

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 406 904**

51 Int. Cl.:

**C22C 14/00** (2006.01)

**C22B 9/16** (2006.01)

**C22B 9/20** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.09.2010 E 10765988 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2013 EP 2342365**

54 Título: **Procedimiento para la producción de una aleación de base de beta-gamma-TiAl**

30 Prioridad:

**24.10.2009 DE 102009050603**

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

**10.06.2013**

73 Titular/es:

**GFE METALLE UND MATERIALIEN GMBH  
(50.0%)  
Hofener Strasse 45  
90431 Nuremberg, DE y  
TITAL GMBH (50.0%)**

72 Inventor/es:

**ACHTERMANN, MATTHIAS;  
FÜRWITT, WILLY;  
GÜTHER, VOLKER y  
NICOLAI, HANS-PETER**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 406 904 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 aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl

La invención se refiere a un principio para la producción de aleaciones de base de  $\gamma$ -TiAl por medio de fusión con arco eléctrico a vacío (VAR), que solidifican completamente o al menos parcialmente en primer lugar a través de la fase  $\beta$ . Las aleaciones objetivo de este tipo se denominarán en lo sucesivo aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl.

El campo técnico de la presente invención es la producción pirometalúrgica de aleaciones de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl por medio de fusión con arco eléctrico a vacío (VAR). A este respecto, inicialmente se prensan, partiendo de las materias primas esponja de titanio, aluminio así como elementos de aleación y aleaciones madre, cuerpos compactos en los que los componentes de aleación deseados se encuentran en forma estequiométricamente adecuada. Opcionalmente, en este caso, mediante la fusión posterior se mantienen las pérdidas de vapor de escape provocadas. Los cuerpos prensados se funden o bien directamente por medio de fusión por plasma para dar los denominados lingotes (PAM) o se montan para dar electrodos consumibles y se funden dando lingotes (VAR). En ambos casos se generan materiales cuya homogeneidad química y estructural es inadecuada para un uso técnico y que, por consiguiente, deben volver a fundirse al menos una vez más (véase V. Guether: "Microstructure and Defects in  $\gamma$ -TiAl based Vacuum Arc Remelted Ingot Materials", 3rd Int. Symp. on Structural Intermetallics, septiembre de 2001, Jackson Hole WY, EE.UU.).

Por el documento DE 101 56 336 A1 se conoce un principio para la producción de lingotes de aleación que presenta las siguientes etapas:

- (i) producir electrodos mediante mezclado y compresión de los materiales de partida seleccionados,
- (ii) fundir de nuevo al menos una vez los electrodos obtenidos en la etapa (i) mediante un procedimiento pirometalúrgico habitual,
- (iii) fundir de manera inductiva los electrodos obtenidos en la etapa (i) o (ii) en una bobina de alta frecuencia,
- (iv) homogeneizar la masa fundida obtenida en la etapa (iii) en un crisol de inducción de pared fría y
- (v) extraer la masa fundida con enfriamiento del crisol de inducción de pared fría de la etapa (iv) en forma de bloques con diámetro libremente ajustable.

El documento DE 195 81 384 T1 describe compuestos de TiAl intermetálicos y procedimiento para su producción, produciéndose la aleación mediante tratamiento térmico con una concentración de Ti del 42 al 48 % de átomos, una concentración de Al del 44 al 47 % de átomos, una concentración de Nb del 6 al 10 % de átomos y una concentración de Cr del 1 al 3 % de átomos a una temperatura en el intervalo de 1.300 a 1.400 °C.

El documento DE 196 31 583 A1 da a conocer un principio para la producción de un producto de TiAl-Nb a partir de una aleación, en el que en primer lugar se produce un electrodo de aleación a partir de los componentes de aleación. La formación del electrodo de aleación se realiza mediante compresión y/o sinterización de los componentes de aleación para dar el electrodo. Por último se funde mediante una bobina de inducción.

Por el documento JP 02277736 A se conoce una aleación de base de TiAl resistente al calor, en la que para mejorar la resistencia térmica y la ductilidad se introducen cantidades específicas de V y Cr en un compuesto de Ti-Al intermetálico.

Por último, el documento DE 1 179 006 A da a conocer aleaciones de titanio-aluminio terciarias o superiores con elementos tales que estabilizan la fase  $\alpha$  y  $\beta$  del titanio.

Un procedimiento habitual para la refusión es la fusión con arco eléctrico a vacío con electrodo consumible, ya que las instalaciones para la fusión por plasma por lo general no están diseñadas para el suministro de lingotes compactos como material de partida. En el caso de aleaciones de base de  $\gamma$ -TiAl convencionales, construidas en dos fases en forma de colonias laminares de la fase  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al y la fase  $\gamma$ -TiAl, la refusión se produce en el horno de fusión de arco eléctrico de vacío (horno de VAR) sin problema y lleva al resultado deseado (véase V. Guether: "Status and Prospects of  $\gamma$ -TiAl Ingot Production", Int. Symp. on Gamma Titanium Aluminides 2003, Hrsg. H. Clemens, Y.-W. Kim and A.H. Rosenberger, San Diego, TMS 2004).

Una nueva generación de materiales de alto rendimiento de  $\gamma$ -TiAl, por ejemplo las denominadas aleaciones TNM® de la solicitante, tiene una composición estructural diferente de las aleaciones de TiAl convencionales. En particular debido a la disminución del contenido de aluminio hasta habitualmente del 40 % en átomos al 45,5 % de átomos, pero también debido a la adición por aleación de elementos estabilizantes de  $\beta$  tales como por ejemplo Cr, Cu, Hf, Mn, Mo, Nb, V, Ta y Zr se ajusta una ruta de solidificación primaria a través de la fase  $\beta$  de Ti. De este modo se generan estructuras muy finas, que además de colonias  $\alpha_2/\gamma$  laminares contienen también granos  $\beta$  globulares y granos  $\gamma$  globulares, en ocasiones también granos  $\alpha_2$  globulares. Los materiales con estructuras de este tipo tienen ventajas decisivas en cuanto las propiedades termomecánicas y la procesabilidad mediante tecnologías de transformación (véase H. Clemens: "Design of Novel  $\beta$ -Solidifying TiAl Alloys with Adjustable  $\beta$ /B2-Phase Fraction and Excellent Hot-Workability", Advanced Engineering Materials 2008, 10, Nº 8, pág. 707-713). Las aleaciones de este tipo, tal como ya se concretó al principio, se denominan en lo sucesivo aleaciones de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl.

Es desventajoso que en el caso de la nueva refusión de electrodos a partir de este material en el horno de VAR se produzcan formaciones de grietas, cuyo resultado con frecuencia es el desprendimiento de componentes del electrodo de aleación consumible a partir de la zona de primera fusión. Estas partes desprendidas caen al baño de fusión y ya no vuelven a fundirse de nuevo completamente en el mismo. De este modo se generan defectos estructurales en el lingote, con lo que se hace inutilizable el material de lingote. La refusión en el horno de VAR deja de ser posible en estas circunstancias de manera técnicamente reproducible.

Se consideran causa del molesto comportamiento de desprendimiento transformaciones de fase sólida en el intervalo de temperatura entre la temperatura eutectoide y la temperatura de interfase para dar la región monofásica  $\beta$ . Mediante los diferentes coeficientes de dilatación lineal de los distintos componentes de fase se producen, en particular durante las transformaciones de fase, variaciones bruscas del coeficiente de dilatación térmica integral de la aleación y, como consecuencia de ello, tensiones internas que superan la resistencia del material en el intervalo de temperatura dado.

Mediciones de dilatómetro correspondientes en una aleación de TNM®-B1 (Ti - 43,5Al - 4,0Nb - 1,0Mo - 0,1B % en átomos) muestran que el coeficiente de dilatación lineal de una muestra de aleación correspondiente en el intervalo de temperatura entre 1.000 °C y 1.200 °C se multiplica por más de cuatro veces desde  $9 \times 10^{-6}$  hasta  $40 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Este comportamiento está representado en la figura 4 adjunta, en la que la curva A reproduce los coeficientes de dilatación lineal de esta aleación. La curva R representa la velocidad de calentamiento de la muestra.

Durante la fusión de VAR, con respecto a la longitud del electrodo consumible, se extiende un campo de temperatura desde la temperatura de fusión (aproximadamente 1570 °C) en el lado inferior del electrodo hasta casi temperatura ambiente en la suspensión de electrodo a través del material. Cerca del frente de fusión se alcanza el intervalo de temperatura crítico entre 1000 y 1200 °C. La ductilidad relativamente mala del material intermetálico lleva entonces, en esta zona, a que las tensiones que se forman en la misma se descarguen en forma de grietas, que llevan a su vez al desprendimiento descrito de pedazos refundidos a partir del electrodo.

Partiendo de esta problemática descrita del estado de la técnica, el objetivo de la invención se basa en indicar un principio para la producción de una aleación de base de  $\gamma$ -TiAl que solidifica a través de la fase  $\beta$ , en lo sucesivo denominada de forma abreviada aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl, que, evitando la problemática de la formación de grietas, lleva a una producción fiable de una aleación objetivo de este tipo.

Este objetivo se logra mediante las etapas de procedimiento indicadas en la reivindicación 1 tal como sigue:

- fundir un electrodo de fusión de base de una aleación primaria de  $\gamma$ -TiAl convencional con un contenido deficitario en titanio y/o en al menos un elemento estabilizante de  $\beta$  con respecto a la aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl a producir en al menos una primera etapa de refusión con arco eléctrico a vacío,
- asociar una cantidad de titanio y/o de elemento estabilizante de  $\beta$  correspondiente al contenido deficitario del titanio y/o del elemento estabilizante de  $\beta$  al electrodo de fusión de base en distribución uniforme a lo largo de su longitud y perímetro, y
- añadir por aleación la cantidad del titanio y/o del elemento estabilizante de  $\beta$  asociada al electrodo de fusión de base para la formación de la aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl homogénea en una última etapa de fusión con arco eléctrico a vacío.

Las etapas de refusión sucesivas de la fusión con arco eléctrico a vacío se dividen por lo tanto en la fusión de una aleación primaria en las primeras etapas de refusión, produciéndose un electrodo de fusión de base a partir de una aleación primaria de  $\gamma$ -TiAl convencional, y la fusión de la aleación objetivo en forma de la aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl deseada en la última etapa de refusión en cada caso. La aleación primaria tiene un déficit de titanio y/o un déficit de elementos estabilizantes de  $\beta$  tales como por ejemplo Nb, Mo, Cr, Mn, V y Ta. A este respecto, se le retira a la aleación durante la producción del electrodo de fusión de base prensado una cantidad definida de titanio y/o elementos estabilizantes de  $\beta$ , de modo que se ajusta un contenido de aluminio de la aleación primaria preferentemente entre el 45 % en átomos (de manera especialmente preferente el 45,5 % en átomos) y el 50 % en átomos. Los contenidos en aluminio y en elementos estabilizantes de  $\beta$  se seleccionan de modo que la vía de solidificación de la aleación primaria se realice al menos en parte a través de la transformación peritética. Con ello se ajusta una estructura de forma análoga a las aleaciones de TiAl convencionales, que puede procesarse sin problema en el horno de VAR.

En la última etapa de fusión se ajusta de nuevo la aleación objetivo mediante la adición de los materiales retirados originalmente del electrodo compactado. Preferentemente, estos materiales se sueldan como envoltura con la formación de un electrodo compuesto de manera fija sobre la superficie lateral del electrodo de fusión, para descartar de manera segura una caída en estado sólido al baño de fusión. También es posible realizar esto mediante una camisa superficial del porcentaje de aleación deficitario en el lado interior de la coquilla de refusión del horno de VAR.

Sorprendentemente se muestra que con la elección adecuada y la colocación adecuadamente distribuida de manera uniforme de los componentes de aleación deficitarios sobre la superficie lateral de electrodo, no resulta ninguna consecuencia negativa para la homogeneidad química local del lingote generado de la aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl

a producir como aleación objetivo.

Otras formas de realización preferidas del procedimiento de producción de acuerdo con la invención se indican en otras reivindicaciones dependientes, cuyas particularidades y características se desprenden a partir de la siguiente descripción de ejemplos de realización por medio de los dibujos adjuntos. Muestran:

- 5 la figura 1 un diagrama esquemático de un horno de fusión con arco eléctrico de vacío,
- la figura 2 una vista en perspectiva de un electrodo compuesto en una primera forma de realización,
- la figura 3 una vista en perspectiva de un electrodo compuesto en una segunda forma de realización y
- la figura 4 un diagrama del coeficiente de dilatación lineal en función de la temperatura de una aleación de TNM@B1.

10 Por medio de la figura 1 se explicará en principio un horno de fusión con arco eléctrico de vacío 1 y el procedimiento para la refusión de un electrodo 2 correspondiente para dar un lingote 3. Así, el horno de VAR 1 presenta un crisol de cobre 4 con una placa base 5. Alrededor de este crisol de cobre 4 está dispuesta una camisa de agua 6 con entrada de agua 7 y salida de agua 8. El crisol de cobre 4 está cerrado además por arriba por una campana de vacío 9 por la que puede atravesar de forma verticalmente desplazable en el lado superior una barra elevadora 10. En esta  
15 barra elevadora 10 reposa el soporte 11, en el que está suspendido el verdadero electrodo 2.

A través de un suministro de corriente continua 12 se aplica entre el crisol de cobre 4 y la barra elevadora 10 una tensión continua, debido a la que se inicia un arco eléctrico de alta corriente entre el electrodo 2 unido eléctricamente con la barra elevadora 10 y el crisol de cobre 4 y se mantiene. Ésta lleva a la fusión del electrodo 2, recogién dose el material de aleación fundido en el crisol de cobre 4 y solidificando en el mismo. En un proceso  
20 continuo, en el que entre el electrodo consumible 2 discurre a través de la separación del arco eléctrico de electrodo 13 del arco eléctrico al depósito fundido 14 en el lado superior del lingote 3, se vuelve a fundir el electrodo 2 sucesivamente para dar el lingote 3 con homogeneización de los componentes de aleación.

Este proceso puede repetirse varias veces con crisoles de fusión 4 de diámetro mayor en cada caso, convirtiéndose el lingote de una etapa de refusión en el electrodo de la siguiente etapa de refusión. Con ello se mejora el grado de  
25 homogeneización del lingote a producir con cada etapa de refusión.

A continuación se describen ahora distintos ejemplos de realización para la producción de una aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl:

### Ejemplo de realización 1

30 La composición objetivo de la aleación de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl es Ti - 43,5Al - 4,0Nb - 1,0Mo - 0,1B (% en átomos) o Ti - Al28,6 - Nb9,1 - Mo2,3 - B0,03 (m-%). La composición de la aleación primaria para el electrodo de fusión de base se establece mediante una reducción del contenido de titanio hasta Ti - 45,93Al - 4,22Nb - 1,06Mo - 0,11B (% en átomos). En primer lugar se produce de manera convencional a partir de un electrodo compactado 2, un lingote 3 de la aleación primaria con 200 mm de diámetro y una longitud de 1,4 m mediante fusión de VAR de dos veces tal como se describió anteriormente, sin que aparezca una problemática de grietas. Como materiales de uso para la  
35 producción del electrodo compactado 2 se usan espuma de titanio, aluminio puro y aleaciones madre.

Para elevar el contenido de titanio reducido en el electrodo de fusión de base hasta el valor deseado de la aleación de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl en la aleación objetivo, se enrolla toda la superficie lateral del lingote 3 a partir de la aleación primaria por una lámina de titanio puro 15 con un grosor de 3 mm (masa 12 kg) y se suelda parcialmente con la superficie lateral 16 del lingote 3, tal como está representado en la figura 2. A este respecto el borde superior 17 de la lámina de titanio 15 se suelda completamente a lo largo del perímetro del lingote 3 con el mismo. Así mismo se colocan de forma distribuida puntos de soldadura 18 a lo largo de la superficie lateral 16. El electrodo consumible así montado vuelve a fundirse como electrodo compuesto 19 en una última etapa de fusión en el horno de VAR 1 para dar un lingote 3 con un diámetro de 280 mm y la composición de la aleación objetivo.

### Ejemplo de realización 2

45 La composición objetivo, los materiales de uso usados y la composición de la aleación primaria corresponden al ejemplo de realización 1. A partir de la aleación primaria se produce mediante fusión de VAR simple de electrodos compactado 2 un lingote 3 con un diámetro de 140 mm y una longitud de 1,8 m. La masa del lingote asciende a 115 kg. En la coquilla formada por el crisol de cobre 4 del horno de VAR 1 se inserta antes de la última fusión del electrodo de fusión de base 2 una lámina de titanio puro con las dimensiones perímetro 628 mm x altura 880 mm x  
50 grosor 3 mm (masa 7,6 kg) en la superficie lateral interna. En suma, resulta por lo tanto a partir de la composición del lingote de aleación primaria que forma el electrodo de fusión de base 2 y la lámina de titanio, la composición objetivo. La refusión se realiza en el crisol de cobre 4 revestido con la lámina de titanio para dar un electrodo intermedio, de tal manera que la capa externa de la lámina de titanio no se funde completamente al mismo tiempo y permanece como camisa estable. Si bien en la última etapa de refusión de VAR siguiente del electrodo intermedio

pueden producirse formaciones de grietas, éstas en cambio, debido a la estabilización mecánica mediante la camisa exterior dúctil no llevan a una caída de material de electrodo al depósito de masa fundida 14.

### Ejemplo de realización 3

5 La composición objetivo, los materiales de uso usados y la composición de la aleación primaria corresponden al ejemplo de realización 1, así mismo la producción del electrodo compuesto 19. A diferencia del ejemplo de realización 1, su última refusión se realiza en un denominado aparato de fusión de costra (skull) de VAR, es decir, un dispositivo de fusión con arco eléctrico a vacío con un crisol de fusión de cobre refrigerado con agua, basculable. El material fundido que se encuentra en la costra de la aleación objetivo se cuele en coquillas permanentes de acero fino, que están montadas en una rueda fundidora giratoria. Los cuerpos de colada así producidos en fundición 10 centrífuga se usan como material previo para la producción de elementos constructivos a partir de la aleación objetivo.

### Ejemplo de realización 4:

15 Una aleación de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl de acuerdo con la patente de los Estados Unidos 6.669.791 tiene una composición (aleación objetivo) Ti - 43,0Al - 6,0V (% en átomos) o Ti - A129,7 - V7,8 (m-%). La composición de la aleación primaria se establece mediante la reducción completa del elemento fuertemente estabilizante de  $\beta$  vanadio hasta Ti - 45,75A1 (% en átomos) o Ti - A132,2 (m-%). Como materiales de uso se usan espuma de titanio, aluminio y vanadio. En primer lugar se produce de forma convencional un electrodo de fusión de base 2 como lingote de la aleación primaria de TiAl binaria con un diámetro de 200 mm y una longitud de 1 m mediante refusión de VAR de 20 dos veces (masas 126 kg). Tal como muestra la figura 3, a lo largo de toda la superficie lateral 16 del electrodo de fusión de base 2 se desplazan una con respecto a otra de respectivamente 45° manera paralela al eje longitudinal ocho barras de vanadio 20 con un diámetro de 16,7 mm y una longitud de 1 m (masa total 10,7 kg) y con ello se sueldan de forma distribuida de manera uniforme a lo largo del perímetro del electrodo 2. El electrodo compuesto así 25 generado 19' a partir de la aleación primaria binaria y las barras de vanadio soldadas 20 se vuelven a fundir en el tercer proceso de fusión posterior para dar un lingote de la aleación objetivo con un diámetro de 300 mm en el horno de VAR 1.

### Ejemplo de realización 5

30 La composición objetivo de la aleación de  $\gamma$ -TiAl corresponde a la del ejemplo de realización 1 (Ti - 43,5A1 - 4,0Nb - 1,0Mo - 0,1 B % en átomos). La composición de la aleación primaria se establece mediante una reducción completa del contenido de molibdeno y una reducción parcial del contenido de titanio hasta Ti - 49,63A1 - 4,57Nb - 0,11 B (% en átomos). A partir de la aleación primaria se produce mediante fusión de VAR de dos veces un electrodo de fusión de base 2 con un diámetro de 200 mm y una longitud de 1 m. La masa de lingote asciende a 126 kg. Sobre la superficie lateral 16 del electrodo 2 se sueldan, de manera análoga al ejemplo de realización 4, de forma paralela al eje longitudinal, ocho barras de la aleación comercial TiMo15. El diámetro de las barras asciende a 26 mm, la longitud de las barras corresponde a la longitud del lingote. La masa total de las barras de TiMo15 asciende a 19,6 35 kg. El electrodo compuesto así generado a partir de un lingote de la aleación primaria y ocho barras de TiMo15 se vuelve a fundir en el tercer proceso de fusión posterior para dar un lingote de la aleación objetivo con un diámetro de 300 mm en el horno de VAR 1.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la producción de una aleación de base de  $\gamma$ -TiAl que solidifica a través de la fase  $\beta$  (aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl) mediante fusión con arco eléctrico a vacío, **caracterizado por** las siguientes etapas de procedimiento:
- 5           - fundir un electrodo de fusión de base (2) de una aleación primaria de  $\gamma$ -TiAl convencional con un contenido deficitario de titanio y/o en al menos un elemento estabilizante de  $\beta$  con respecto a la aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl a producir en al menos una primera etapa de refusión con arco eléctrico a vacío,  
              - asociar una cantidad de titanio y/o de elemento estabilizante de  $\beta$  correspondiente al contenido deficitario del titanio y/o del elemento estabilizante de  $\beta$  al electrodo de fusión de base (2) en distribución uniforme a lo largo  
 10           de su longitud y perímetro y  
              - añadir por aleación la cantidad del titanio y/o del elemento estabilizante de  $\beta$  asociada al electrodo de fusión de base para la formación de la aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl homogénea en una última etapa de fusión con arco eléctrico a vacío.
- 15           2. Procedimiento para la producción de una aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el electrodo de fusión de base (2) de la aleación primaria de  $\gamma$ -TiAl convencional presenta un contenido de aluminio del 45 % en átomos al 50 % en átomos.
3. Procedimiento para la producción de una aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** el electrodo de fusión de base (2) presenta un déficit de titanio y/o al menos un elemento de acción estabilizante de  $\beta$  en aleaciones de TiAl del grupo de B, Cr, Cu, Hf, Mn, Mo, Nb, Si, Ta, V y Zr.
- 20           4. Procedimiento para la producción de una aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el electrodo de fusión de base (2) se produce mediante refusión individual o múltiple de un electrodo compactado que presenta los componentes de aleación del electrodo de fusión de base (2) en distribución homogénea.
- 25           5. Procedimiento para la producción de una aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** para asociar la cantidad de titanio y/o de elemento estabilizante de  $\beta$  correspondiente al contenido deficitario del titanio y/o del elemento estabilizante de  $\beta$  al electrodo de fusión de base se produce un electrodo compuesto (19, 19') que se compone del electrodo de fusión de base (2) y una capa (15) uniforme a lo largo de su perímetro y longitud de grosor correspondiente de titanio y/o del elemento estabilizante de  $\beta$ .
- 30           6. Procedimiento para la producción de una aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado porque** la capa se compone de una envoltura de lámina de titanio (15) que se extiende a lo largo de la longitud del electrodo de fusión de base (2).
- 35           7. Procedimiento para la producción de una aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** la envoltura de lámina de titanio (15) está fijada al electrodo de soldadura de base con puntos de soldadura (18) distribuidos de manera uniforme a lo largo de su superficie lateral (16) y/o un cordón de soldadura que discurre a lo largo de todo su perímetro sobre el borde superior (17) del electrodo de soldadura (2).
- 40           8. Procedimiento para la producción de una aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** la envoltura de lámina de titanio (15) se forma por un revestimiento superficial en el lado interior de la coquilla de refusión (4) del horno de fusión de arco eléctrico de vacío (1), en el que en una etapa de refusión intermedia se une por fusión la envoltura de lámina de titanio (15) al electrodo de fusión de base (2) con la formación de un electrodo intermedio y a continuación el electrodo intermedio se funde de nuevo en una última etapa de fusión con arco eléctrico a vacío para la formación de la aleación de base  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl homogénea.
- 45           9. Procedimiento para la producción de una aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** para asociar la cantidad de titanio y/o de elemento estabilizante de  $\beta$  correspondiente al contenido deficitario del titanio y/o del elemento estabilizante de  $\beta$  al electrodo de fusión de base se produce un electrodo compuesto (19') que se compone del electrodo de fusión de base (2) y varias barras (20) de grosor correspondiente de titanio y/o del elemento estabilizante de  $\beta$ , distribuidas de manera uniforme a lo largo del perímetro del electrodo de fusión de base, dispuestas paralelas al eje longitudinal en el mismo.
- 50           10. Procedimiento para la producción de una aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la última etapa de fusión con arco eléctrico a vacío para la formación de la aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl homogénea se lleva a cabo en un dispositivo de fusión de costra de arco eléctrico a vacío, después de lo cual el material fundido de la aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl se cuela para dar cuerpos de colada mediante fundición de precisión o fundición en coquilla a partir de la aleación de base de  $\beta$ - $\gamma$ -TiAl.

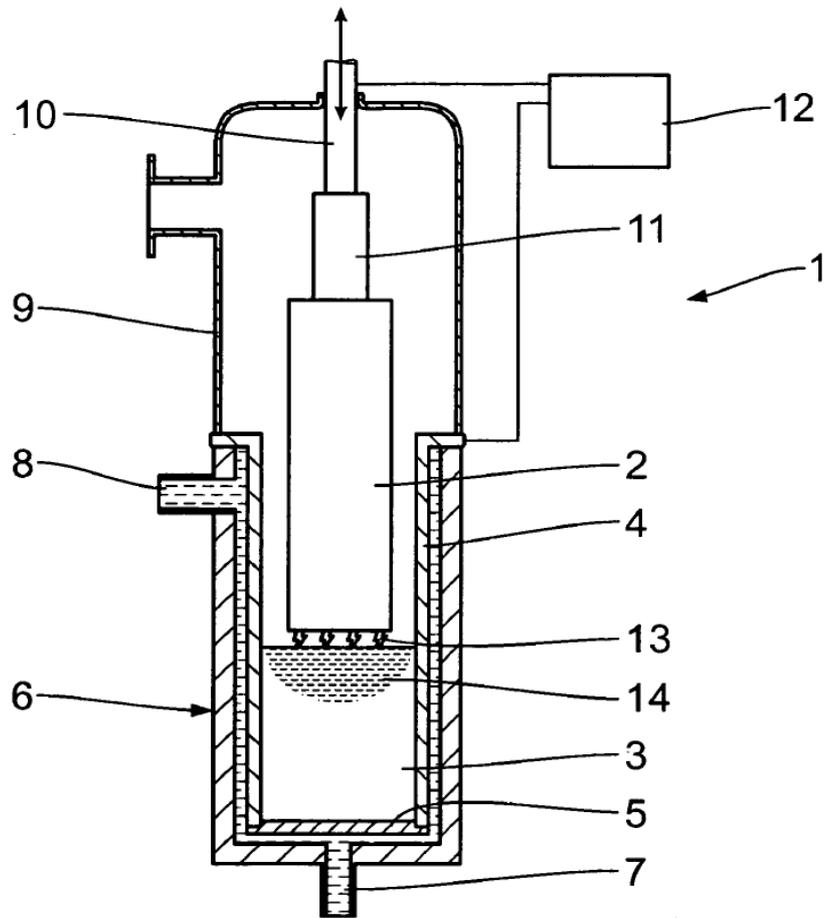


Fig. 1

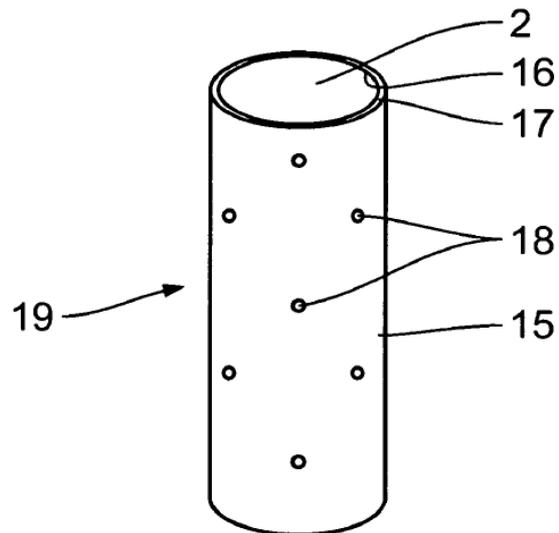


Fig. 2

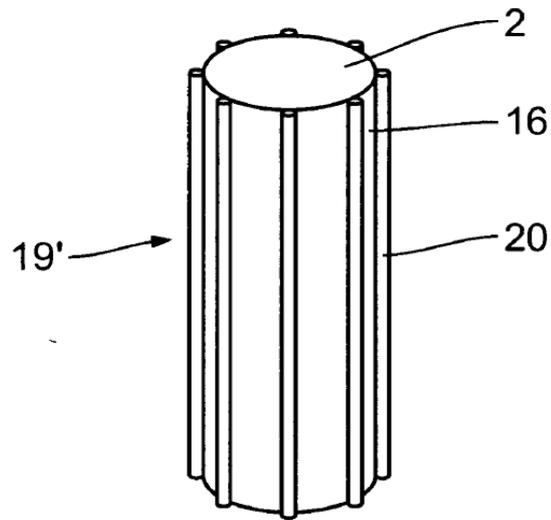


Fig. 3

Coeficiente de dilatación fis. de TNM-B1

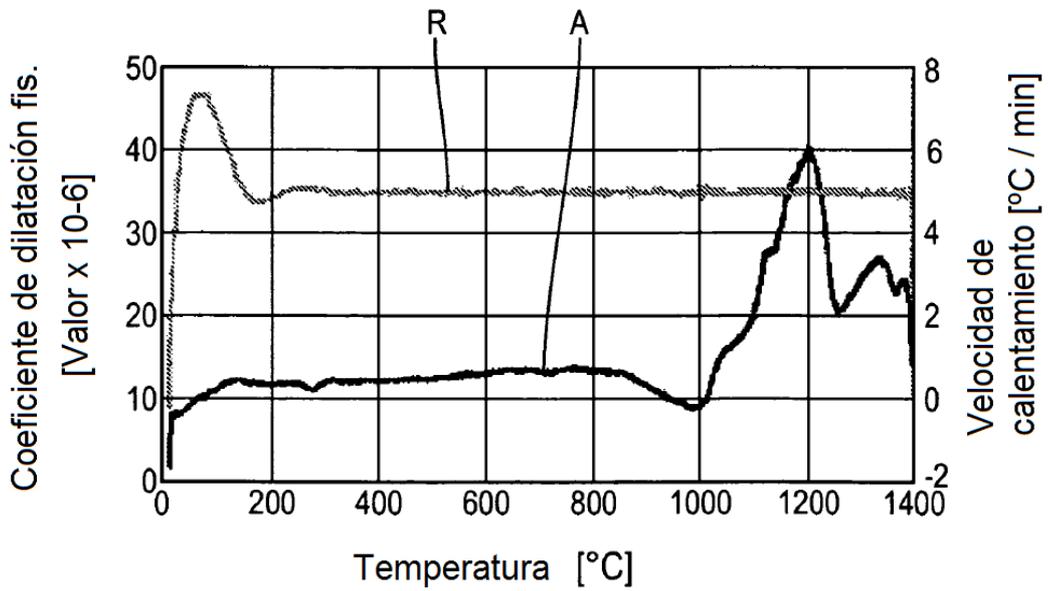


Fig. 4