir de la muestra PE1 conforme al invento (Fig. 1a), después del recocido con ablandamiento necesario para la ulterior conformación por embutición profunda, pone de manifiesto una más fina estructura de granos en el substrato de Ti T y un espesor disminuido de la capa intermedia Z. Esto demuestra que mediante una disminución de las temperaturas de recocido se puede controlar directamente el espesor de la capa intermedia. Así, a una temperatura de recocido de menos que 630 °C se pueden producir, de un modo seguro en funcionamiento, unos espesores de la capa intermedia de menos que 16 µm, que dan lugar a un comportamiento de conformación mejorado aún más. Con el fin de mantener el límite crítico, en lo que respecta a la formación de una capa intermedia indeseadamente gruesa, de 630°C al realizar el recocido, en la práctica se debería de trabajar por lo tanto a una temperatura de recocido que esté situada en una magnitud suficientemente grande por debajo de 630 °C también tomando en  
55 consideración la exactitud de la regulación.

Con unas chapas obtenidas a partir de las muestras PE1 y PV1 se han llevado a cabo unos ensayos de embutición profunda. Éstos establecieron que a partir de las chapas obtenidas a partir de las muestras PE1 y PV1, después del recocido con ablandamiento, se pudieron conformar sin problemas unos pocillos así como unas piezas constructivas conformadas de una manera más compleja para una instalación de gases de escape. No se presentó ningún desprendimiento de la capa superpuesta A.

Para las chapas obtenidas a partir de las muestras PV2 y PV3 comparativas, los ensayos de embutición profunda establecieron, por el contrario, que la temperatura de recocido de 630 °C era demasiado alta, a pesar de los abreviados períodos de tiempo de recocido. La gruesa capa intermedia Z de hasta 17 µm en el caso de la chapa cortada a partir de la muestra comparativa PV2, dio lugar a un desprendimiento manifiestamente reconocible de la capa superpuesta junto al pocillo embutido profundamente.

En el caso de la chapa cortada a partir de la muestra comparativa PV3 no apareció este problema. Sin embargo, a causa de la más delgada capa superpuesta de Al, la superficie del pocillo ha sido aluminizada totalmente a lo largo de determinadas zonas, lo que causaba un color oscuro de la capa superpuesta A.

Se han representado, en la Fig. 1c el pocillo producido a partir de la muestra PE1 conforme al invento, en la Fig. 2c el pocillo producido a partir de la muestra comparativa PV1, en la Fig. 3c el pocillo producido a partir de la muestra comparativa PV2 y en la Fig. 4c el pocillo producido a partir de la muestra comparativa PV3. Por medio de la flecha registrada en la Fig. 3c se hace mención al desprendimiento en el caso del pocillo producido a partir de la muestra PV2.

Con el fin de evaluar la estabilidad a altas temperaturas de las muestras PE1 y PV1, PV2 y PV3, se llevaron a cabo unos ensayos adicionales a 900 °C después de 100 h en todas las chapas obtenidas a partir de estas muestras y recocidas con ablandamiento. La estabilidad a altas temperaturas, el tamaño de los granos, el espesor máximo de la capa intermedia así como los resultados de la embutición profunda de las chapas obtenidas a partir de las muestras PE1, PV1, PV2 y PV3, se recopilan en la Tabla 5 para el respectivo estado de recocido.

Muestra	Temperatura de recocido con ablandamiento [°C]	Período de tiempo de recocido [h]	Tamaño de granos en el sustrato de Ti (ASTM)	Espesor de la capa intermedia [µm]	Resultado de la embutición profunda	Estabilidad a altas temperaturas (900 °C/100 h)	Seguridad en la fabricación
PE1	620	9	10	como máx. 12	bueno	bueno	bueno
PV1	620	16	9-10	como máx. ~12	fisura	-	-
PV1	630	9	9	como máx. 16	bueno	bueno	crítica
PV2	620	16	5	como máx. ~14	bueno	mala	-
PV2	630	4	2	como máx. ~17	Desprendimiento	mala	-
PV3	620	16	6-7	como máx. ~13	bueno	mala	-
PV3	630	4	4	como máx. ~17	oscuro	mala	-

Tabla 5

En comparación con las muestras PV2, PV3 con el sustrato de Ti a base del material de titanio muy puro W2, la muestra PE1 con el sustrato de Ti a base del material de titanio W1 aleado en bajo grado, pone de manifiesto una estructura de granos manifiestamente más fina y unas mejoradas estabilidades a altas temperaturas.

Otra optimización de las propiedades se consiguió mediante la adicional laminación en frío en el caso de las muestras PE1 y PV3, puesto que de esta manera se había producido una estructura más favorable para la recristalización. Esto da lugar a una recristalización a una temperatura más baja (para PE1) y por lo tanto a la formación de una capa intermedia intermetálica comparativamente delgada en el caso del recocido con ablandamiento. Ésta permite un proceso seguro de fabricación, cuando aparece una desviación inevitable en los parámetros de recocido. Cuanto más baja sea la temperatura de recristalización, tanto más delgada será la capa intermedia intermetálica después del recocido con ablandamiento. Por lo tanto, el Ejemplo de realización PE1 se puede realizar con una más alta seguridad en la fabricación que, por ejemplo, el Ejemplo comparativo PV1.

Además, como consecuencia de la adicional laminación en frío después del recocido con ablandamiento, se ajusta un mejor comportamiento de conformación en el caso de la conformación de las piezas constructivas. Esto es muy importante en particular para unas aleaciones de titanio aleadas en unos grados bajo y más alto, puesto que ellas, debido a la estructura del retículo atómico, tienen fundamentalmente una limitada conformabilidad a la temperatura ambiente.



ES 2 436 415 T3

Material	Fe	O	N	C	H	Pd	Ni	Mo	Si
TiNi0,8Mo0,3	0	0	0	0	0	-	0,6	0,2	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,25	0,25	0,03	0,06	0,013		0,9	0,4	
Ti1Pd	0	0	0	0	0	0,15	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,15	0,12	0,05	0,06	0,013	0,25			
Ti2Pd	0	0	0	0	0	0,15	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,2	0,18	0,05	0,06	0,013	0,25			
Ti3Pd	0	0	0	0	0	0,15	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,25	0,25	0,05	0,06	0,013	0,25			
TiSi0,3	0	0	0	0	0	-	-	-	0,05
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,3	0,25	0,05	0,1	0,015				0,5

siendo el resto Ti,  
los demás componentes individualmente hasta 0,1 % y en común hasta 0,4 %

5

Tabla A

Material	Al	V	Sn	Zr	Mo	Cu	Si	Fe	O	N	C	H
3.7145	5,5	-	1,8	3,6	1,8	-	0,06		≤	≤	≤	≤
	-	-	-	-	-	-	-	≤	0,15	0,05	0,05	0,015
	6,5		2,2	4,4	2,2		0,12	0,25				
3.7175	5,0	5,0	1,5	-	-	0,35	-	0,35	≤	≤	≤	≤
	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,04	0,05	0,015
	6,0	6,0	2,5			1,0		1,0				
3.7165	5,5	3,5	-	-	-	-	-	≤	≤	≤	≤	≤
	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,05	0,08	0,015	
	6,75	4,5						0,3				
3.7155	5,7	-	-	4,0	0,25	-	0,1	≤	≤	≤	≤	≤
	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,05	0,08	0,015	
	6,3			6,0	0,75		0,4	0,2				
3.7110	4,5	-	-	-	-	-	-	2,0	≤	≤	≤	≤
	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,05	0,08	0,015
	5,5							3,0				
3.7115	4,5	-	2,0	-	-	-	-	≤	≤	≤	≤	≤
	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,05	0,08	0,020	
	5,5		3,0					0,5				
3.7185	3,0	-	1,5	-	3,0	-	0,3	≤	≤	≤	≤	≤
	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,05	0,08	0,015	
	5,0		2,5		5,0		0,7	0,2				
3.7195	2,5	2,0	-	-	-	-	-	≤	≤	≤	≤	≤
	-	-	-	-	-	-	-	0,12	0,04	0,05	0,015	
	3,5	3,0						0,3				

siendo el resto Ti,  
los demás componentes individualmente hasta 0,1 % y en común hasta 0,4 %

10

Tabla B

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para la producción de una pieza constructiva (2) para usos a altas temperaturas, a partir de un producto aplanado de titanio (3) producido a partir de una aleación de titanio, tal como una chapa o banda de titanio (3) producida a partir de una aleación de titanio, caracterizado por las siguientes etapas de trabajo y condiciones:

5 a) aplicación de una capa de Al (6,7) sobre por lo menos un lado del producto aplanado de titanio mediante chapado por laminación del producto aplanado de titanio (3) con una lámina de Al (6,7), que ha sido producida a partir de una aleación de Al,

10 b) laminación en frío del producto aplanado de titanio (3), cubierto con la capa de Al (6,7),

c) estando situados el espesor de partida de la lámina de Al (6,7) en el intervalo de 0,03-0,3 mm, y el espesor de partida del producto aplanado de titanio (3) en el intervalo de 1,0-8,0 mm, y siendo escogido el grado de conformación de 30-90 % conseguido en el marco del chapado por laminación y de la laminación en frío, referido al espesor total del producto aplanado de titanio (3) y de la lámina de Al (6,7), y siendo escogidos el espesor de la lámina de Al (6,7), tomando en consideración el grado total de conformación y el espesor nominal del producto aplanado de titanio (3) cubierto con la lámina de Al (6,7), de tal manera que el espesor de la capa de Al (6,7), presente en cada caso sobre el producto aplanado de titanio (3) después del chapado por laminación y de la laminación en frío, no sobrepase los 90  $\mu$ m, en particular los 70  $\mu$ m,

15 d) recocido con ablandamiento del producto aplanado de titanio (3) cubierto con la capa de Al (6,7) en el horno de paso continuo (10) a unas temperaturas de recocido de 600-750 °C durante un período de tiempo de 0,1-10 min, o en el horno de campana a unas temperaturas de recocido de 550-650 °C durante un período de tiempo de 1-30 h,

20 e) conformación del producto aplanado de titanio cubierto con la capa de Al (6,7), recocido con ablandamiento, para formar la pieza constructiva (2)

f) tratamiento térmico de la pieza constructiva conformada a partir del producto aplanado de titanio (3) cubierto con la capa de Al (6,7) para la constitución de una capa de cubrimiento, que abarca unas fases intermetálicas, sobre la

25 pieza constructiva (2).

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el producto aplanado de titanio (3) se ha producido a partir de una aleación de Ti, que tiene la siguiente composición (en % en masa):

30 N:  $\leq 0,05$  %,  
 C:  $\leq 0,1$  %,  
 H:  $\leq 0,015$  %,  
 Fe:  $\leq 0,3$  %,  
 O:  $\leq 0,25$  %  
 Al:  $\leq 0,1$  %,
   
 35 así como  
 0,05 - 0,5 % de Si ó 0,10 - 0,3 % de Pd en cada caso individualmente o  
 0,5 - 1,0 % de Ni y 0,1 - 0,3 % de Mo en común,  
 siendo el resto Ti y unas impurezas inevitables, pudiendo ser las proporciones de los elementos asociados con las impurezas inevitables individualmente hasta de 0,1 % y la suma de las impurezas de hasta 0,4 %.

40

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el producto aplanado de titanio (3) se ha producido a partir de una aleación de Ti, que tiene la siguiente composición (en % en masa):

45 Al: 2,3 - 7,8 %,
   
 así como facultativamente por lo menos uno o varios elementos escogidos entre el conjunto formado por V, Sn, Zr, Mo, Cu, Si, Fe, O, N, C, H, siendo válido para sus contenidos que

50 V:  $\leq 6,9$  %,  
 Sn:  $\leq 3,5$  %,  
 Zr:  $\leq 6,9$  %,  
 Mo:  $\leq 5,8$  %,  
 Cu:  $\leq 1,2$  %,
   
 Si:  $\leq 0,8$  %,  
 Fe:  $\leq 3,5$  %,
   
 O:  $\leq 0,3$  %,
   
 55 N:  $\leq 0,06$  %,
   
 C:  $\leq 0,09$  %,
   
 H:  $\leq 0,02$  %,
   
 siendo el resto Ti y unas impurezas inevitables, pudiendo ser las proporciones de los elementos asociados con las impurezas inevitables individualmente hasta de 0,1 % y la suma de las impurezas de hasta 0,4 %.

60 4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el producto aplanado de titanio (3) se ha producido a partir de una aleación de Ti, que tiene la siguiente composición (en % en masa):

Fe:  $\leq 0,15 - 0,35$  %,
   
 O:  $\leq 0,38$  %,
   
 N:  $\leq 0,06$  %,

## ES 2 436 415 T3

C:  $\leq 0,08 \%$ ,  
H:  $\leq 0,015 \%$ ,

siendo el resto Ti y unas impurezas inevitables, pudiendo ser las proporciones de los elementos asociados con las impurezas inevitables individualmente hasta de 0,1 % y la suma de las impurezas de hasta 0,4 %.

- 5
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la lámina de Al (6,7) que forma la capa de Al, se ha producido a partir de una aleación de AlSi, en particular de una aleación de AlSi0,8.
- 10
6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el grado de conformación referido al espesor total del producto aplanado de titanio (3) y a la lámina de aluminio (6,7), conseguido en el marco del chapado por laminación, es de 40 - 80 %.
- 15
7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el producto aplanado de titanio (3) es cubierto por ambos lados con una capa de Al (6,7)
- 20
8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el recocido con ablandamiento se lleva a cabo en un horno de campana (10) y el producto aplanado de titanio (3), cubierto con la capa de Al (6,7), es introducido en el horno de campana (10) en forma de una bobina abierta (en inglés "Open coil") (11a).

Fig. 1

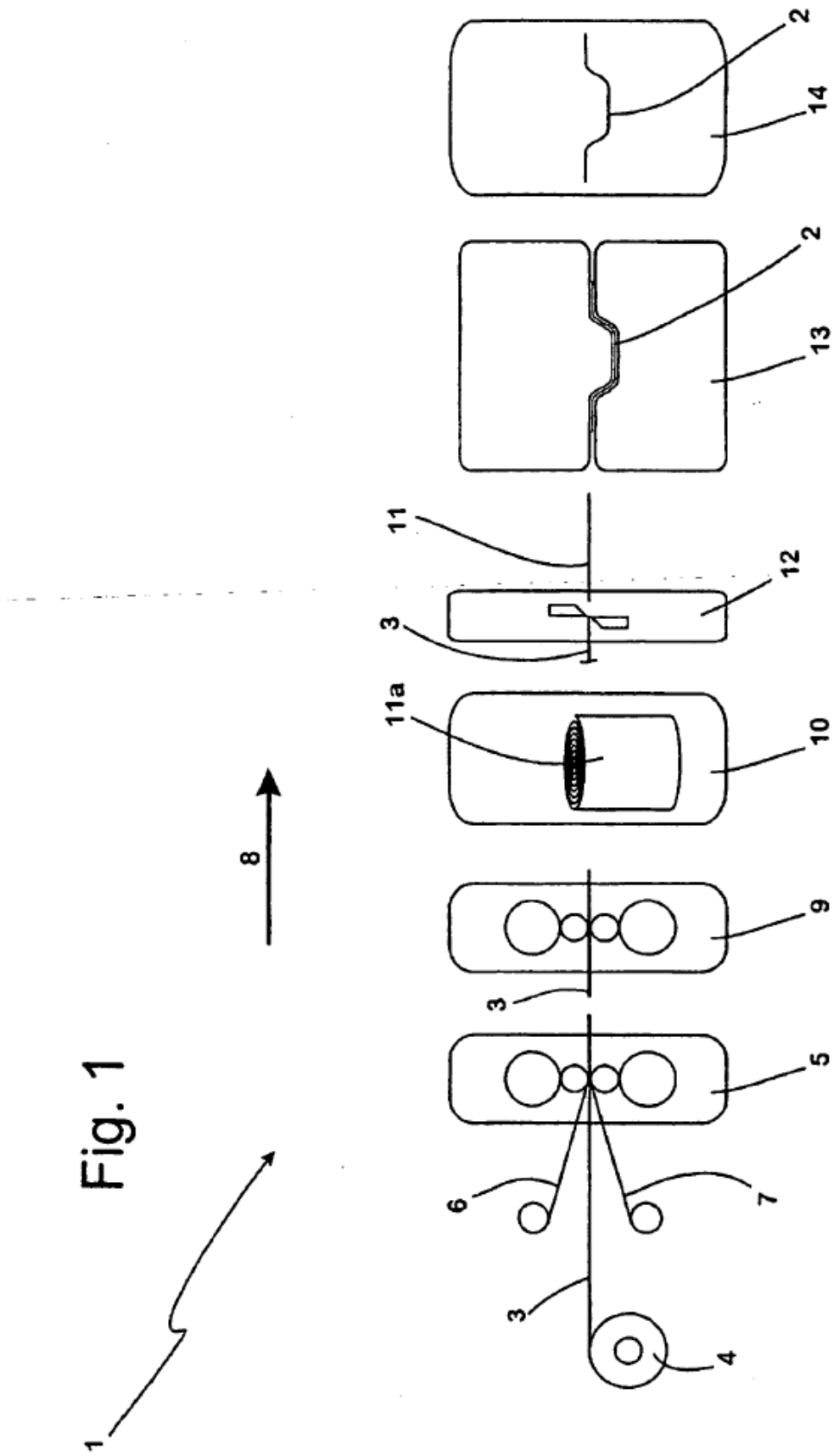




Fig. 4a

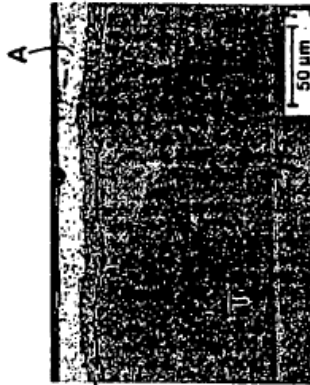


Fig. 4b



Fig. 4c



Fig. 3a



Fig. 3b

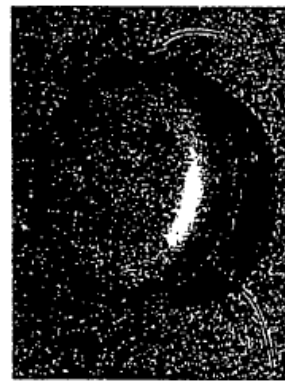


Fig. 3c

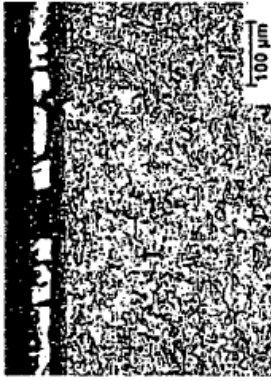


Fig. 2a



Fig. 2b

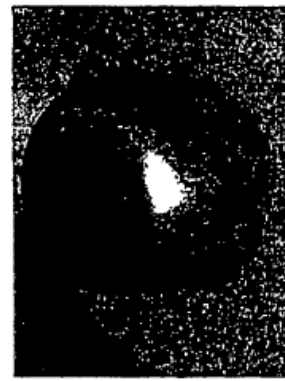


Fig. 2c

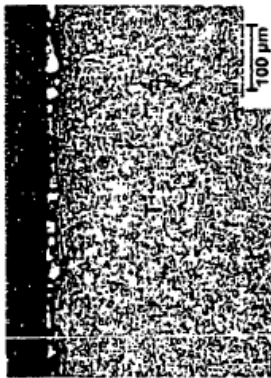


Fig. 1a

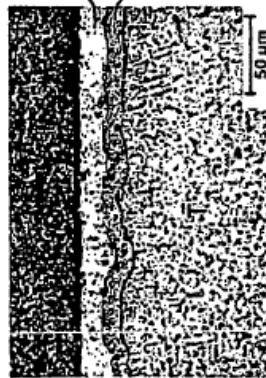


Fig. 1b



Fig. 1c