

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 256**

51 Int. Cl.:

C22C 1/04 (2006.01)

C22C 14/00 (2006.01)

C22F 1/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.04.2011** **E 11450055 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2017** **EP 2386663**

54 Título: **Procedimiento para la fabricación de una pieza de construcción y piezas de construcción de una aleación a base de aluminio-titanio**

30 Prioridad:

12.05.2010 AT 8022010

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

28.11.2017

73 Titular/es:

**BÖHLER SCHMIEDETECHNIK GMBH & CO KG
(50.0%)**

**Mariazeller Strasse 25
8605 Kapfenberg, AT y
MTU AERO ENGINES AG (50.0%)**

72 Inventor/es:

**CLEMENS, HELMUT;
WALLGRAM, WILFRIED y
SCHLOFFER, MARTIN**

74 Agente/Representante:

SANZ-BERMELL MARTÍNEZ, Alejandro

ES 2 644 256 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 fabricación de una pieza de construcción y piezas de construcción de una aleación a base de aluminio-titanio

5 La invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de una pieza de construcción a partir de una aleación a base de aluminio-titanio.

10 Además se refiere la invención a una pieza de construcción de una aleación a base de aluminio-titanio, fabricada con dimensiones próximas a las dimensiones finales.

15 Las aleaciones a base de aluminio-titanio presentan en general una alta resistencia, una baja densidad y una buena estabilidad frente a la corrosión y se usan preferentemente como piezas de construcción en turbinas de gas y turbopropulsores.

20 Para los campos de aplicación anteriores son interesantes en particular aleaciones con una composición de: aluminio del 40 % en átomos al 50 % en átomos, niobio del 3 % en átomos al 10 % en átomos, molibdeno hasta el 4 % en átomos así como opcionalmente los elementos manganeso, boro, silicio, carbono, oxígeno y nitrógeno en bajas concentraciones así como titanio como resto.

25 Estas aleaciones solidifican preferentemente de manera completa a través del cristal mixto β y recorren en un enfriamiento posterior una serie de transformaciones de fases. Un diagrama esquemático (figura 1) muestra formaciones de estructura dependiendo de la temperatura y de la concentración de aluminio con indicaciones de intervalos de temperatura usadas por el experto.

30 Pueden fabricarse las piezas de construcción mediante colada de un bloque o de manera pulvimetalúrgica mediante prensado isostático en caliente (HIP) de polvo de metal aleado así como colada de un bloque y eventualmente el HIP del mismo con extrusión posterior y en cada caso con un fraguado posterior del bloque o producto intermedio para dar una pieza de construcción, que se somete a continuación a tratamientos térmicos.

35 Los materiales de aluminio-titanio tienen para una conformación en caliente sólo un intervalo de temperatura estrecho, que si bien puede ampliarse mediante los elementos de aleación niobio y molibdeno, sin embargo resultan limitaciones con respecto a la deformación o bien fraguado de las piezas. Se conoce fabricar, mediante deformación isotérmica lenta, familiar para el experto como fraguado isotérmico, una pieza de construcción al menos parcialmente mediante conformación sin arranque de virutas, sin embargo esto está unido a alto gasto.

40 En todo caso no presentará una pieza de construcción fabricada según las tecnologías anteriores en la mayoría de los casos ninguna estructura homogénea, ya que se proporciona por un lado un potencial de recristalización bajo y diferente del material deformado de manera isotérmica lentamente, y/o por otro lado la difusión, que requiere mucho tiempo, de los átomos de los elementos niobio y/o molibdeno, que son importantes para una deformabilidad de un material, se orienta hacia la estructura de conformación y de esta manera puede influir desventajosamente en la estructura.

45 Una homogeneización de la formación de estructura y con ello una obtención de propiedades isotrópicas, mecánicas del material mediante tratamientos de recocido que requieren tiempo, si bien son posibles básicamente, sin embargo requieren un alto gasto.

50 Para la práctica industrial son necesarias piezas de construcción de una aleación a base de aluminio-titanio, que presentan propiedades mecánicas, homogéneas independientemente de la dirección, encontrándose la ductilidad, resistencia y estabilidad frente a la fluencia del material también a altas temperaturas de uso de manera equilibrada en alto nivel.

Por el estado de la técnica se conocen los siguientes procedimientos o bien piezas de construcción:

55 SCHMOELZER T ET AL: "Phase fractions, transition and ordering temperatures in TiAl-Nb-Mo alloys: An in- and ex-situ study";
 CLEMENS H ET AL: "In and ex situ investigations of the beta-phase in a Nb and Mo containing gamma-TiAl based alloy";
 HABEL U ET AL: "PROCESSING, MICROSTRUCTURE AND TENSILE PROPERTIES OF .GAMMA.-TiAl PM
 60 ALLOY 395MM";
 D. ZHANG ET AL: "Effect of heat-treatments and hot-isostatic pressing on phase transformation and microstructure in a B/B2 containing Gamma-TiAl based alloy";
 H. CLEMENS ET AL: "Design of Novel B-Solidifying TiAl Alloys with Adjustable B/B2-Phase Fraction and Excellent Hot-Workability";
 65 También en el documento DE 10 2004 056582 A1 y el documento EP 0464 366 se han descrito procedimientos de este tipo.

Partiendo del estado de la técnica, la presente invención se basa en el objetivo de indicar un procedimiento, con el que pueda fabricarse una pieza de construcción con estructura homogénea, fina y uniforme, pieza de construcción que presente de forma equilibrada una ductilidad, resistencia y estabilidad frente a la fluencia del material en todas las direcciones esencialmente de manera igual en alto nivel deseado y pueda fabricarse de manera económica con dimensiones próximas a las dimensiones finales.

La invención tiene como objetivo además una pieza de construcción que presente con una formación de fases dirigida de la estructura propiedades mecánicas deseadas, en particular el límite de alargamiento $R_{p0.2}$ y resistencia R_m así como alargamiento total A_t en el ensayo de tracción a temperatura ambiente y a una temperatura de 700 °C.

El objetivo se soluciona mediante un procedimiento del tipo mencionado anteriormente, en el que en una primera etapa se prepara un material previo acabado mediante metalurgia en fundido o pulvimetalurgia con una composición química en % en átomos de:

aluminio (Al)	41	a	48
opcionalmente			
niobio (Nb)	4	a	9
molibdeno (Mo)	0,1	a	3,0
manganeso (Mn)		hasta	2,4
boro (B)		hasta	1,0
silicio (Si)		hasta	1,0
carbono (C)		hasta	1,0
oxígeno (O)		hasta	0,5
nitrógeno (N)		hasta	0,5

titanio e impurezas como resto,

y este material previo se prensa con un aumento de la presión hasta al menos 150 MPa a una temperatura de al menos 1000 °C tras un calentamiento durante un periodo de tiempo de al menos 60 min de manera isostática para dar una pieza en bruto, tras lo cual en una segunda etapa se somete la pieza en bruto HIP a una conformación en caliente mediante una conformación masiva rápida con una velocidad superior a 0,4 mm/s y una conformación mediante recalado medida como alargamiento local φ superior a 0,3, definiéndose φ tal como sigue:

$$\varphi = \ln (h_f/h_o)$$

h_f = altura de la pieza tras el recalado
 h_o = altura de la pieza antes del recalado

u otro procedimiento de conformación con deformación mínima igualmente alta, en particular mediante fraguado a una temperatura en el intervalo de 1000 a 1350 °C con formación de una pieza de construcción con un enfriamiento posterior de la misma, ascendiendo el intervalo de tiempo hasta alcanzar una temperatura de 700 °C a como máximo 10 min, formándose una estructura que se recupera de manera dinámica sólo en pequeñas zonas parciales o puede estar recristalizada, esencialmente sin embargo presenta una estructura de deformación con alto potencial de energía de recristalización, tras lo cual se somete la pieza de construcción para un ajuste de propiedades de material deseadas en una tercera etapa a un tratamiento térmico, en el que en el intervalo de la temperatura eutectoide de la aleación, en particular de 1010 a 1180 °C en un intervalo de tiempo de 30 a 1000 min a partir de la estructura de deformación, debido a la energía de deformación almacenada y a la fuerza motriz, que está constituida por el desequilibrio de fases químicas tras la deformación y el enfriamiento, se forma una microestructura homogénea, finamente globular, que está constituida por las fases que presentan a temperatura ambiente una estructura atómica ordenada:

GAMMA, BETA₀, ALFA₂ ($\gamma, \beta_0, \alpha_2$)
 con una formación:

- ALFA₂: globular con un tamaño de grano de 1 a 50 μm con una proporción en volumen del 1 % al 50 % que pueden contener lamelas γ más gruesas, aisladas con un espesor de > 100 nm
- BETA₀: globular que rodea la fase α_2 , con un tamaño de grano de 1 a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 50 %
- GAMMA: globular que rodea la fase α_2 , con un tamaño de grano de 1 a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 60 %,

y en una etapa subordinada se realiza (puede realizarse) opcionalmente al menos otro tratamiento térmico, en particular recocido secundario y/o recocido de estabilización de la pieza de construcción.

Con el procedimiento de acuerdo con la invención se consigue una pluralidad de ventajas técnicas y económicas.

En la primera etapa del procedimiento requiere un material previo, preparado mediante metalurgia en fundido o pulvimetalurgia, únicamente una compactación mediante prensado isostático en caliente del mismo, tras lo cual la pieza en bruto en una segunda etapa a una temperatura elevada con respecto a un fraguado isotérmico y, tal como se ha encontrado, con una capacidad de conformación en caliente del material ventajosamente mejorada se somete a una conformación masiva rápida con una velocidad superior a 0,4 mm/s y un grado de recalado φ superior a 0,3. Esta conformación masiva rápida de la pieza en bruto puede realizarse, de manera sorprendente para el experto, a temperatura elevada con alta velocidad de conformación, siendo necesario de acuerdo con la invención una alta deformación mínima y un enfriamiento posterior con alta velocidad de enfriamiento para una formación de un alto potencial de recristalización, por el momento congelado, en la estructura.

Este potencial de recristalización o bien esta energía almacenada que resulta de la deformación rápida, que se forma también a partir de la fuerza motriz del desequilibrio de fases químicas, provoca en una tercera etapa con un recocido del material en el intervalo de la temperatura eutectoide de la aleación una transformación en una microestructura muy finamente globular de las fases GAMMA, BETA₀, ALFA₂ con estructura atómica ordenada a temperatura ambiente con determinadas proporciones de fases, estructura que sirve como estructura de partida de grano fino favorable para una formación de estructura posterior, que puede conseguirse mediante tratamiento(s) térmico(s), prevista en cuanto a propiedades deseadas del material.

El objetivo se soluciona también mediante un procedimiento del tipo mencionado anteriormente, en el que en una primera etapa se prepara un material previo acabado mediante metalurgia en fundido o pulvimetalurgia con una composición química en % en átomos de:

Al	42	a	44,5
opcionalmente			
Nb	3,5	a	4,5
Mo	0,5	a	1,5
Mn		hasta	2,2
B	0,05	a	0,2
Si	0,001	a	0,01
C	0,001	a	1,0
O	0,001	a	0,1
N	0,0001	a	0,02

titanio e impurezas como resto

y este material previo se prensa con un aumento de la presión hasta al menos 150 MPa a una temperatura de al menos 1000 °C tras un calentamiento durante un periodo de tiempo de al menos 60 min de manera isostática para dar una pieza en bruto, tras lo cual en una segunda etapa se somete la pieza en bruto HIP a una conformación en caliente mediante una conformación masiva rápida con una velocidad superior a 0,4 mm/s y una conformación mediante recalado medida como alargamiento local φ superior a 0,3, definiéndose φ tal como sigue:

$$\varphi = \ln (h_f/h_0)$$

h_f = altura de la pieza tras el recalado

h_0 = altura de la pieza antes del recalado

u otro procedimiento de conformación con deformación mínima igualmente alta, en particular mediante fraguado a una temperatura en el intervalo de 1000 a 1350 °C con formación de una pieza de construcción con un enfriamiento posterior de la misma, ascendiendo el intervalo de tiempo hasta alcanzar una temperatura de 700 °C a como máximo 10 min, formándose una estructura, que se recupera de manera dinámica sólo en pequeñas zonas parciales o puede estar recristalizada, esencialmente sin embargo presenta una estructura de deformación con alto potencial de energía de recristalización, y tras lo cual se somete la pieza de construcción en una tercera etapa a un tratamiento térmico, que se realiza con un intervalo de tiempo de 30 a 600 min en el intervalo de la temperatura eutectoide de la aleación, en particular de 1040 a 1170 °C, formándose a partir de la estructura de deformación una microestructura finamente globular, homogénea, que está constituida por las fases que presentan a temperatura ambiente una estructura atómica ordenada:

GAMMA, BETA₀, ALFA₂ (($\gamma, \beta_0, \alpha_2$))
con una formación:

ALFA₂: globular con un tamaño de grano de 1 a 10 μm con una proporción en volumen del 10 % al 35 % que pueden contener lamelas γ más gruesas, aisladas con un espesor de > 100 nm

BETA₀: globular que rodea la fase α_2 , con un tamaño de grano de 1 a 10 μm con una proporción en volumen del 15 % al 45 %

GAMMA: globular que rodea la fase α_2 , con un tamaño de grano de 1 a 10 μm con una proporción en volumen del 15 % al 60 %

y opcionalmente se realiza (se realizan) en una etapa subordinada al menos otro tratamiento térmico, en particular

recocido secundario y/o recocido de estabilización de la pieza de construcción.

5 Una composición química del material de este tipo, limitada en las concentraciones de los elementos puede intensificar un comportamiento favorable conseguido mediante los parámetros del procedimiento con respecto a la formación y conformación de la estructura.

10 La formación de grano fino en el material, lograda según el procedimiento anterior, provoca concretamente en caso de morfología de estructura isotrópica una elevada resistencia en límites más estrechos, pudiéndose considerar sin embargo la tenacidad y la estabilidad frente a la fluencia del material para determinados campos de aplicación como no suficientes. Esta estructura de grano fino forma sin embargo en todo caso una condición previa para la obtención de una estructura homogénea en gran parte fina en otros tratamientos de recocido para el ajuste de propiedades mecánicas deseadas de la pieza de construcción.

15 Para conseguir en particular las propiedades de alta temperatura del material que se refieren a una mejora de la ductilidad o bien un aumento de la tenacidad y un aumento de la estabilidad frente a la fluencia, está previsto de acuerdo con la invención someter la pieza de construcción con una estructura de grano fino creada en la tercera etapa para el ajuste de propiedades de alta temperatura del material optimizadas al menos a un recocido secundario, recocido secundario que se realiza en el intervalo próximo a la temperatura de transición de fase alfa (T_α) de la aleación en el espacio de tres fases (alfa, beta, gamma) durante un periodo de tiempo de al menos 30 a 20 6000 min, tras lo cual se enfría la pieza en un intervalo de tiempo inferior a 10 min hasta una temperatura de 700 °C y a continuación adicionalmente, de manera preferente al aire y de manera que se forma una formación de fases:

25 ALFA₂: globular sobresaturada, eventualmente que contiene lamelas γ poco finas, con un tamaño de grano de 5 μm a 100 μm con una proporción en volumen del 25 % al 98 %
 BETA₀: globular, con un tamaño de grano de 1 μm a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 25 %
 GAMMA: globular, con un tamaño de grano de 1 μm a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 50 %.

30 En particular los granos de ALFA₂ sobresaturados y una formación de estructura sin bien fina, sin embargo, no optimizada dan como resultado con altos valores de resistencia una baja ductilidad del material y tenacidad. Mediante una composición química, limitada pueden conseguirse propiedades de material mecánicas mejoradas, sin embargo, está orientado el perfil de propiedades sólo a determinados fines de uso.

35 Una composición química, limitada del material, tal como se ha indicado anteriormente, puede usarse concretamente para la obtención de proporciones favorables de las partes constituyentes de estructura con dimensiones más estrechas y límites de contenido más estrechos, reflejándose las ventajas que resultan de esto en una cierta precisión de los valores de propiedades mecánicas; sin embargo esencialmente se crean con ello de manera sumamente ventajosa las condiciones previas para una optimización del comportamiento a alta temperatura de una pieza de construcción de una aleación a base de titanio-aluminio.

40 Una selección del tiempo de recocido en caso de un recocido secundario próxima a la temperatura de transición de fase alfa (T_α) puede realizarse en cuanto a un ajuste de cantidades de fase deseadas y de los tamaños de grano. Por ejemplo se reduce generalmente la fase β con duración de recocido creciente.

45 Tras un tratamiento térmico en la zona de transición a fase alfa y un enfriamiento forzado presentan las fases de estructura esencialmente una estructura atómica desordenada.

50 Cuando en el procedimiento de fabricación se somete la pieza de construcción tras un recocido secundario al menos a un recocido de estabilización, que se realiza en un intervalo de temperatura de 700 °C a 1000 °C, en todo caso por encima de la temperatura de aplicación de la pieza de construcción con una duración de 60 min a 1000 min y un posterior enfriamiento lento o bien en horno con una velocidad inferior a 5 °C/min, preferentemente inferior a 1 °C/min, para el ajuste o formación de las partes constituyentes de la estructura:

55 ALFA₂ / GAMMA: grano lamelar con un tamaño de grano de 5 μm a 100 μm con una proporción en volumen del 25 % al 98 % con una estructura fina de lamelas (α_2/γ), preferentemente con una distancia promedio entre lamelas de 10 nm a 1 μm
 BETA₀: globular, con un tamaño de grano de 1 μm a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 25 %
 GAMMA: globular, con un tamaño de grano de 1 μm a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 50 %,
 60

pueden conseguirse formaciones de estructura con propiedades de alta temperatura mecánicas esencialmente mejoradas del material.

ES 2 644 256 T3

Por medio de un recocido de estabilización con un enfriamiento lento, en el que se conserva una difusión atómica suficiente, se realiza una conversión de los granos ALFA₂ sobresaturados en una estructura ALFA₂ / GAMMA lamelar sin modificación esencial del tamaño de grano. Una estructura lamelar en los granos de estructura anteriormente sobresaturados mejora en alta medida la estabilidad frente a la fluencia del material con altas cargas en el intervalo de temperatura de aproximadamente 700 °C.

El otro objetivo de la invención se consigue con una pieza de construcción que presenta dimensiones próximas a las dimensiones finales, de una aleación a base de titanio-aluminio con una composición química de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, fabricada con una estructura del material, que está constituida por las fases que presentan a temperatura ambiente una estructura atómica ordenada:

GAMMA, BETA₀, ALFA₂ ($\gamma, \beta_0, \alpha_2$)
con una formación:

ALFA₂: globular sobresaturada con un tamaño de grano de 1 μm a 50 μm con una proporción en volumen del 1 % al 50 %, que pueden contener lamelas γ más gruesas, aisladas con un espesor de > 100 nm

BETA₀: globular que rodea la fase α_2 , con un tamaño de grano de 1 μm a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 50 %

GAMMA: globular que rodea la fase α_2 , con un tamaño de grano de 1 μm a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 60 %,

preferentemente ajustada con un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 3, presentando el material las siguientes propiedades mecánicas en el intervalo de:

- resistencia y alargamiento de rotura a temperatura ambiente:

- R_{p0,2}: 650 a 910 MPa

- R_m: 680 a 1010 MPa

- A_t: 0,5 % a 3 %

- resistencia y alargamiento de rotura a 700 °C:

- R_{p0,2}: 520 a 690 MPa

- R_m: 620 a 970 MPa

- A_t: 1 % a 3,5 %.

Esta pieza creada con alta rentabilidad de la fabricación tiene una estructura fina, globular, homogénea con perfil de propiedades del material igual en todas direcciones, que puede usarse de manera ventajosa para una pluralidad de fines de aplicación.

Para conseguir una mejora de las propiedades mecánicas del material, en particular un aumento de la estabilidad frente a la fluencia, es ventajoso cuando está formada la pieza de construcción con una estructura del material de:

ALFA₂: globular sobresaturada, eventualmente que contiene lamelas γ poco finas, con un tamaño de grano de 5 μm a 80 μm con una proporción en volumen del 50 % al 95 %

BETA₀: globular, con un tamaño de grano de 1 μm a 20 μm con una proporción en volumen del 31 % al 25 %

GAMMA: globular, con un tamaño de grano de 1 μm a 20 μm con una proporción en volumen del 1 % al 28 %

preferentemente ajustada según un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4 o 5, presentando el material las siguientes propiedades mecánicas en el intervalo de:

- resistencia y alargamiento de rotura (según la norma ASTM E8M, EN2002-1) a temperatura ambiente:

- R_{p0,2}: 650 a 940 MPa

- R_m: 730 a 1050 MPa

- A_t: 0,2 % a 2 %

- resistencia y alargamiento de rotura a 700 °C:

- R_{p0,2}: 430 a 620 MPa

- R_m: 590 a 940 MPa

- A_t: 1 % a 2,5 %.

Una ventaja esencial en cuanto a una ductilidad, resistencia y estabilidad frente a la fluencia del material en todas las direcciones en igual medida en un alto nivel se consigue cuando la pieza de construcción está formada con una

estructura del material, que está constituida por las partes constituyentes con una formación:

- 5 ALFA₂ / GAMMA: grano lamelar con un tamaño de grano de 5 μm a 100 μm con una proporción en volumen del 25 % al 98 % con una estructura fina de lamelas (α₂/γ), preferentemente con una distancia promedio entre lamelas de 10 nm a 1 nm
- BETA₀: globular, con un tamaño de grano de 0,5 μm a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 25 %
- 10 GAMMA: globular, con un tamaño de grano de 0,5 μm a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 50 %

preferentemente ajustada según un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6 o 7, presentando el material las siguientes propiedades mecánicas en el intervalo de:

- 15 • resistencia y alargamiento de rotura (según la norma ASTM E8M, EN 2002-1) a temperatura ambiente:

- R_{p0,2}: 710 a 1020 MPa
- R_m: 800 a 1250 MPa
- A_t: 0,8 % a 4 %

- 20 • resistencia y alargamiento de rotura a 700 °C:

- R_{p0,2}: 540 a 760 MPa
- R_m: 630 a 1140 MPa
- A_t: 1 % a 4,5 %.

25 A continuación se explicará en más detalle la invención por medio de imágenes que comprenden únicamente una composición de aleación.

Muestran:

- 30 la figura 1 formación de estructura dependiendo de la temperatura y de la concentración de aluminio con indicaciones de intervalo de temperatura usadas por el experto (diagrama esquemático)
- la figura 2 estructura de la aleación a base de Al-Ti según una conformación masiva y posterior enfriamiento
- 35 la figura 3 estructura de la aleación tras un recocido en el intervalo de la temperatura eutectoide (T_{eu}) y enfriamiento
- la figura 4 estructura de la aleación tras un recocido a temperatura de transición de fase alfa (T_α)
- la figura 5 estructura de la aleación tras un recocido de estabilización

40 En la figura 1 están representadas esquemáticamente las formaciones de estructura de aleaciones a base de aluminio-titanio dependiendo de la temperatura y de la concentración de aluminio. Además son evidentes las indicaciones de temperatura usadas por el experto.

45 Las formaciones de estructura representadas en la figura 2 a figura 5 proceden de una serie de ensayo con una aleación de Ti, 43,2 % en átomos de Al, 4 % en átomos de Nb, 1 % en átomos de Mo, 0,1 % en átomos de B.

Esta aleación tiene una temperatura eutectoide de T_{eu} 1165 °C ± 7 °C y una temperatura de transición de fase alfa T_α = 1243 °C ± 7 °C, temperaturas que se determinaron con el análisis térmico diferencial.

50 Las imágenes de estructura se tomaron con un aumento de 200 veces en el microscopio electrónico de barrido en un contraste de electrones por retrodispersión.

55 La figura 2 muestra la estructura del material tras una deformación en una matriz con un grado de conformación de ϕ = 0,7 con una velocidad de conformación de 1,0 mm/s y un enfriamiento al aire. Como consecuencia de la conformación masiva, tras enfriamiento de la pieza, presenta ésta una textura de deformación unidireccional típica y muestra como partes constituyentes granos GAMMA-BETA₀-ALFA₂ unidireccionales.

La figura 3 muestra la estructura de la pieza deformada tras un tratamiento térmico en el intervalo de la temperatura eutectoide (T_{eu}), en el presente caso a 1150 °C, seguido de un enfriamiento.

60 La estructura estaba constituida por granos ALFA₂ globulares con un tamaño de grano (medido como diámetro del círculo circunscrito más pequeño) de 3,2 μm ± 1,9 μm con una proporción en volumen de aprox. el 25 %, por granos BETA₀ globulares con un tamaño de grano de 3,7 μm ± 2,1 μm con una proporción en volumen de aprox. el 26 % y por granos GAMMA globulares con un tamaño de grano de 5,7 μm ± 2,4 μm con una proporción en volumen del 49 %.

ES 2 644 256 T3

En la figura 4 está representada la estructura de la pieza deformada y a continuación recocida a 1150 °C y enfriada tras un recocido secundario en el intervalo de la temperatura de transición de fase alfa (T_α) en el caso dado a una temperatura de 1240 °C y un enfriamiento de ésta hasta 700 °C en 5 min y enfriamiento posterior al aire.

5 Las partes constituyentes de la estructura determinadas eran: granos ALFA₂ en formación globular con un tamaño de grano de $11,0 \mu\text{m} \pm 5,8 \mu\text{m}$ con una proporción en volumen del 73 %, granos BETA₀ globulares con un tamaño de grano de $4,5 \mu\text{m} \pm 2,6 \mu\text{m}$ con una proporción en volumen del 11 % y granos GAMMA globulares con un tamaño de grano de $4,2 \mu\text{m} \pm 2,2 \mu\text{m}$ con una proporción en volumen del 16 %.

10 La figura 5 muestra la estructura de la pieza deformada tras un recocido de grano fino en el intervalo de temperatura eutectoide (T_{eu}), un recocido a alta temperatura en el espacio de fases ($\alpha+\beta+\gamma$) o bien un recocido a la temperatura de transición de la fase alfa (T_α) a 1240 °C y un enfriamiento forzado seguido de un recocido de estabilización en el caso dado a 875 °C con posterior enfriamiento lento con una velocidad de 2 °C/min.

15 En este punto debe determinarse que mediante variaciones de la temperatura de recocido y/o del tiempo de recocido pueden ajustarse la microestructura de la estructura y el perfil de propiedades del material.

20 Tras el tratamiento térmico anterior, la estructura estaba constituida por granos ALFA₂/GAMMA globulares con estructura lamelar α/γ con un tamaño de grano de $7,1 \mu\text{m} \pm 3,8 \mu\text{m}$ con una proporción en volumen del 64 %, por granos BETA₀ globulares con un tamaño de grano de $2,3 \mu\text{m} \pm 2,2 \mu\text{m}$ con una proporción en volumen del 13 % y por fases GAMMA globulares con un tamaño de grano de $2,7 \mu\text{m} \pm 2,1 \mu\text{m}$ con una proporción en volumen del 23 %.

25 Como también las demás muestras de series de ensayo se midieron en esta pieza las propiedades mecánicas más importantes. A temperatura ambiente se encontraban los valores de resistencia $R_{p0,2}$ por encima de 720 MPa, R_m por encima de 810 MPa y el alargamiento de rotura por encima del 1,6 %.

A 700 °C se determinó en el ensayo de fluencia (ASTME139 o EN2005-5) con una tensión de prueba en la muestra de 250 MPa y una duración de sollicitación de 100 horas, un valor A_p inferior al 0,65 %.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la fabricación de una pieza de construcción a partir de una aleación a base de aluminio-titanio, en el que en una primera etapa se prepara un material previo acabado mediante metalurgia en fundido o pulvimetalurgia con una composición química en % en átomos de:

5		aluminio (Al)	41	a	48
		opcionalmente			
10		niobio (Nb)	4	a	9
		molibdeno (Mo)	0,1	a	3,0
		manganeso (Mn)		hasta	2,4
		boro (B)		hasta	1,0
		silicio (Si)	hasta	1,0	
15		carbono (C)		hasta	1,0
		oxígeno (O)		hasta	0,5
		nitrógeno (N)	hasta	0,5	

titanio e impurezas como resto,

20 y este material previo se prensa con un aumento de la presión hasta al menos 150 MPa a una temperatura de al menos 1000 °C tras calentamiento durante un periodo de tiempo de al menos 60 min de manera isostática para dar una pieza en bruto, tras lo cual en una segunda etapa se somete la pieza en bruto HIP a una conformación en caliente mediante una conformación masiva rápida con una velocidad superior a 0,4 mm/s y una conformación mediante recalado medida como alargamiento local φ superior a 0,3, definiéndose φ tal como sigue:

25
$$\varphi = \ln (h_f/h_o)$$

h_f = altura de la pieza tras el recalado
 h_o = altura de la pieza antes del recalado

30 u otro procedimiento de conformación con deformación mínima igualmente alta, en particular mediante fraguado a una temperatura en el intervalo de 1000 a 1350 °C con formación de una pieza de construcción con un enfriamiento posterior de la misma, ascendiendo el intervalo de tiempo hasta alcanzar una temperatura de 700 °C a como máximo 10 min, formándose una estructura, que se recupera de manera dinámica sólo en pequeñas zonas parciales o puede estar recristalizada, esencialmente sin embargo presenta una estructura de deformación con alto potencial de energía de recristalización, tras lo cual la pieza de construcción se somete para un ajuste de propiedades de material deseadas en una tercera etapa a un tratamiento térmico, en el que en el intervalo de la temperatura eutectoide (T_{eu}) de la aleación, en particular de 1010 a 1180 °C en un intervalo de tiempo de 30 a 1000 min a partir de la estructura de deformación, debido a la energía de deformación almacenada y la fuerza motriz para la reestructuración de la estructura, que está constituida por el desequilibrio de fases químicas tras la deformación y el enfriamiento, se forma tras un enfriamiento al aire una microestructura homogénea, finamente globular, formada por las fases que presentan a temperatura ambiente una estructura atómica ordenada:

GAMMA, BETA₀, ALFA₂ (γ , β_0 , α_2) con una formación:

45 ALFA₂: globular con un tamaño de grano de 1 a 50 μ m con una proporción en volumen del 1 % al 50 %, que pueden contener lamelas γ más gruesas, aisladas con un espesor de > 100 nm

BETA₀: globular que rodea la fase α_2 , con un tamaño de grano de 1 a 25 μ m con una proporción en volumen del 1 % al 50 %

GAMMA: globular que rodea la fase α_2 , con un tamaño de grano de 1 a 25 μ m con una proporción en volumen del 1 % al 50 %,

50 y en una etapa subordinada se realiza (se realizan) opcionalmente al menos otro tratamiento térmico, en particular recocido secundario y/o recocido de estabilización de la pieza de construcción.

2. Procedimiento para la fabricación de una pieza de construcción a partir de una aleación a base de aluminio-titanio, en el que en una primera etapa se prepara un material previo acabado mediante metalurgia en fundido o pulvimetalurgia con una composición química en % en átomos de:

60		Al	42	a	44,5
		opcionalmente			
		Nb	3,5	a	4,5
		Mo	0,5	a	1,5
		Mn		hasta	2,2
		B	0,05	a	0,2
65		Si	0,001	a	0,01
		C	0,001	a	1,0

ES 2 644 256 T3

O	0,001	a	0,1
N	0,0001	a	0,02

titanio e impurezas como resto,

5 y este material previo se prensa con un aumento de la presión hasta al menos 150 MPa a una temperatura de al menos 1000 °C tras calentamiento durante un periodo de tiempo de al menos 60 min de manera isostática para dar una pieza en bruto, tras lo cual en una segunda etapa se somete la pieza en bruto a una conformación en caliente mediante una conformación masiva rápida con una velocidad superior a 0,4 mm/s y una conformación mediante recalado medida como alargamiento local φ superior a 0,3, definiéndose φ tal como sigue:

10

$$\varphi = \ln (h_f/h_o)$$

h_f = altura de la pieza tras el recalado
 h_o = altura de la pieza antes del recalado

15

u otro procedimiento de conformación con deformación mínima igualmente alta, en particular mediante fraguado a una temperatura en el intervalo de 1000 a 1350 °C con formación de una pieza de construcción con un enfriamiento posterior de la misma, ascendiendo el intervalo de tiempo hasta alcanzar una temperatura de 700 °C a como máximo 10 min, formándose una estructura, que se recupera de manera dinámica sólo en pequeñas zonas parciales o puede estar recristalizada, esencialmente sin embargo presenta una estructura de deformación con alto potencial de energía de recristalización,

20

tras lo cual se somete la pieza de construcción para un ajuste de propiedades de material deseadas en una tercera etapa a un tratamiento térmico, que se realiza con un intervalo de tiempo de 30 a 600 min en el intervalo de la temperatura eutectoide (T_{eu}) de la aleación, en particular de 1040 a 1170 °C, formándose a partir de la estructura de deformación tras un enfriamiento al aire una microestructura homogénea, finamente globular, que está constituida por las fases que presentan a temperatura ambiente una estructura atómica ordenada:

25

GAMMA, BETA₀, ALFA₂ (γ , β_0 , α_2)
con una formación:

30

ALFA₂: globular con un tamaño de grano de 1 a 10 μm con una proporción en volumen del 10 % al 35 % que pueden contener lamelas γ más gruesas, aisladas con un espesor de > 100 nm

BETA₀: globular que rodea la fase α_2 , con un tamaño de grano de 1 a 10 μm con una proporción en volumen del 15 % al 45 %

35

GAMMA: globular que rodea la fase α_2 , con un tamaño de grano de 1 a 10 μm con una proporción en volumen del 15 % al 60 %,

y opcionalmente se realiza (se realizan) en una etapa subordinada al menos otro tratamiento térmico, en particular recocido secundario y/o recocido de estabilización de la pieza de construcción.

40

3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la pieza de construcción con una estructura fina creada en la tercera etapa se somete, para el ajuste de propiedades de alta temperatura del material optimizadas, al menos a un recocido secundario, que se realiza en el intervalo próximo a la temperatura de transición de fase alfa (T_α) de la aleación en el espacio de tres fases (alfa, beta, gamma) durante un periodo de tiempo de al menos 30 a como máximo 6000 min, tras lo cual se enfría la pieza en un intervalo de tiempo inferior a 10 min hasta una temperatura de 700 °C y a continuación más preferentemente al aire y de manera que se forma una formación de fases:

45

ALFA₂: globular sobresaturada, eventualmente que contiene lamelas γ poco finas, con un tamaño de grano de 5 a 100 μm con una proporción en volumen del 25 % al 98 %

BETA₀: globular, con un tamaño de grano de 1 a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 25 %

50

GAMMA: globular, con un tamaño de grano de 1 a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 50 %.

4. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que la pieza de construcción con una estructura fina creada en la tercera etapa se somete para el ajuste de propiedades de alta temperatura del material optimizadas al menos a un recocido secundario, que se realiza en el intervalo próximo a la temperatura de transición de fase alfa (T_α) de la aleación en el espacio de tres fases (alfa, beta, gamma) durante un periodo de tiempo de al menos 30 a como máximo 6000 min, tras lo cual se enfría la pieza en un intervalo de tiempo inferior a 10 min hasta una temperatura de 700 °C y a continuación adicionalmente, de manera preferente al aire y de manera que se forma una formación de fases:

55

ALFA₂: globular sobresaturada, eventualmente que contiene lamelas γ poco finas, con un tamaño de grano de 5 a 80 μm con una proporción en volumen del 50 % al 98 %

BETA₀: globular, con un tamaño de grano de 1 a 20 μm con una proporción en volumen del 1 % al 25 %

GAMMA: globular, con un tamaño de grano de 1 a 20 μm con una proporción en volumen del 1 % al 28 %.

60

5. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que la pieza de construcción tras un recocido secundario de

acuerdo con la reivindicación 3 se somete al menos a un recocido de estabilización, que se realiza en un intervalo de temperatura de 700 a 1000 °C, en todo caso por encima de la temperatura de aplicación de la pieza de construcción con una duración de 60 a 1000 min y un enfriamiento posterior lento o bien de horno con una velocidad inferior a 5 °C/min, preferentemente inferior a 1 °C/min, para el ajuste o la formación de las partes constituyentes de la estructura:

ALFA₂ /GAMMA: grano lamelar con un tamaño de grano de 5 a 100 μm con una proporción en volumen del 25 % al 98 % con una estructura fina de lamelas (α_2/γ), preferentemente con una distancia promedio entre lamelas de 10 nm a 1 μm

BETA₀: globular, con un tamaño de grano de 1 a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 25 %

GAMMA: globular, con un tamaño de grano de 1 a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 50 %.

6. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la pieza de construcción tras un recocido secundario de acuerdo con la reivindicación 4 se somete al menos a un recocido de estabilización, que se realiza en un intervalo de temperatura de 700 a 1000 °C, en todo caso por encima de la temperatura de aplicación de la pieza de construcción con una duración de 60 a 1000 min y un enfriamiento posterior lento o bien de horno con una velocidad inferior a 5 °C/min, preferentemente inferior a 1 °C/min, para el ajuste o la formación de las partes constituyentes de la estructura:

ALFA₂ /GAMMA: grano lamelar con un tamaño de grano de 5 a 80 μm con una estructura fina de lamelas (α_2/γ), preferentemente con una distancia promedio entre lamelas de 10 a 30 nm, y con una proporción en volumen del 45 % al 90 %

BETA₀: globular, con un tamaño de grano de 1 a 20 μm con una proporción en volumen del 1 % al 25 %

GAMMA: globular, con un tamaño de grano de 1 a 20 μm con una proporción en volumen del 1 % al 25 %.

7. Pieza de construcción de una aleación a base de aluminio-titanio con una composición química de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, fabricada con dimensiones próximas a las dimensiones finales, que puede obtenerse con un procedimiento según la reivindicación 1 o 2, con una estructura del material, que está constituida por las fases que presentan a temperatura ambiente una estructura atómica ordenada:

GAMMA, BETA₀, ALFA₂ (γ , β_0 , α_2) con una formación:

ALFA₂: globular con un tamaño de grano de 1 a 50 μm con una proporción en volumen del 1 % al 50 %, que pueden contener lamelas γ más gruesas, aisladas con un espesor de > 100 nm

BETA₀: globular que rodea la fase α_2 , con un tamaño de grano de 1 a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 50 %

GAMMA: globular que rodea la fase α_2 , con un tamaño de grano de 1 a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 60 %

que puede obtenerse con un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, presentando el material las siguientes propiedades mecánicas en el intervalo de:

- resistencia y alargamiento de rotura a temperatura ambiente:

- R_{p0,2}: 650 a 910 MPa

- R_m: 680 a 1010 MPa

- A_t: 0,5 a 3 %

- resistencia y alargamiento de rotura a 700 °C:

- R_{p0,2}: 520 a 690 MPa

- R_m: 620 a 970 MPa

- A_t: 1 a 3,5 %.

8. Pieza de construcción de una aleación a base de aluminio-titanio con una composición química de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, fabricada con dimensiones próximas a las dimensiones finales, con una estructura del material que está constituida por:

ALFA₂: globular sobresaturada, eventualmente que contiene lamelas γ poco finas, con un tamaño de grano de 5 a 80 μm con una proporción en volumen del 50 % al 95 %

BETA₀: globular, con un tamaño de grano de 1 a 20 μm con una proporción en volumen del 1 % al 25 %

GAMMA: globular, con un tamaño de grano de 1 a 20 μm con una proporción en volumen del 1 % al 28 %

ajustada según un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, presentando el material las siguientes

ES 2 644 256 T3

propiedades mecánicas en el intervalo de:

- resistencia y alargamiento de rotura (según la norma ASTM E8M, EN 2002-1) a temperatura ambiente:

5

- $R_{p0,2}$: 650 a 940 MPa
- R_m : 730 a 1050 MPa
- A_t : 0,2 a 2 %

- resistencia y alargamiento de rotura a 700 °C:

10

- $R_{p0,2}$: 430 a 620 MPa
- R_m : 590 a 940 MPa
- A_t : 1 a 2,5 %.

15 9. Pieza de construcción de una aleación a base de aluminio-titanio con una composición química de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, fabricada con dimensiones próximas a las dimensiones finales, con una estructura del material que está constituida por las partes constituyentes con una formación:

20 ALFA₂ / GAMMA: grano lamelar con un tamaño de grano de 5 a 100 μm con una proporción en volumen del 25 % al 98 % con una estructura fina de lamelas (α_2/γ), preferentemente con una distancia promedio entre lamelas de 10 a 1 nm

BETA₀: globular, con un tamaño de grano de 0,5 a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 25 %

GAMMA: globular, con un tamaño de grano de 0,5 a 25 μm con una proporción en volumen del 1 % al 50 %

25 ajustada según un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, presentando el material las siguientes propiedades mecánicas en el intervalo de:

- resistencia y alargamiento de rotura (según la norma ASTM E8M, EN 2002-1) a temperatura ambiente:

30

- $R_{p0,2}$: 710 a 1020 MPa
- R_m : 800 a 1250 MPa
- A_t : 0,8 a 4 %

- resistencia y alargamiento de rotura a 700 °C:

35

- $R_{p0,2}$: 540 a 760 MPa
- R_m : 630 a 1140 MPa
- A_t : 1 a 4,5 %.

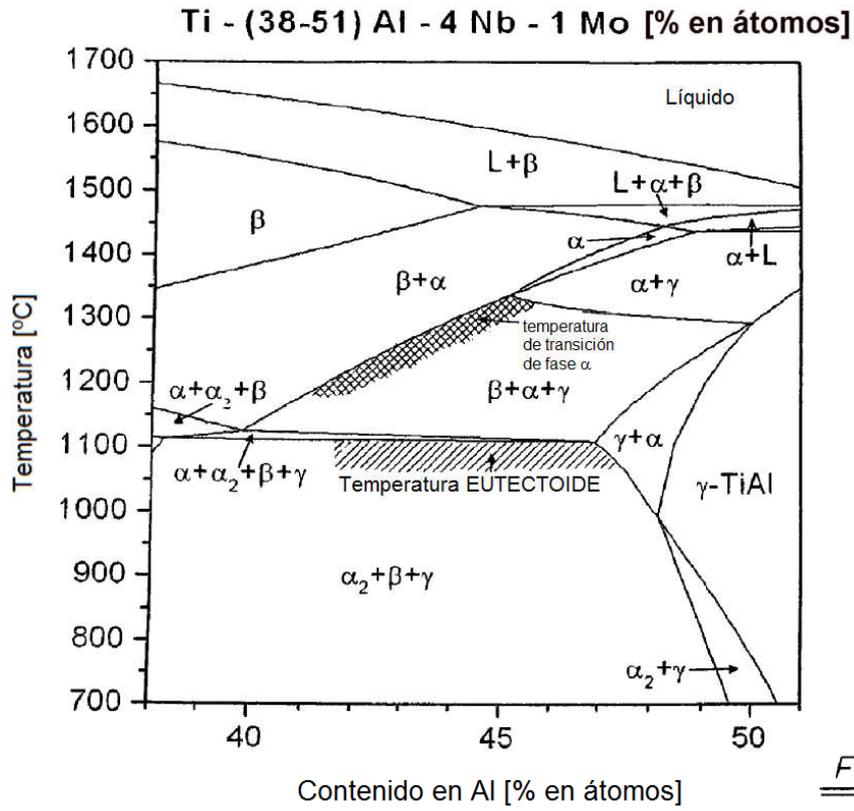


Fig. 2

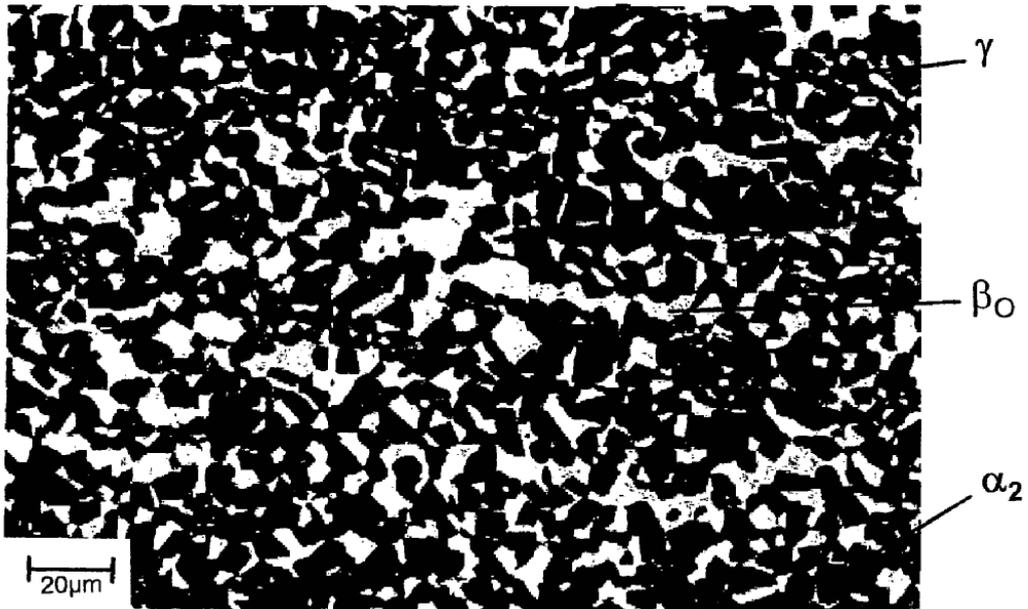


Fig. 3

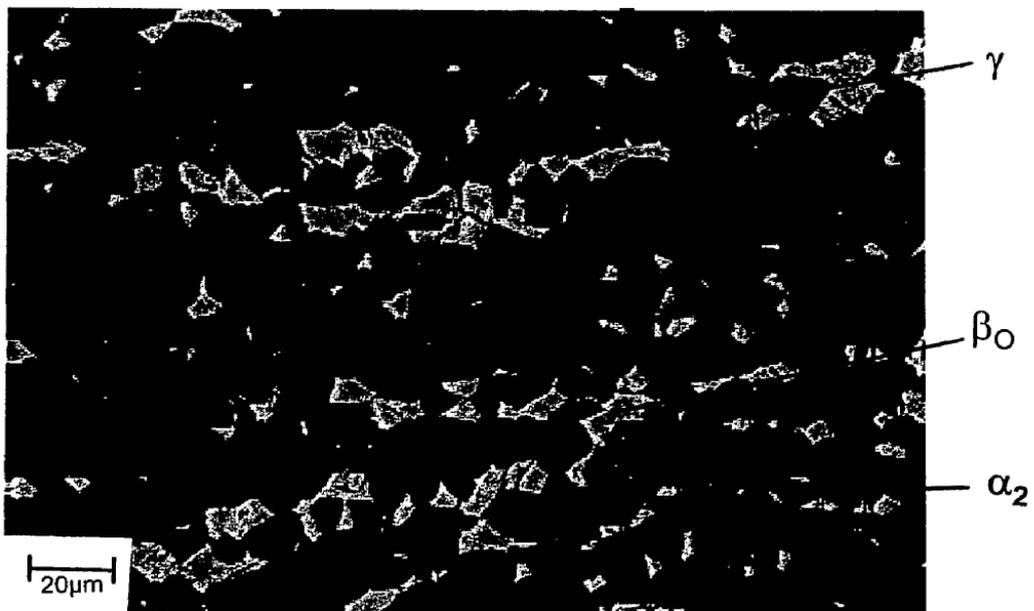


Fig. 4

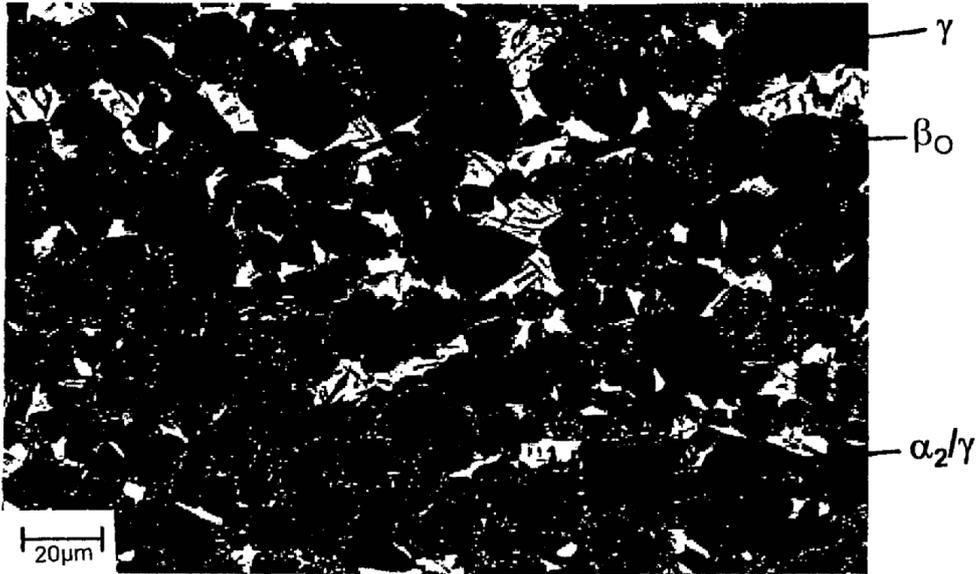


Fig. 5