

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 387 684**

51 Int. Cl.:

C22F 1/18 (2006.01)

C22C 14/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06806675 .2**

96 Fecha de presentación: **03.11.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1945827**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **23.07.2008**

54 Título: **Aleación de Ti deformable en frío**

30 Prioridad:
03.11.2005 DE 102005052918

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
28.09.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
28.09.2012

73 Titular/es:
**HEMPEL, ROBERT P.
FRIEDRICH-BEHRENS-WEG
28355 BREMEN, DE**

72 Inventor/es:
**SKVORTSOVA, Svetlana y
ILIN, Alexander**

74 Agente/Representante:
Roeb Díaz-Álvarez, María

ES 2 387 684 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 Ti deformable en frío.

5 La invención se refiere a un procedimiento de tratamiento térmico para la fabricación de aleaciones de titanio ($\alpha+\beta$) deformables en frío. La invención se refiere además al uso de aleaciones de titanio ($\alpha+\beta$) tratadas en caliente para la fabricación de componentes a partir de la aleación de titanio mediante deformación en frío.

10 El uso de componentes de aleaciones de titanio es cada vez más atractivo en los más variados sectores de la técnica. El motivo de este atractivo es especialmente la baja densidad específica de las aleaciones de titanio con al mismo tiempo valores de resistencia altos y la baja sensibilidad a la corrosión de las aleaciones de titanio.

15 Las aleaciones de titanio pueden clasificarse en principio según las fases presentes a temperatura ambiente en las llamadas aleaciones de titanio α , $\alpha+\beta$ y β . El titanio puro se encuentra a temperatura ambiente en la fase α (estructura hexagonal) y a aproximadamente 890°C (transición β) se transforma en una fase β cúbica centrada en el espacio. La temperatura de transición de las aleaciones de titanio se influye por el tipo y la cantidad de proporciones de aleación y además puede influirse por un pretratamiento mecánico, químico o térmico de la aleación de titanio.

20 Mediante la adición de determinados elementos de aleación, la fase α puede estabilizarse durante un intervalo de temperatura más amplio (elevación de la temperatura de transición β). La adición de otros elementos de aleación genera y estabiliza la fase β (reducción de la temperatura de transición β). Por tanto, los elementos de aleación pueden clasificarse en los llamados estabilizadores de α y estabilizadores de β . Los estabilizadores de α técnicamente usados son, por ejemplo, oxígeno, nitrógeno, carbono o aluminio. Los estabilizadores de β técnicamente usados hoy en día son, por ejemplo, hidrógeno, vanadio, molibdeno, hierro, cromo, cobre, paladio o silicio.

30 Las aleaciones con una alta proporción de fase α presentan regularmente valores de resistencia más bajos que las aleaciones con una alta proporción de fase β . La densidad específica de las aleaciones de titanio con alta proporción de β es regularmente mayor que la densidad específica de aquellas aleaciones de titanio con alta proporción de fase α . Debido al gran número de planos de deslizamiento de la red cúbica del titanio β , la fase β es mejor deformable en frío que la fase α . Las aleaciones técnicamente usadas representan generalmente un compromiso en el que la proporción de fase α y fase β se ajusta mediante adición a la aleación de los correspondientes estabilizadores de α y β como requieren, por ejemplo, las propiedades de fabricación deseadas, valores de resistencia y propiedades de corrosión del componente.

35 Un problema todavía sin resolver en la fabricación de componentes a partir de aleaciones de titanio es la pequeña variedad de procedimientos de fabricación puestos a disposición en comparación con otros materiales metálicos o plásticos. Las aleaciones de titanio solo pueden soldarse y deformarse en caliente regularmente con gran esfuerzo. Las aleaciones de titanio técnicamente comunes solo pueden deformarse en frío a pequeña escala. Por
40 deformabilidad en frío se entiende la capacidad de un material para deformarse a temperatura ambiente sin que mediante esta deformación se realice un perjuicio considerable de la resistencia o una formación de fisuras.

45 El procesamiento por soldadura, la deformación en caliente y la deformación en frío influyen además en una medida considerable en los valores de resistencia de los componentes así fabricados, de manera que los componentes sometidos a grandes esfuerzos o componentes en el intervalo relevante para la seguridad solo pueden procesarse limitadamente de esa forma. Por tanto, en la fabricación de componentes de titanio a gran escala se recurre a la costosa fabricación mediante procesamiento de mecanizado por arranque de virutas. Por tanto, los componentes de las aleaciones de titanio han encontrado actualmente aplicación casi exclusivamente en productos de alto precio, así, por ejemplo, en el sector de la aeronáutica, especialmente de la aeronáutica militar y en el sector de la técnica
50 médica.

55 Por el documento RU 2211873 se conoce una aleación de titanio que contiene 1,5-3,0% en peso de aluminio (todos los datos en % deben entenderse a continuación como datos de % en peso), 4,5-8,0% de molibdeno, 1,0-3,5% de vanadio, 1,5-3,8% de hierro. Después del tratamiento térmico, esta aleación, que se ha fabricado basándose en elementos de aleación relativamente rentables, puede alcanzar una relación determinada de resistencia y propiedades dúctiles y usarse para la fabricación de algunos tipos de elementos de refuerzo y resortes. La desventaja principal de esta aleación radica en el costoso tratamiento térmico que es necesario para alcanzar estas propiedades.

60 Por el documento RU 1584408 se conoce una aleación de titanio que contiene 1,2-3,8% de aluminio, 5,1-6,5% de molibdeno, 4,0-6,5% de vanadio, 0,01-0,05% de silicio, 0,005-0,015% de hidrógeno. Esta aleación tiene concretamente una elevada ductilidad durante la deformación de varias etapas y se usa para la fabricación de remaches. Sin embargo, esta aleación no tiene propiedades de resistencia suficientemente altas para componentes sometidos a grandes esfuerzos.

65 Por el documento US 4.842.652 se conoce un procedimiento de un tratamiento térmico de aleación de titanio ($\alpha+\beta$) (Ti-6426) que está constituido por forja en caliente a una temperatura superior a la transición β , tratamiento de los

5 cristales mixtos de la aleación de forja por debajo de la transición β pero en el transcurso la transición β menos 50°C durante de una a cuatro horas, enfriamiento en agua a temperatura ambiente o transferencia a un baño de sales con una temperatura de 100-1400°F (204-760°C) y templado y revenido (tratamiento de precipitaciones) a una temperatura de 1100-1200°F (593-650°C) durante de dos a 16 horas. Un tratamiento térmico de este tipo permite concretamente la elevación de la resistencia a la rotura y la baja resistencia a las oscilaciones de las aleaciones de titanio ($\alpha+\beta$), pero al mismo tiempo la aleación pierde la deformabilidad plástica a temperatura ambiente.

10 Por el artículo L.X. Lee y col. "Flow stress behaviour and deformation characteristics of Ti-3Al-5V-5Mo compressed at elevated temperatures" materials and design, tomo 23, 2002, pág. 451-457, XP002413477, se conoce una aleación de titanio Ti-3Al-5V-5Mo. La aleación se somete a un ensayo de presión en un intervalo de temperatura de 700 - 1000°C y una tasa de alargamiento de 0,05 - 15/s. La temperatura de transición β para la aleación asciende a aproximadamente 860°C. A partir de la aleación se fabricaron varillas laminadas en caliente y se tornearon a 10 mm de diámetro.

15 Por M.J. Donachie: "Titanium - technical guide" 2000, ASM International. Materials Park, Ohio, XP002413485, se conoce incluir por aleación del 2 al 6% en peso de estaño como estabilizador de α y del 2 al 8% en peso de circonio como solidificador de α y β en aleaciones de titanio.

20 Por Y. Combres, J.-J. Blandin: "Comparison of the β -CEZ and Ti-64 superlastic properties", Titanium '95: Science and Technology, 1996, pág. 864-871, XP002413478, editores P.A. Blankinsop, W.J. Evans, H.M. Flower, se conoce una aleación de titanio β de titanio con 5,05% de Al, 1,98% de Sn, 4,07% de Zr, 4,03% de Mo, 2,18% de Cr, 1% de Fe y una aleación de titanio con 4,9% de Al, 2% de Sn, 4,37% de Zr, 3,99% de Mo, 2% de Cr, 0,93% de Fe y pequeñas proporciones de O, C, H, N. La temperatura de transición β asciende a aproximadamente 890°C.

25 Finalmente, por el documento US 5.697.183 se conoce un procedimiento de tratamiento térmico de la aleación de titanio ($\alpha+\beta$) que comprende un procesamiento en caliente en la región de fases ($\alpha+\beta$) con una tasa de deformación de no menos del 30%, a continuación procesamiento en un intervalo de temperatura de la transición β menos 55°C a la transición β menos 10°C durante 60 minutos y enfriamiento con aire y posterior tratamiento térmico de la aleación de titanio enfriada con aire en un intervalo de temperatura de la transición β menos 250°C a la transición β menos 120°C durante 60 minutos y enfriamiento con aire. Un procedimiento de este tipo de un tratamiento en caliente permite concretamente a su vez la elevación de la resistencia a la rotura sin empeorar decisivamente a este respecto la ductilidad. Sin embargo, la ductilidad de la aleación no se lleva a un valor tal de forma que la aleación pueda deformarse a temperatura ambiente una cantidad suficiente para las geometrías de productos habituales.

35 Pero, debido a las propiedades especialmente ventajosas de las aleaciones de titanio mencionadas al principio, sería interesante la utilización de componentes de aleaciones de titanio en una pluralidad de otros sectores técnicos, especialmente en algunos sectores de productos a gran escala en los que se necesita una técnica de fabricación favorable.

40 Por tanto, el objetivo de la invención se basó en proporcionar un procedimiento para el procesamiento de una aleación de titanio que permitiera un procesamiento más rentable.

45 Una aleación de titanio que presenta aproximadamente 2 - 4,0% en peso de aluminio, aproximadamente 4 - 5,5% en peso de vanadio, aproximadamente 4,0 - 6,0% en peso de molibdeno, aproximadamente 0,5 - 1,5% en peso de circonio y aproximadamente 0,5 - 1,5% en peso de estaño es adecuada, por una parte, para el procesamiento inmediato mediante deformación en frío sin tratamiento térmico precedentemente separado, es decir, inmediatamente después de la fabricación del producto semiacabado, por ejemplo, mediante laminado en caliente. Sin embargo, la aleación de titanio $\alpha+\beta$ deformable en frío previamente descrita es además especialmente adecuada cuando se alcanzan mayores tasas de deformación en frío con al mismo tiempo alta resistencia del componente deformado en frío, también para la aplicación del procedimiento de tratamiento térmico según la invención descrito a continuación. La combinación de la aleación de titanio $\alpha+\beta$ aleada de esta forma con el procedimiento de tratamiento térmico según la invención alcanza resultados especialmente buenos en lo referente a la deformabilidad en frío y la resistencia de los componentes fabricados.

55 Mediante la adición a la aleación de los elementos de aleación mencionados en las proporciones másicas mencionadas se alcanza a temperatura ambiente una estructura de fase mixta $\alpha+\beta$ especialmente ventajosa para la deformabilidad en frío del producto semiacabado y la resistencia del componente, especialmente cuando la aleación se trate con el procedimiento de tratamiento térmico según la invención. El estaño y el circonio son elementos de aleación de sustitución neutros y su adición produce una solidificación de cristales mixtos eficaz. El contenido de estaño y circonio de menos del 0,5% no produce una solidificación de la aleación. El contenido óptimo de estaño y circonio en la aleación es 0,5-1,5% de la masa. Aquellas concentraciones conducen a una elevación de la resistencia de la aleación debido a la solidificación de cristales mixtos de las fases α y β , pero prácticamente sin variar la ductilidad de la aleación. Una elevación del contenido de estaño y circonio claramente por encima del 1,5% de la masa empeora la ductilidad de la aleación.

65 Además, es ventajoso que la aleación de titanio presente aproximadamente 0,1-0,4% en peso de oxígeno. La adición de este elemento de aleación ha demostrado ser ventajosa para la deformabilidad en frío y resistencia de la

aleación de titanio tratada en caliente. El oxígeno es un elemento fuertemente estabilizador de α . Una elevación del contenido de oxígeno en la aleación produce una elevación de la proporción de fase α y una fuerte solidificación debido a la formación de disolución intersticial sólida. El contenido de oxígeno óptimo en la aleación es 0,1-0,4% de la masa. Un contenido de oxígeno de este tipo no conduce a un cambio significativo de la proporción de fase α (aproximadamente 3-5%), pero prácticamente permite elevar su resistencia y en consecuencia el nivel de resistencia total sin reducir la ductilidad.

El objetivo en el que se basa la invención se alcanza según la invención mediante un procedimiento de tratamiento térmico según la reivindicación 1.

La invención se basa en el conocimiento de que la clase de aleación conocida, por ejemplo, por el documento US 5.679.183 no consigue mediante su tratamiento térmico ningún crecimiento de partículas α existentes, sino que genera nuevas partículas que presentan una morfología laminar fina. Aunque una estructura bimodal formada de este tipo tiene una resistencia a la rotura considerable, asume una reducción de ductilidad considerable. El posterior calentamiento en el intervalo de temperatura de la transición β menos 250°C a la transición β menos 120°C produce concretamente el aumento de las precipitaciones distribuidas y, por tanto, una elevación de la ductilidad. Sin embargo, se mantiene la estructura bimodal, ya que está constituida por una pequeña cantidad de fase β y partículas de fase α de diferente morfología (geométricamente homogénea y laminar). Una estructura de este tipo no puede proporcionar un punto de partida para una ductilidad a temperatura ambiente.

La invención se basa en el conocimiento de que estructuras globulares presentan una buena combinación de resistencia y ductilidad. Pueden obtenerse en aleaciones de titanio ($\alpha+\beta$) después de la deformación en la región bifásica próxima a la temperatura de la transición β . Sin embargo, el equilibrio de la resistencia y la ductilidad depende de los tamaños de los componentes estructurales. Cuanto más finas sean geométricamente homogéneamente las precipitaciones de fase α , mayor será la resistencia y menor será la ductilidad. En partículas globulares muy grandes de fase α se producirá una reducción considerable de la resistencia y de la resistencia a la rotura con bajo aumento de la ductilidad.

En consecuencia, se necesita una elección correcta de la composición química de la aleación y un procedimiento de tratamiento térmico para una elevación equilibrada de la ductilidad sin reducción considerable de la resistencia para hacer posible una deformación a temperatura ambiente a un grado de deformación suficiente para geometrías de producto típicas, especialmente un grado de deformación de no más del 60%.

Mediante el procedimiento de tratamiento térmico según la invención se proporciona una aleación de titanio $\alpha+\beta$ que, por una parte, presenta una alta ductilidad y, por otra parte, presenta una solidificación muy baja en la deformación. El calentamiento de la aleación de titanio hasta la temperatura de recocido inferior puede realizarse con diferentes tasas de calentamiento. Preferiblemente se elige un calentamiento lento con una tasa de calentamiento de menos de 20° por minuto para evitar la formación de fisuras de tensión. El recocido de la aleación de titanio se realiza preferiblemente en atmósfera inerte para evitar una difusión de elementos de acción fragilizante (por ejemplo, oxígeno, nitrógeno o carbono) en la aleación de titanio.

El enfriamiento de la aleación de titanio a temperatura ambiente se realiza preferiblemente también en atmósfera inerte. Las aleaciones de titanio $\alpha+\beta$ son curables, como muchos materiales metálicos, mediante templado a una temperatura de recocido. Sin embargo, no se desea este efecto cuando deba fabricarse un material de aleación de titanio muy deformable en frío. Por tanto, la tasa de enfriamiento se elige preferiblemente tan baja que se evite un curado de la aleación de titanio.

El procedimiento según la invención comprende las siguientes etapas antes del recocido a la temperatura de recocido inferior:

1. Recocido de la aleación de titanio a una temperatura de recocido superior que se encuentra de 50° a 100° por debajo de la temperatura de transición (transición β), especialmente de 60° a 100° por debajo de la temperatura de transición (transición β),

2. Enfriamiento de la aleación de titanio a la temperatura de recocido inferior.

La primera etapa de la puesta en marcha se elige en un intervalo de temperatura de la transición β menos 50°C a la transición β menos 100°C. La estructura de la aleación se caracteriza por partículas globulares separadas de la fase α que a esta temperatura están dispuestas en una matriz β . El mantenimiento isoterma a esta temperatura no proporciona solo una disolución de la fase α (secundaria) en exceso y una aproximación al estado de equilibrio de la fase α y β , sino que también conduce a una reducción de los efectos estructurales en el transcurso de la realización de un proceso de poligonización. Después de terminar el mantenimiento isoterma, la aleación a la temperatura de transición β menos 160°C a la transición β menos 230°C se enfría a una tasa de enfriamiento de 0,01-0,02°/s. Una tasa de enfriamiento de este tipo no permite la formación de nuevas partículas de la fase α a partir de la matriz β durante el enfriamiento, sino que permite el crecimiento de cristales α primarios ya existentes en la estructura. El mantenimiento isoterma durante 3-6 horas en la segunda etapa de la puesta en marcha permite completar el proceso de homogeneización. El posterior enfriamiento a temperatura ambiente se realiza a una tasa de

enfriamiento de 2,5-3,5°/s, lo que es suficiente para evitar precipitaciones de la fase α secundaria.

La realización de la puesta en marcha de dos etapas permite elevar el tamaño de las partículas de fase α de 1-2 μm a 5,7 μm y mantener la composición de la fase β que se corresponde con un $[\text{Mo}]_{\text{eq}} = 14-15$ y también reducir la densidad extrínseca en la fase α en el transcurso de la realización de un proceso de poligonización en la primera etapa de puesta en marcha. Mediante esto puede optimizarse más la composición de fases que va a alcanzarse para una buena deformabilidad en frío. Las etapas de tratamiento de recocido preconectadas se realizan a su vez preferiblemente en atmósfera inerte. A su vez, como antes, en el enfriamiento de la aleación de titanio debe prestarse atención a una tasa de enfriamiento que evite fisuras de tensión.

A este respecto, la invención puede optimizarse más recociéndose la aleación de titanio a la temperatura de recocido superior durante más de una hora, especialmente aproximadamente durante dos horas. A su vez, la duración del recocido depende de las dimensiones del producto semiacabado de la aleación de titanio. Una duración del recocido de más de una hora, especialmente de dos horas, ha demostrado ser fiable para la reproducción de la composición de fases deseada.

Además, en este perfeccionamiento del procedimiento es ventajoso que la aleación de titanio se recueza a la temperatura de recocido inferior durante más de tres horas, preferiblemente durante tres a seis, especialmente aproximadamente durante cuatro horas. Debido al tratamiento de recocido preconectado a mayor temperatura, la duración del recocido necesaria según el objetivo deseado para una composición de fases fiable puede reducirse a la temperatura de recocido inferior. Más de tres horas, especialmente cuatro horas, han demostrado ser suficientes en dimensiones habituales como, por ejemplo, producto semiacabado en forma de material redondo en el diámetro entre 10 y 20 mm.

Es especialmente ventajoso que la aleación de titanio de la temperatura de recocido más alta se enfríe al aire a una tasa de enfriamiento de 0,01 - 0,02°C/min a la temperatura de recocido inferior. A esta tasa de enfriamiento se evita la formación de proporciones de fase no deseadas, tensiones internas y la precipitación de elementos de aleación a un grado no deseado.

Es especialmente ventajoso que la temperatura de recocido superior ascienda a aproximadamente 770-830°C, especialmente a 800°C. Este intervalo de temperatura ha demostrado ser factible para la mayoría de las aleaciones de titanio $\alpha+\beta$ técnicamente útiles.

El procedimiento según la invención puede perfeccionarse más enfriando la aleación de titanio de la temperatura de recocido inferior al aire a una tasa de enfriamiento de aproximadamente 2,5° a 3,5°C/min a temperatura ambiente. Mediante esta tasa de enfriamiento se evitan precipitaciones no deseadas de elementos de aleación, así como formaciones de fases no deseadas, y se alcanza un resultado óptimo en lo referente a la deformabilidad en frío y la resistencia del componente deformado en frío.

El procedimiento según la invención puede utilizarse además ventajosamente si la aleación de titanio se procesa mediante un procedimiento de laminado en caliente antes del tratamiento térmico. El procedimiento de laminado en caliente es un procedimiento para fabricar, por ejemplo, productos semiacabados de perfil o productos semiacabados de chapa de aleaciones de titanio. La estructura se influye mediante el procedimiento de laminado en caliente. La estructura influida de esta forma es especialmente muy adecuada para las etapas de tratamiento térmico según la invención.

Además, es ventajoso que la temperatura de recocido inferior ascienda a aproximadamente 670-730°C, especialmente a 700°C. Esta temperatura de recocido ha demostrado ser factible para la mayoría de las aleaciones de titanio $\alpha+\beta$ técnicamente comunes.

Además, para el procedimiento según la invención es ventajoso que la aleación de titanio esté aleada con al menos un estabilizador de α y al menos un estabilizador de β . Mediante la adición de aquellos elementos de aleación puede fabricarse una aleación de titanio con una proporción de fase α y fase β optimizada a la aplicación específica. A este respecto, las proporciones de elementos de aleación estabilizadores se ajustan al procedimiento de tratamiento térmico según la invención para alcanzar la deformabilidad en frío deseada del producto semiacabado y la resistencia deseada del componente deformado en frío.

El procedimiento según la invención puede perfeccionarse más eliminando mecánicamente, especialmente por mecanizado por arranque de virutas, una capa superficial de la aleación de titanio después del recocido a la temperatura de recocido inferior y/o después del recocido a la temperatura de recocido superior. El tratamiento de recocido tiene frecuentemente, incluso cuando se realiza a atmósfera inerte, una cierta influencia sobre la capa superficial del producto semiacabado de aleación de titanio. Esta influencia produce una fragilización y elevada sensibilidad a las fisuras del producto semiacabado, lo que repercute en una menor deformabilidad en frío y menor resistencia del componente deformado en frío. Este efecto desventajoso puede contrarrestarse eliminando la capa marginal influida del producto semiacabado antes de la deformación en frío. Para esto es especialmente adecuada una fabricación por mecanizado por arranque de virutas.

Otro aspecto de la invención es el uso de una aleación de titanio $\alpha+\beta$ tratada en caliente según la descripción precedente para la fabricación de componentes de titanio mediante deformación en frío. Mediante esto es posible la rentable fabricación de componentes a gran escala a partir de una aleación de titanio. Esto es deseable, por ejemplo, para múltiples componentes en el sector del automóvil, especialmente para componentes que se emplean en la construcción de partes móviles en trenes propulsores.

A este respecto, el uso según la invención puede servir especialmente para la fabricación de tornillos de titanio mediante recalcado en frío y/o laminado de roscas. Este uso es adecuado, por ejemplo, para la fabricación de tornillos para ruedas para el sector del automóvil. El uso de tornillos para ruedas de una aleación de titanio tiene la ventaja que, por una parte, puede reducirse la fuerza de inercia de la masa de la rueda y mediante esto mejorarse las propiedades de conducción y la comodidad de la suspensión y puede reducirse el consumo del vehículo. El uso de tornillos de titanio tiene la ventaja adicional de que especialmente en el uso en combinación con llantas de aleación de aleaciones de aluminio o aleaciones de magnesio se evita una corrosión por contacto como se produce frecuentemente, por ejemplo, en el uso de tornillos de acero.

Otro aspecto de la invención es un procedimiento para la fabricación de tornillos de titanio con las etapas

- fabricación de un material redondo mediante laminado en caliente,
- tratamiento en caliente del material redondo según un procedimiento según el procedimiento de tratamiento térmico previamente descrito,
- moldeo de la cabeza del tornillo mediante recalcado en frío y
- moldeo de la rosca mediante laminado de roscas.

Mediante este procedimiento es posible una fabricación especialmente rentable de tornillos de titanio desde el punto de vista de la técnica de fabricación como componente a gran escala. A este respecto, los tornillos de titanio alcanzan y superan los valores de resistencia según la clasificación DIN 8.8 y, por tanto, son adecuados, por ejemplo, para la utilización como tornillos para ruedas.

La aleación de titanio según la invención con proporción de fases α y β destaca especialmente porque el tamaño de las partículas de la fase α asciende a aproximadamente 5-7 μ m. A este respecto, preferiblemente puede contener elementos de aleación que dan un equivalente de molibdeno $[Mo]_{eq} = 14-15$. El equivalente de molibdeno es un valor calculado a partir del tipo y la cantidad de las proporciones de aleación y para aleaciones de titanio α se encuentra normalmente entre 0 y 2,5, para aleaciones de titanio $\alpha+\beta$ entre 2,5 y 10 y para aleaciones de titanio β por encima de 10.

Las configuraciones especialmente preferidas de la invención se describen a continuación en forma de desarrollos de procedimientos y composiciones de aleación a modo de ejemplo.

I. Primer ejemplo de realización

Como aleación de titanio $\alpha+\beta$ se usa la conocida aleación Ti - 3,0Al - 4,5V - 5,0Mo. Después de la fabricación de la aleación en un procedimiento de laminado en caliente se fabrica un material redondo con, por ejemplo, 13 mm de diámetro. Este producto semiacabado puede calentarse en longitudes habituales.

El producto semiacabado se somete en un horno de recocido al siguiente tratamiento térmico:

- calentamiento a 800°C,
- tratamiento de recocido a 800°C durante dos horas,
- enfriamiento con una tasa de 0,02°C por segundo a 770°C,
- recocido a 770°C durante 30 minutos,
- enfriamiento con una tasa de 0,02°C por segundo a 740°C,
- tratamiento de recocido a 740°C durante 30 minutos,
- enfriamiento con una tasa de 0,02°C por segundo a 700°C,
- recocido a 700°C durante cuatro horas, y
- extracción del producto semiacabado del horno de recocido y enfriamiento del producto semiacabado al aire ambiente.

Los productos semiacabados así tratados pueden procesarse posteriormente a continuación, por ejemplo, mediante la fabricación de una cabeza de tornillo mediante un procedimiento de recalado en frío y la fabricación de una rosca mediante laminado de roscas a temperatura ambiente. Opcionalmente, antes del procesamiento posterior, una capa marginal del producto semiacabado puede limarse mediante procesamiento mecánico.

II. Segundo ejemplo de realización

La aleación se fabricó mediante refusión a vacío doble con electrodos de sacrificio. Su composición química es del siguiente modo: Ti -3,0% de Al - 5,0% de Mo - 4,5% de V - 1,0% de Zr - 1,0% de Sn - 0,25% de O (la temperatura de la transición β es 880°C).

El lingote obtenido de 8 kg de peso se fraguó isotérmicamente a una temperatura en la región β a un paralelepípedo rectangular de 90 x 90 mm y luego se forjó en estampa a una altura de 45 mm. El lingote se cortó luego en tiras con un sección transversal rectangular de 45 x 45 mm y se fraguó a una temperatura en la región ($\alpha+\beta$) hasta que se obtuvieron barras con un diámetro de 30 mm. Las barras se trabajaron por mecanizado por arranque de virutas usando un banco giratorio hasta que se obtuvo un diámetro de 25 mm. Los desbastes luego obtenidos se laminaron a un diámetro de 16 mm en un intervalo de temperatura de la transición β menos 50°C a la transición β menos 100°C. El primer calentamiento a la temperatura prefijada se realizó durante 30 minutos. El posterior calentamiento entre los trenes se realizó durante 4 minutos. La tasa de reducción total fue del 65%.

Después del laminado, la barra de 16 mm de diámetro se sometió a un tratamiento térmico en el intervalo de temperatura de 860-780°C durante 2 horas con posterior enfriamiento a una tasa de enfriamiento de 0,02K/s a una temperatura de 700°C (transición β menos 190°C) y mantenimiento isoterma durante 4 horas. El enfriamiento a temperatura ambiente se realizó a una tasa de enfriamiento de 3K/s.

Las barras se tornearon a un diámetro de 13 mm usando un banco giratorio.

II. Tercer ejemplo de realización

Se generó una barra de 16 mm de diámetro con el mismo procedimiento que en el segundo ejemplo de realización. Después del laminado, la barra de 16 mm de diámetro se trató en caliente en un intervalo de temperatura de 860-780°C durante 2 horas con posterior enfriamiento con aire a temperatura ambiente. Luego, la barra se calentó a la temperatura de 700°C (transición β menos 190°C) y se mantuvo durante 4 horas. El enfriamiento a temperatura ambiente se realizó al aire.

Las barras se tornearon a un diámetro de 13 mm usando un banco giratorio.

La Tabla 1 muestra otros desarrollos ventajosos del tratamiento térmico según la invención:

Etapas de tratamiento térmico				
Temperatura, °C	Duración del tratamiento de recocido (horas)	Procedimiento de enfriamiento	Procesamiento mecánico	Recocido después de los tratamientos mecánicos
700	2,5	Aire ambiente	+	-
700	7	Aire ambiente	+	-
700	7	Aire ambiente	+	700°C, 1 hora
700	2,5	en horno de recocido	+	-
700	7	en horno de recocido	+	-
700	7	en horno de recocido	+	700°C, 1 hora
800°C, enfriar a 700°C	4	Aire ambiente	+	-
800°C, enfriar a 700°C	7	Aire ambiente	+	-
800°C, enfriar a 700°C	4	Aire ambiente	+	700°C, 1 hora
800°C, enfriar a 700°C	4	en horno de recocido	+	-
800°C, enfriar a 700°C	7	en horno de recocido	+	-
800°C, enfriar a 700°C	4	en horno de recocido	+	700°C, 1 hora

Las siguientes tablas muestran las ventajosas propiedades de la invención en comparación con la aleación común Ti - 3,8% - 6,5% de V - 5,1% de Mo - 0,01% de H - 0,05% de Si.

Aleación	Temperatura de la primera etapa, °C*	Temperatura de la segunda etapa, °C**	Propiedades mecánicas			Φ, %	Grado de deformación máximo a compresión, %
			σ _{0,2} , MPa	σ _s , MPa	δ, %		
Ti - 3,0% de Al - 5,0% de Mo - 4,5% de V - 1,0% de Zr - 1,0% de Sn - 0,25% de O	860 (ac ₃ -30°)	700 (ac ₃ - 190°)	940	1010	15	60	60
	840 (ac ₃ -50°)		930	990	18	68	70
	820 (ac ₃ - 70°)		915	970	20	70	72
	800 (ac ₃ - 90°)		910	960	22	71	73
	780 (ac ₃ -		920	990	16	65	65
Ti - 3,8% de Al - 6,5% de V - 5,1% de Mo - 0,01% de H - 0,05% de Si	860	700	720	940	17	60	65
	840		685	920	20	68	74
	820		670	900	25	70	75
	800		660	880	27	70	76
	780		700	930	22	65	70

* el enfriamiento en la segunda etapa se realizó a una tasa de enfriamiento de 0,02 grados/s.

** el enfriamiento después de terminar el tratamiento térmico se realizó a una tasa de enfriamiento de 3 grados/s.

Aleación	Temperatura de la primera etapa, °C*	Temperatura de la segunda etapa, °C**	Propiedades mecánicas			Φ, %	Grado de deformación máximo a compresión, %
			σ _{0,2} , MPa	σ _s , MPa	δ, % /o		
Ti - 3,0% de Al - 5,0% de Mo - 4,5% de V - 1,0% de Zr - 1,0% de Sn - 0,25% de O	860	700	1010	1150	8	20	25
	840		1000	1130	8	23	25
	820		990	1080	9,5	27	29
	800		975	1040	10	29	31
	780		950	1000	12	34	34

5 * el enfriamiento después de la primera etapa a temperatura ambiente se realizó al aire.

** el enfriamiento después de terminar el tratamiento térmico se realizó al aire.

10 Se aprecia que la adición a la aleación de estaño y circonio permite una elevación de la resistencia, mientras que las propiedades plásticas permanecen a un alto nivel (Tabla 1). Además de las condiciones reivindicadas de la formación en caliente y del tratamiento térmico en comparación con el estado de la técnica (Tabla 2), la realización de una deformación también se hace posible mediante compresión a temperatura ambiente a un valor de no menos del 60% (Tabla 1).

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de tratamiento térmico para la fabricación de aleaciones de titanio ($\alpha+\beta$) deformables en frío, con las etapas:
- 5 - recocido de la aleación de titanio a una temperatura de recocido inferior que se encuentra entre 160° y 230° por debajo de la temperatura de transición (transición β),
- 10 - enfriamiento de la aleación de titanio a temperatura ambiente,
- caracterizado por las siguientes etapas antes del recocido a la temperatura de recocido inferior:
- recocido de la aleación de titanio a una temperatura de recocido superior que se encuentra 50° a 100° por debajo de la temperatura de transición (transición β),
- 15 - enfriamiento de la aleación de titanio a la temperatura de recocido inferior.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la temperatura de recocido superior se encuentra de 60° a 100° por debajo de la temperatura de transición (transición β).
- 20 3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado porque la aleación de titanio se recuece a la temperatura de recocido superior durante más de una hora, especialmente durante dos horas.
4. Procedimiento según la reivindicación 2 o 3, caracterizado porque la aleación de titanio se recuece a la temperatura de recocido inferior durante más de tres horas, especialmente durante tres a seis, preferiblemente durante cuatro horas.
- 25 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizado porque la aleación de titanio se enfría de la temperatura de recocido superior al aire a una tasa de enfriamiento de 0,01 - 0,02°C/min a la temperatura de recocido inferior.
- 30 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, caracterizado porque la temperatura de recocido superior asciende a 770-830°C, especialmente a 800°C.
- 35 7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la aleación de titanio se enfría de la temperatura de recocido inferior al aire a una tasa de enfriamiento de 2,5° a 3,5°C/min ["Enfriamiento en aire", de "Air Cooling"] a la temperatura ambiente.
- 40 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la aleación de titanio se procesa antes del tratamiento térmico mediante un procedimiento de laminado en caliente.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la temperatura de recocido inferior asciende a 670-730°C, especialmente a 700°C.
- 45 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la aleación de titanio está aleada con al menos un estabilizador de α y al menos un estabilizador de β .
11. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado porque la aleación de titanio presenta
- 50 - 2 - 4,0% en peso de aluminio,
 - 4 - 5,5% en peso de vanadio,
 - 4,5 - 6,0% en peso de molibdeno
 - 0,5 - 1,5% en peso de circonio y
 - 0,5 - 1,5% en peso de estaño,
 55 - el resto titanio e impurezas.
12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque después del recocido a la temperatura de recocido inferior y/o después del recocido a la temperatura de recocido superior una capa superficial de la aleación de titanio se elimina mecánicamente, especialmente por mecanizado por arranque de virutas.
- 60 13. Uso de una aleación de titanio ($\alpha+\beta$) tratada en caliente según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 12 para la fabricación de componentes de titanio mediante deformación en frío.
- 65 14. Uso según la reivindicación 13 para la fabricación de tornillos de titanio mediante recalcado en frío y/o laminado de roscas.

15. Procedimiento para la fabricación de tornillos de titanio que comprende:

- fabricación de un material redondo mediante laminado en caliente,
- tratamiento en caliente del material redondo según un procedimiento según una de las reivindicaciones 1-12,
- 5 - moldeo de la cabeza del tornillo mediante recalcado en frío y
- moldeo de la rosca mediante laminado de roscas.

16. Procedimiento según la reivindicación 15 que comprende:

- 10 - moldeo de la rosca mediante laminado de roscas.