

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 747 155**

51 Int. Cl.:

**C22C 14/00** (2006.01)

**C22F 1/18** (2006.01)

**C22C 1/02** (2006.01)

**C22F 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.09.2013 E 13185280 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2019 EP 2851445**

54 Título: **Aleación de TiAl resistente a la fluencia**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**10.03.2020**

73 Titular/es:

**MTU AERO ENGINES AG (100.0%)  
Dachauer Strasse 665  
80995 München, DE**

72 Inventor/es:

**SMARSLY, WILFRIED DR.;  
CLEMENS, HELMUT PROF. DR. y  
SCHWAIGHOFER, EMANUEL**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 747 155 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**

Aleación de TiAl resistente a la fluencia

**Antecedentes de la invención****Ámbito de la invención**

- 5 La presente invención concierne a un procedimiento para fabricar un componente de una aleación de TiAl que, junto con titanio y aluminio, comprende niobio y molibdeno y/o manganeso y en círculos profesionales se denomina aleación TNM.

**Estado de la técnica**

- 10 Las aleaciones de TiAl a base de la fase intermetálica  $\gamma$ -TiAl, debido a su peso específico reducido y a la elevada resistencia causada por la fase intermetálica ordenada, están predestinadas para aplicaciones en turbomáquinas, como turbinas de gas estacionarias y grupos motopropulsores de aviones. El documento US 2011/0189026 A1 describe así, por ejemplo, una aleación basada en TiAl para la fabricación de componentes de turbinas de gas. La aleación allí descrita es una denominada aleación TNM que, además de 42 a 45% at. de aluminio, contiene 3 a 8% at. de niobio y 0,2 a 3% de molibdeno y/o manganeso. Además, pueden contenerse 0,1 a 1% at. de boro y/o carbono y/o silicio. El resto de la aleación está formado por titanio. Las aleaciones de este tipo que presentan en particular 43,5% at. de aluminio, 4% at. de niobio, 1% at. de molibdeno y 0,1 por ciento de boro con el resto de titanio, son adecuadas para el uso a temperaturas de funcionamiento de 750°C a 780°C.

La estructura de las aleaciones TNM de este tipo está formada de manera compleja por varias fases y comprende  $\gamma$ -TiAl,  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al y  $\beta_0$ /B2-titanio.

- 20 Otra aleación con una estructura de fase  $\gamma$ -TiAl,  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al y  $\beta$  se describe en el documento US 2011/0277891 A1. Esta aleación presenta 42 a 44,5% at. de aluminio, 3,5 a 4,5% at. de niobio, 0,5 a 1,5 por ciento de molibdeno a 2,2% at. de manganeso, 0,05 a 0,2% at. de boro, 0,001 a 0,01% at. de silicio, 0,001 a 1,0% at. de carbono, 0,001 a 0,1% at. de oxígeno, 0,0001 a aproximadamente 0,002% at. de nitrógeno y el resto titanio e impurezas.

Otras aleaciones TiAl son conocidas por los documentos WO 2012/041276 A2 y EP 2 620 517 A1.

- 25 No obstante, la capacidad operativa de las aleaciones TNM descritas está limitada a temperaturas por debajo de 800°C, dado que en usos prolongados a temperaturas más altas se observa una resistencia insuficiente a la fluencia que tiene como consecuencia una vida útil insuficiente para el uso en turbomáquinas, como turbinas de gas estacionarias o grupos motopropulsores de aviones.

**Revelación de la invención****30 Problema de la invención**

Por tanto, el problema de la presente invención es proporcionar un procedimiento para fabricar un componente, en particular para turbomáquinas, preferentemente grupos motopropulsores de aviones, a partir de una aleación de TiAl que presenta mayores temperaturas de uso en el rango por encima de 800°C y, en particular, una resistencia mejorada a la fluencia.

**35 Solución técnica**

Este problema se resuelve por medio de un procedimiento para fabricar un componente de una aleación de TiAl correspondiente con las características de la reivindicación 1. Ejecuciones ventajosas son objeto de las reivindicaciones dependientes.

- 40 La presente invención permite mejorar las aleaciones TNM conocidas en su resistencia a la fluencia y, por tanto, elevar las posibles temperaturas de uso. Para ello, partiendo de la composición conocida de las aleaciones TNM, se propone limitar el contenido de aluminio como máximo a 43% at. Además, junto con el boro, se propone prever en la aleación adicionalmente y de forma obligatoria, carbono y silicio, debiendo estar los componentes respectivamente en el rango de 0,1% at. a 0,5% at. Gracias a la medida combinada y deliberada de una reducción del contenido de aluminio y la previsión simultánea de determinadas proporciones de carbono y silicio, puede mejorarse claramente la resistencia a la fluencia de una aleación de TiAl correspondiente y, por tanto, puede elevarse la temperatura de uso en el rango de 800 a 850°C.

Por tanto, la composición química de una aleación correspondiente puede presentar como máximo 43% at. de aluminio, 3 a 8% at. de niobio, 0,2% at. a 3% at. de molibdeno y/o manganeso, 0,05% at. a 0,5% at. de boro, 0,1% at. a 0,5% at. de carbono, 0,1% at. a 0,5% at. de silicio y el resto titanio e impurezas inevitables.

- 50 Preferentemente, la aleación de TiAl puede presentar como máximo 43% at. de aluminio, 3,5% at. a 4,5% at. de niobio, 0,8% at. a 1,2% at. de molibdeno y/o manganeso, 0,05% at. a 0,15% at. de boro, 0,2% at. a 0,4% at. de

carbono, 0,2 % at. a 0,4% at. de silicio y el resto titanio e impurezas inevitables.

5 Se ha considerado ventajosa una aleación de TiAl que presenta 43% at. de aluminio, 4% at. de niobio, 1% at. de molibdeno, 0,1% at. de boro, 0,3% at. de carbono, 0,3% at. de silicio y el resto titanio e impurezas inevitables. Los valores indicados no representan en este caso valores absolutos sino valores objetivo de los que es posible desviarse, dentro de los límites, de la factibilidad técnica, es decir, que pueden ajustarse dentro de un rango de exactitud determinado de conformidad con las reglas reconocidas de la técnica.

Una aleación de este tipo presenta a temperaturas ambiente o de uso una estructura que presenta las fases  $\gamma$ -TiAl,  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al y  $\beta_0$ /B2-titanio, representando la fase B2 o  $\beta_0$  una variante ordenada del  $\beta$ -titanio.

10 Un componente correspondiente con una aleación de TiAl puede fabricarse por fundición con o sin transformación subsiguiente en frío y/o en caliente según la invención. Un procedimiento usual para fabricar componentes correspondientes de turbomáquinas como, por ejemplo, álabes de turbinas, consiste en fundir una pieza en bruto y seguidamente transformarla en caliente por forja. Un producto intermedio fabricado correspondientemente puede someterse según la presente invención a un tratamiento térmico que comprende un recocido a una temperatura de entre 800°C y 900°C durante 4 a 8 horas. Gracias a un recocido de estabilización de este tipo puede optimizarse la estructura deseada de una aleación TNM para una resistencia mejorada a la fluencia.

15 Ventajosamente, el recocido puede tener lugar a una temperatura de o alrededor de 850°C durante 6 horas.

Después del recocido el componente correspondiente puede enfriarse rápidamente, por ejemplo en atmosfera ambiente o por barrido con un gas refrigerante.

20 El tratamiento térmico puede presentar, junto con el recocido descrito anteriormente, etapas de tratamiento térmico adicionales que tienen lugar antes del recocido. En particular, el tratamiento térmico puede configurarse en dos etapas con una desagregación antepuesta al recocido. El uso de los términos desagregación y recocido no alude en este caso a mecanismos de procedimiento básicamente diferentes, sino que debe servir solamente para diferenciar las etapas de tratamiento térmico.

25 Además, es posible realizar antes o después del tratamiento térmico aquí descrito otros tratamientos térmicos y/o termodinámicos. No obstante, de preferencia, el tratamiento térmico aquí descrito debe representar el tratamiento térmico final.

La desagregación como primera etapa de un tratamiento térmico de dos etapas puede tener lugar a una temperatura de 950°C a 1300°C durante 0,1 horas a 2 horas. En particular, la desagregación puede tener lugar a una temperatura de 950°C a 1050°C o 1200°C a 1300°C durante un periodo de tiempo de 0,25 horas a 1 hora.

30 Una aleación de TiAl con la composición presentada y un componente de una aleación de TiAl correspondiente que se ha sometido particularmente al procedimiento de fabricación presentado con el tratamiento térmico según la invención puede utilizarse ventajosamente para componentes de turbomáquinas como, por ejemplo, álabes de una turbomáquina.

35 En particular, los componentes pueden utilizarse a temperaturas de hasta 850°C, en particular en el rango de temperaturas de funcionamiento de 800°C a 830°C, significando temperatura de funcionamiento en este caso que la temperatura correspondiente surge de manera duradera durante el funcionamiento o la temperatura puede surgir en funcionamiento como temperatura pico a corto plazo.

### Breve descripción de la figura

La figura adjunta muestra en una micrografía una estructura típica de un material fabricado según la invención.

### 40 Ejemplo de realización

Otras ventajas, rasgos distintivos y características de la presente invención se pondrán de manifiesto en la siguiente descripción de un ejemplo de realización, no estando limitada la invención a este ejemplo de realización.

45 Con una aleación de TiAl con 43% at. de aluminio, 4% at. de niobio, 1% at. de molibdeno, 0,1% at. de boro, 0,3% at. de carbono, 0,3% at. de silicio y el resto titanio puede fabricarse un álabe de un grupo motopropulsor de avión, para lo cual en primer lugar se funde y se prensa isostáticamente la aleación TNM anteriormente citada. Seguidamente, se somete a una forja de grano fino por medio de un proceso de forja con troquel caliente por encima de la temperatura de disolución de la fase  $\gamma$ -TiAl ( $T_{\text{solv}} \sim 1260^\circ\text{C}$ ), con lo que por medio de la recristalización dinámica de la fase  $\alpha$ -titanio no ordenada puede utilizarse una estructura casi libre de textura y de grano fino con un tamaño de grano medio de la fase  $\alpha$  de  $\sim 10 \mu\text{m}$ . Proporciones de 10-30% en volumen de fase  $\beta$  y proporciones reducidas de siliciuros ( $\zeta$ -Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>) y carburos (H-Ti<sub>2</sub>AlC) conducen en este caso a la formación elevada de gérmenes durante el proceso de transformación y, por tanto, a una tendencia mejorada a la recristalización de la fase  $\alpha$  (particle stimulated recrystallization). En el enfriamiento posterior, la proporción disuelta de carbono en la fase  $\alpha$  retarda la cinética de segregación de la fase  $\gamma$ -TiAl, con lo que la fase  $\alpha/\alpha_2$  permanece sobresaturada con un enfriamiento adecuado.

En la etapa siguiente, la aleación TNM forjada de grano fino y sobresaturada se somete a un tratamiento térmico de 2 etapas. En este, en una primera desagregación, se utiliza una anchura de lámina  $\gamma$  deliberada para optimizar las propiedades de fluencia ("recocido a corto plazo"). En la segunda etapa de recocido posterior, justo por encima de la temperatura máxima de utilización, se ajustan proporciones de fase casi al equilibrio termodinámico ("recocido a largo plazo"). El proceso de tratamiento térmico para la estructura con una resistencia a la fluencia especialmente buena se realiza, por ejemplo, con una desagregación a 1000°C durante 15 min con un enfriamiento rápido posterior y un recocido a 850°C durante 6 h y un enfriamiento también rápido. En este caso, la primera desagregación lleva además a la formación de una fase de reacción celular (ZR) partiendo de los límites de las colonias  $\alpha_2\text{-Ti}_3\text{Al}/\gamma\text{-TiAl}$ , que surge según la temperatura y duración de la desagregación en diferentes cantidades y representa una estructura de transformación. En el segundo recocido a 850°C, la fuerza impulsora para la reacción celular y la correspondiente formación de la fase de reacción celular casi viene entonces a detenerse debido a la mayor distancia de las láminas.

El procedimiento descrito, en combinación con el material seleccionado a un coste menor en comparación con los procedimientos anteriores, conduce a propiedades mecánicas claramente mejoradas. La prevención de un recocido a alta temperatura impide el peligro de crecimiento del grano.

Un componente correspondientemente fabricado como, por ejemplo, un álabe de un grupo motopropulsor de avión, presenta una resistencia mejorada a la fluencia con respecto a las aleaciones de TiAl conocidas hasta ahora y, en particular, aleaciones TNM.

Una estructura característica de un componente fabricado según la invención de una aleación de TiAl está representada en la figura adjunta. Esta estructura es una estructura casi laminar con proporciones reducidas de fase  $\beta_0$  en el orden de magnitud <5% vol. (NL $\beta$ ).

La fase  $\beta_0$  - titanio puede destacarse en este caso de manera lineal o globular según la velocidad de transformación durante la forja. Dentro de la fase  $\beta_0$  se encuentran segregaciones lenticulares de  $\gamma\text{-TiAl}$ .

La estructura consta, con hasta 98% vol., principalmente de colonias globulares  $\alpha_2\text{-TiAl}/\gamma\text{-TiAl}$  con un tamaño máximo de ~10 - 20  $\mu\text{m}$  y una anchura media de las láminas  $\gamma\text{-TiAl}$  en el orden de magnitud de 50-150 nm. -En general, no hay granos  $\gamma$  globulares que, a partir de una proporción en volumen de aproximadamente > 5%, puedan llevar a una reducción de la resistencia a la fluencia.

La proporción en volumen de la fase de reacción celular (ZR) es menor que 10% vol.

Antes de la primera utilización, la estructura de un componente correspondiente puede comprender de aproximadamente 70 a 80% vol., en particular, aproximadamente 75% vol. de  $\gamma\text{-TiAl}$ , 20 a 25% vol., en particular aproximadamente 23% vol. de  $\alpha_2\text{-Ti}_3\text{Al}$  y 1 a 3% vol., en particular aproximadamente 2% vol. de  $\beta_0\text{-Ti}$ . El carbono está en este caso principalmente en solución. Proporciones reducidas de H-carburos y siliciuros, en particular de en total menos de 3% vol. preferentemente menos de 1% vol., y una fase de reacción celular (ZR) pueden estar presentes además en la estructura, añadiéndose los componentes de estructura, por supuesto a 100% vol. y asignándose a la fase de reacción las proporciones de  $\gamma\text{-TiAl}$  y  $\alpha_2\text{-Ti}_3\text{Al}$ .

Cuando se usa el componente a las correspondientes temperaturas de utilización, apenas se modifican ciertamente las proporciones de la estructura de  $\gamma\text{-TiAl}$ ,  $\alpha_2\text{-Ti}_3\text{Al}$  y  $\beta_0\text{-Ti}$ , es decir, la estructura permanece estable, pero el esfuerzo de fluencia en condiciones de utilización conduce a la segregación de carburos más finos dentro de la fase  $\gamma\text{-TiAl}$ , por ejemplo en forma de P-Ti<sub>3</sub>AlC que contribuyen a dificultar la fluencia de desplazamiento y, por tanto a aumentar la resistencia a la fluencia.

Adicionalmente, las segregaciones de siliciuro más finas ( $\zeta\text{-Ti}_5\text{Si}_3$ ) en las superficies límite  $\alpha_2\text{-Ti}_3\text{Al}/\gamma\text{-TiAl}$  mejoran la estabilidad de la estructura. El resto de siliciuros más gruesos pueden mantenerse en la estructura dependiendo de la elección de los parámetros de transformación y tratamiento térmico.

La estructura NL $\beta$  de grano fino se distingue por la elevada resistencia a altas temperaturas, la resistencia a la fluencia y la estabilidad de la estructura junto con una tolerancia a daños claramente mejorada por debajo de la temperatura de transición frágil-dúctil debido al tamaño reducido y la formación globular de las colonias  $\alpha_2\text{-Ti}_3\text{Al}/\gamma\text{-TiAl}$ .

A pesar de que la invención se ha descrito de forma detallada con ayuda del ejemplo de realización, la invención no está limitada a este ejemplo de realización, sino que son posibles variaciones en la forma de manera que se omiten características individuales o se materializan combinaciones de características de otro tipo, siempre que no se abandone el ámbito de protección de las reivindicaciones adjuntas. La presente revelación incluye todas las combinaciones de las características individuales presentadas.

**REIVINDICACIONES**

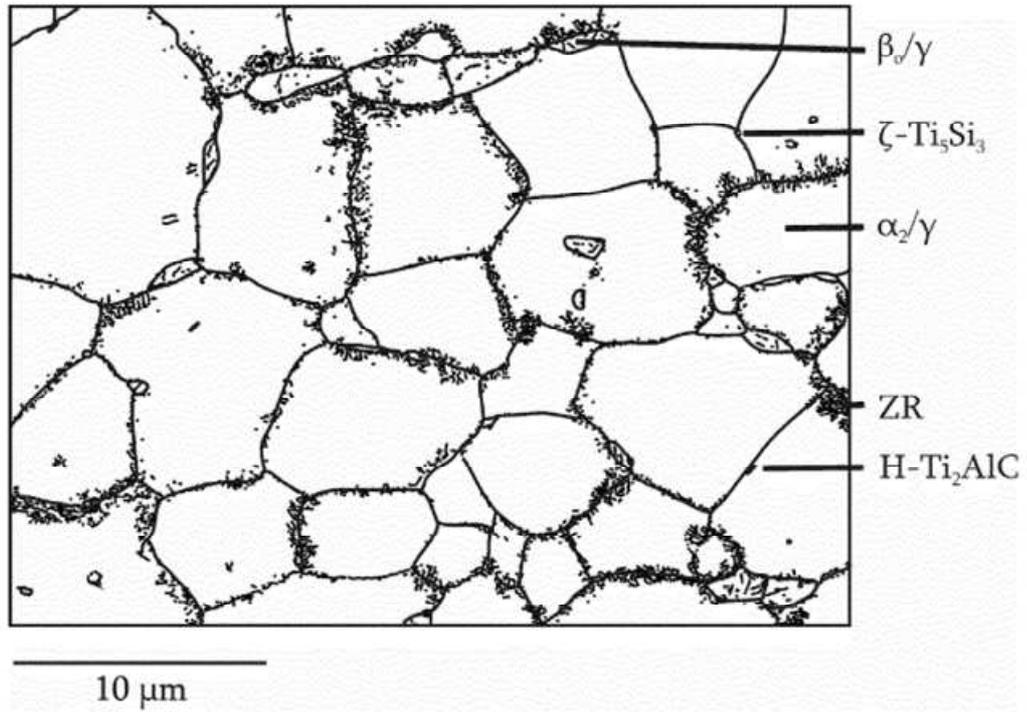
1. Procedimiento para fabricar un componente de una aleación de Ti-Al para aplicaciones a alta temperatura que comprende la siguiente composición química:
  - como máximo 43% at. de Al,
  - 5 3% at. a 8% at. de Nb,
  - 0,2% at. a 3% at. de Mo y/o Mn,
  - 0,05% at. a 0,5% at. de B,
  - 0,1% at. a 0,5% at. de C,
  - 0,1% at a 0,5% at. de Si, y
  - 10 el resto Ti e impurezas inevitables,

caracterizado por que a partir de la aleación se proporciona un producto intermedio fundido y/o transformado en frío y/o caliente que se somete a un tratamiento térmico que comprende un recocido a una temperatura de entre 800°C y 900°C durante 4 a 8 h.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el recocido tiene lugar a una temperatura de o alrededor de 850°C durante 6 h.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el recocido se termina por enfriamiento rápido.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que el tratamiento térmico se realiza en dos etapas y el recocido representa la segunda etapa del tratamiento térmico.
- 20 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que el recocido está precedido por una desagregación como primera etapa del tratamiento térmico.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que la desagregación tiene lugar a una temperatura de 950°C a 1300°C durante 0,1 h a 2 h.
- 25 7. Procedimiento según la reivindicación 5 o 6, caracterizado por que la desagregación tiene lugar a una temperatura de 950°C a 1050°C o de 1200°C a 1300°C durante 0,25 h a 1 h.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que la aleación presenta la siguiente composición química:
  - como máximo 43% at. de Al,
  - 3,5% at. a 4,5% at. de Nb,
  - 30 0,8% at. a 1,2% at. de Mo y/o Mn,
  - 0,05% at. a 0,15% at. de B,
  - 0,2% at. a 0,4% at. de C,
  - 0,2 % at. a 0,4% at. Si, y
  - el resto Ti.
- 35 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que la aleación presenta la siguiente composición química:
  - 43% at. de Al,
  - 4% at. de Nb,
  - 1% at. de Mo,
  - 40 0,1% at. de B,
  - 0,3% at. de C,

0,3 % at. de Si, y

el resto Ti.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que la aleación presenta  $\gamma$ -TiAl ,  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al y  $\beta_0$ /B2-Ti a temperatura ambiente.



FIGURA