

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 637 062**

51 Int. Cl.:

C22C 14/00 (2006.01)

C22F 1/18 (2006.01)

C22C 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.07.2013 E 13174628 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.05.2017 EP 2687615**

54 Título: **Aleación de titanio que tiene buena resistencia a la oxidación y alta resistencia a temperaturas elevadas**

30 Prioridad:

19.07.2012 US 201261673313 P

15.03.2013 US 201313840265

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

10.10.2017

73 Titular/es:

**RTI INTERNATIONAL METALS, INC. (100.0%)
1000 Warren Avenue
Niles, OH 44446, US**

72 Inventor/es:

**YU, KUANG-O;
CRIST, ERNEST M. y
SUN, FUSHENG**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 637 062 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 titanio que tiene buena resistencia a la oxidación y alta resistencia a temperaturas elevadas

5 Aunque las aleaciones de titanio han sido usadas ampliamente en aplicaciones aeroespaciales y otras aplicaciones, la necesidad de aleaciones relativamente ligeras de peso para su uso a elevadas temperaturas se ha incrementado. Por ejemplo, el rendimiento más elevado y la eficacia más alta de aprovechamiento de combustible de los aeroplanos y aeromotores, están conduciendo al desarrollo de aeromotores y fuselajes que operan a temperaturas incrementadas y con pesos disminuidos. Como resultado, las aleaciones de titanio están siendo consideradas para
10 su uso en la sección más caliente de las barquillas de los motores o en partes del fuselaje que están sometidas a temperaturas operativas más altas, tal como en componentes del pilón de popa. Estos desarrollos han conducido a una necesidad de reemplazar aleaciones pesadas a base de níquel (y otras), por aleaciones de titanio que tienen una excelente resistencia a la oxidación y una alta resistencia a las temperaturas elevadas, tal como, por ejemplo, de 650 °C, 700 °C o 750 °C o incluso más altas.

15 Mientras que las aleaciones de titanio, tal como la Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si y la Ti-15Mo-3Al-3Nb-0,2Si han sido usadas para formar los componentes del fuselaje o del aeromotor para los que se requiere resistencia a la oxidación, resistencia al calor y ligereza de peso, la temperatura resistente a la oxidación de esas aleaciones está normalmente limitada a menos de 650 °C. La exposición térmica a 700-750 °C durante períodos prolongados conduce a una descamación severa de los componentes formados con esas dos aleaciones. Además, la última aleación tiene una resistencia significativamente más baja cuando se alcanzan temperaturas de servicio de 700-750 °C dado que es una aleación de titanio casi beta.

25 Más adelante se indican varias aleaciones de titanio que proporcionan características variables deseables, pero que no son adecuadas para los fines indicados anteriormente. Las aleaciones comerciales de titanio tales como la Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si y la Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,3Si divulgadas en la patente de EE.UU. 4.980.127, son aleaciones de titanio casi beta con un contenido de molibdeno muy alto. La patente de EE.UU. 4.738.822 divulga una aleación de titanio casi alfa libre de molibdeno, la Ti-6Al-2,7Sn-4Zr-0,4Mo-0,4Si, la cual tiene una buena fortaleza y resistencia a la fluencia a temperaturas bastante elevadas. La patente de EE.UU. 4.906.436 y la patente de EE.UU. 5.431.874
30 divulgan aleaciones de titanio de alta temperatura que contienen hafnio y tantalio.

La patente de EE.UU. 4.087.292 y la patente de EE.UU. 4.770.725 divulgan, respectivamente, dos aleaciones de titanio que contienen niobio, la Ti-5,5Al-3,5Sn-3Zr-1Nb-0,25Mo-0,3Si (conocida como IMNI 829) y la Ti-5,8Al-4Sn-3,5Zr-0,7Nb-0,5Mo-0,35Si-0,06C (conocida como IMI 834), las cuales muestran buena resistencia a la fluencia a
35 temperaturas elevadas. La patente de EE.UU. 6.284.017 divulga un aleación de titanio de alta temperatura que contiene normalmente un 3,5% de zirconio y hasta un 2,0% de niobio. Las aleaciones de titanio de las tres patentes anteriores contienen respectivamente no más del 1,25, 1,5 y 2,0% de niobio y respectivamente al menos el 2,0, 3,25 y 2,5% de zirconio. Los documentos JP H04 202729 A y JP H09 31572 A divulgan aleaciones de Ti que comprenden respectivamente un 2,5-6,0% y un 2,0-5,0% de zirconio.

40 Se apreciará que producir aleaciones de titanio con resistencia excelente a la oxidación a tales temperaturas de servicio elevadas (especialmente a alrededor de 700 °C, 750 °C o más altas), resulta extremadamente difícil. Así, por ejemplo, es un salto hacia delante avanzar desde una aleación de titanio capacitada para operar a 650 °C a una aleación de titanio capacitada para operar a 750 °C con buena resistencia a la oxidación y gran fuerza.

45 Las presentes aleaciones de titanio son útiles para este y otros propósitos, y pueden proporcionar varias características físicas deseables distintas de las que se han discutido con anterioridad.

En un aspecto, la invención puede proporcionar una aleación de titanio para alta temperatura consistente esencialmente en: 4,5 a 7,5% en peso de aluminio; 2,0 a 8,0% en peso de estaño; 1,5 a 6,5% en peso de niobio; 0,1 a 2,5% en peso de molibdeno; 0,1 a 0,6% en peso de silicio; 0,0 a 1,0% en peso de tantalio; una cantidad total de zirconio y vanadio comprendida en la gama de 0,0 a 0,5% en peso; no más de un 0,20% en peso de oxígeno; no más del 0,10% en peso de carbono; no más del 0,10% en peso de cada uno de entre níquel, hierro, cromo, cobre y manganeso, y una cantidad total de <0,30% en peso combinado, y una cantidad total de hafnio y renio comprendida
50 en la gama de 0,0 a 0,3% en peso y el resto de titanio.

En otro aspecto, la invención puede proporcionar una aleación de titanio para alta temperatura que comprende: 4,5 a 7,5% en peso de aluminio; 2,0 a 8,0% en peso de estaño; 1,5 a 6,5% en peso de niobio; 0,1 a 2,5% en peso de molibdeno; 0,1 a 0,6% en peso de silicio; una cantidad total de zirconio y vanadio comprendida en una gama de 0,0 a 0,5% en peso; y el resto de titanio. Otro aspecto, que no forma parte de la presente invención, puede proporcionar un método que comprende las etapas de: proporcionar un componente formado por una aleación de titanio consistente esencialmente, en peso, en un 4,5 a 7,5% de aluminio; 2,0 a 8,0% de estaño; 1,5 a 6,5% de niobio; 0,1 a 2,5% de molibdeno; 0,1 a 0,6% de silicio; y el resto de titanio; y, operar una máquina que comprende ese componente de modo que se mantenga continuamente a una temperatura de al menos 600 °C durante una duración
60 de al menos ½ hora.

Los aspectos específicos de la invención se exponen en las reivindicaciones.

Conforme a un primer aspecto, la invención se refiere a una aleación de titanio para alta temperatura que consiste esencialmente en:

- 5 4,5 a 7,5% en peso de aluminio;
- 2,0 a 8,0% en peso de estaño;
- 10 1,5 a 6,5% en peso de niobio;
- 0,1 a 2,5% de molibdeno;
- 15 0,1 a 0,6% en peso de silicio;
- 0,0 a 1,0% en peso de tantalio,
- una cantidad total de zirconio y vanadio comprendida en la gama de 0,0 a 0,5% en peso;
- 20 no más del 0,20% en peso de oxígeno;
- no más del 0,10% en peso de carbono;
- no más del 0,10% en peso de cada uno de entre níquel, hierro, cromo, cobre y manganeso y un total de <0,30% en
- 25 peso combinado;
- una cantidad total de hafnio y renio comprendida en la gama de 0,0 a 0,3% en peso y el resto de titanio.

30 Conforme a un segundo aspecto, la invención se refiere a una aleación de acuerdo con el primer aspecto, en donde el aluminio está en un 5,5 a 6,5% en peso; el estaño está en un 3,5 a 4,5% en peso; el niobio está en un 2,75 a 3,25% en peso; el molibdeno está en un 0,5 a 0,8% en peso; el silicio está en un 0,30 a 0,45% en peso; el oxígeno está en un 0,08 a 0,12% en peso; el carbono está en un 0,02 a un 0,04% en peso; y el zirconio, hierro, níquel y cromo están, cada uno de ellos, por debajo del 0,1% en peso.

35 Conforme a un tercer aspecto, la invención se refiere a una aleación de acuerdo con el primer aspecto en donde la aleación comprende de 3,0 a 6,0% en peso de niobio.

40 Conforme a otro aspecto, la invención se refiere a una aleación de acuerdo con el primer aspecto en donde la aleación tiene una resistencia última a la tracción de al menos 260 a una temperatura de 750 °C.

De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere a una aleación conforme al primer aspecto, en donde la aleación tiene un límite elástico de al menos 150 a una temperatura de 750 °C.

45 De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere a una aleación conforme al primer aspecto en donde la aleación tiene una ganancia de peso no mayor de 2,00 mg/cm² tras el mantenimiento de la aleación en aire continuamente a una temperatura de 750 °C durante un período de 208 horas.

50 De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere a una aleación conforme al primer aspecto en donde la aleación tiene una profundidad de caso alfa no superior a 100 micrones tras el mantenimiento de la aleación en aire continuamente a una temperatura de 750 °C durante 208 horas.

55 De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere a una aleación conforme al primer aspecto en donde la aleación, a una temperatura de 25 °C, tiene un porcentaje de elongación de al menos un 2% después de la exposición al aire a una temperatura de 750 °C durante 100 horas.

60 De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere al uso de una aleación conforme al primer aspecto en donde la aleación está formada a modo de componente de motor de aeronave, tal como al menos una porción de uno de entre una barquilla de motor de aeronave, una carcasa de motor de aeronave, una pala de compresor giratorio de motor de aeronave, una paleta de estator de motor de aeronave, una pala de turbina giratoria de motor de aeronave, una boquilla de escape de motor de aeronave, un tapón de escape de motor de aeronave y un sujetador de motor de aeronave.

65 De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere al uso de una aleación conforme al primer aspecto, tal como al menos una porción de escudo térmico de un pilón de motor de aeronave.

De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere al uso de una aleación conforme al primer aspecto, en donde la

aleación está conformada a modo de componente de motor de combustión interna.

De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere al uso de una aleación conforme al aspecto anterior en donde el componente del motor de combustión interna es una válvula.

5 De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere al uso de una aleación conforme al primer aspecto tal como un componente de un motor de turbina de gas.

10 De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere a una aleación conforme al primer aspecto, en donde la aleación está conformada a modo de componente que tiene una temperatura operativa de al menos 600 °C.

Otro aspecto que no forma parte de la invención, se refiere a un método que comprende las etapas de:

15 proporcionar un componente conformado con una aleación de titanio que consiste esencialmente, en peso, en un 4,5 a 7,5% de aluminio, 2,0 a 8,0% de estaño; 1,5 a 6,5 de niobio; 0,1 a 2,5% de molibdeno; 0,1 a 0,6% de silicio, y el resto de titanio, y

20 operar una máquina que comprende el componente de modo que el componente se mantenga continuamente a una temperatura de al menos 600 °C durante un período de al menos ½ hora.

Ahora se van a describir realizaciones de la invención haciendo referencia a los dibujos adjuntos:

25 La figura 1 representa imágenes, sin ampliación, de muestras de oxidación tras la prueba de oxidación en aire a 750 °C durante 208 horas de: (a) aleación de titanio de la presente muestra, Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si, (b) aleación de titanio de la técnica anterior, Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si, y (c) aleación de titanio de la técnica anterior, Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,3Si.

30 La figura 2 representa imágenes de exploración con microscopio electrónico (SEM), ampliadas 100 veces, de la superficie de muestras de oxidación tras la prueba de oxidación en aire a 750 °C durante 208 horas de: (a) aleación de titanio de la presente muestra, Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si, (b) aleación de titanio de la técnica anterior, Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si (que muestra descamación severa), y (c) aleación de titanio de la técnica anterior, Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,3Si (que muestra descamación parcial).

35 La figura 3 representa imágenes de SEM, ampliadas 10.000 veces, que muestran la capa de oxidación de muestras de oxidación tras la prueba de oxidación en aire a 750 °C durante 208 horas de: (a) aleación de titanio de la presente muestra, Ti-6Al-6Sn-6Nb-0,5Mo-0,3Si (que muestra una escama de oxidación de forma poligonal, continua, delgada, muy densa), (b) aleación de titanio de la técnica anterior, Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si (que muestra una escama de oxidación muy porosa, espesa, con descamación, y con una forma a modo de varilla), y (c) aleación de titanio de la técnica anterior, Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,3Si (que muestra una escama de oxidación muy porosa, espesa, floja, y con una forma a modo de fibra).

45 La figura 4 representa micrografías que muestran la profundidad de caso alfa de una aleación de titanio de la técnica anterior, Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si, (b) aleación de titanio de la técnica anterior, Ti-6Al-6Zr-6Nb-0,5Mo-0,3Si, (c) aleación de titanio de la técnica anterior, Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Nb-0,5Mo-0,3Si, (d) aleación de titanio de la presente muestra, Ti-6Al-6Sn-6Nb-0,5Mo-0,3Si, y (e) aleación de titanio de la presente muestra, Ti-6Al-6Sn-4Nb-0,5Mo-0,3Si.

La figura 5 es una vista en perspectiva de una aeronave que muestra motores montados en las alas de la aeronave.

50 La figura 6 es una vista en sección a mayor escala tomada por la línea 6-6 de la figura 5, que muestra varios componentes del motor de la aeronave, del pilón y del ala.

La figura 7 es una vista en perspectiva que muestra varios sujetadores o componentes de sujetador.

55 La figura 8 es una vista en alzado de una válvula de motor de automóvil.

60 En general, las aleaciones de muestra de la presente invención pueden comprender, o consistir esencialmente en, un 4,5 a 7,5 por ciento en peso de aluminio (Al), alrededor de un 2,0 a 8,0 por ciento en peso de estaño (Sn), alrededor de un 1,5 a 6,5 por ciento en peso de niobio (Nb), alrededor de un 0,1 a 2,5 por ciento en peso de molibdeno (Mo), alrededor de un 0,1 a 0,6 por ciento en peso de silicio (Si), y el resto de titanio con impurezas ocasionales. Los porcentajes de otros diversos elementos que pueden estar incluidos en las presentes aleaciones, se discuten con mayor detalle en lo que sigue. Se ha encontrado que las adiciones indicadas anteriormente de aluminio, estaño, niobio, molibdeno y silicio a titanio de estructura hexagonal, da como resultado tanto una resistencia a la oxidación considerablemente mejorada como una fortaleza significativamente incrementada a temperaturas elevadas de hasta 750 °C o más.

65 La resistencia a la oxidación significativamente mejorada de la aleación de titanio se consigue principalmente

mediante adiciones combinadas de niobio y estaño. Esto se atribuye al hecho de que el uso de niobio y de estaño en la aleación puede formar una escama de oxidación muy densa, delgada, continua, de forma poligonal, según se ha mostrado en la figura 3a con una amplificación de 10.000 veces. La escama de oxidación protectora proporciona una barrera que disminuye la difusión de oxígeno en la matriz de titanio, y minimiza el estrés térmico entre la escama de oxidación y el titanio para eliminar la descamación de la escama de oxidación. Por el contrario, se observó una escama de oxidación porosa, espesa, floja, de descamación, y de forma irregular (a modo de varillas o de fibras) para la Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si, según se ha mostrado en la figura 3b, y la Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,3Si, según se ha mostrado en la figura 3c, ambas respectivamente con una ampliación de 10.000 veces.

La resistencia a la oxidación de una aleación de titanio puede estar representada por la profundidad de caso alfa, la ganancia de peso y la descamación de escamas. El caso alfa, que es la capa rica en oxígeno por debajo de la escama de oxidación, es una capa muy frágil que puede deteriorar notablemente las propiedades mecánicas de las aleaciones de titanio tal como la ductilidad y la resistencia a la fatiga. La resistencia a la formación de caso alfa es por tanto indicativa de una mejor resistencia a la oxidación de una aleación de titanio. Por lo tanto, una profundidad de caso alfa (o la profundidad del caso alfa) relativamente pequeña indica una resistencia a la oxidación relativamente buena de una aleación de titanio.

Según se ha mostrado en la tabla 4 y en la figura 4, entre varias aleaciones de titanio probadas, las aleaciones de la muestra de la invención (por ejemplo, la Ti-6Al-6Sn-6Nb-0,5Mo-0,3Si (figura 4d) y la Ti-6Al-6Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si (figura 4e)), no solo muestran la ganancia de peso más baja, sino también la profundidad de caso alfa más pequeña. La profundidad de caso alfa de las aleaciones de muestra de la invención es solamente de alrededor del 50% de la del Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si (figura 4a) en las mismas condiciones experimentales. Aunque las aleaciones de titanio que contienen zirconio -por ejemplo la Ti-6Al-6Zr-6Nb-0,5Mo-0,3Si mostrada en la figura 4b y la Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Nb-0,5Mo-0,3Si mostrada en la figura 4c- dan como resultado un ligero incremento en la ganancia de peso en comparación con las aleaciones de muestra de la invención, por ejemplo la Ti-6Al-6Sn-6Nb-0,5Mo-0,3Si (figura 4d) y la Ti-6Al-6Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si (figura 4e), las aleaciones anteriores (las que contienen Zr y Nb) muestran el doble de la profundidad de caso alfa que las aleaciones de la presente muestra (que contienen Sn y Nb). La investigación ha confirmado que se observó descamación severa en las aleaciones de titanio que contienen zirconio.

Se ha descubierto que el zirconio tiene un efecto significativamente negativo sobre la resistencia a la oxidación de las aleaciones de titanio. Por lo tanto, la excelente resistencia a la oxidación de la presente aleación se consigue en parte proporcionan una composición de la aleación de titanio que está sustancialmente libre de zirconio o que contiene una cantidad mínima de zirconio, según se detalla mejor más adelante. De ese modo, no se añade típicamente de forma deliberada como parte de la composición de la aleación, por lo que cualquier zirconio que esté presente en la aleación se considera normalmente como una impureza.

Las aleaciones de la invención son diferentes de las aleaciones de titanio comerciales actuales conocidas de alta temperatura, tal como las que se discuten en los antecedentes de la presente solicitud. Con respecto a la resistencia a la oxidación, la resistencia a la temperatura y la resistencia a la fluencia, la aleación de la presente invención es muy superior a las de Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si y Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,3Si comerciales. La última aleación es una aleación de titanio casi beta con un contenido muy alto de molibdeno, y por tanto completamente diferente a la presente aleación, la cual es una aleación de titanio casi alfa con adiciones combinadas de Nb y Sn.

Aunque la Ti-6Al-2,7Sn-4Zr-0,4Mo-0,4Si es una aleación de titanio casi alfa con una buena combinación de resistencia a la temperatura elevada y resistencia a la fluencia, esta aleación está libre de niobio y tiene una resistencia a la oxidación inferior a la de las presentes aleaciones. Las presentes aleaciones son también diferentes de las aleaciones de la patente de EE.UU. 4.906.436 y de la patente de EE.UU. 5.431.874, cada una de las cuales divulga aleaciones de titanio para alta temperatura que contienen hafnio y tantalio.

Las presentes aleaciones son también diferentes de las aleaciones siguientes de titanio de alta temperatura que contienen niobio. Según se indica en los antecedentes de la presente solicitud, la patente de EE.UU. 4.087.292, la patente de EE.UU. 4.770.726 y la patente de EE.UU. 6.284.071 divulgan, cada una de ellas, aleaciones de titanio que contienen zirconio y niveles relativamente bajos de niobio. Según se ha indicado con anterioridad, se ha descubierto que el zirconio deteriora significativamente la resistencia a la oxidación del titanio a temperaturas elevadas. Además, las adiciones combinadas de contenidos bajos de niobio y altos de zirconio provocan un caso alfa muy profundo y descamación severa a temperaturas elevadas.

Por lo tanto, la aleación de la presente invención está diseñada como aleación de titanio libre de zirconio o esencialmente libre de zirconio, con adiciones combinadas de estaño y una cantidad más alta de niobio (preferiblemente, 3,0 – 6,0%). Adicionalmente, la presente aleación muestra una mejor resistencia a la oxidación que la de las aleaciones de las tres patentes anteriores.

La aleación de la presente invención está diseñada como aleación de titanio casi alfa. Su fase matricial mayoritaria es la fase alfa hexagonal de paquete cerrado del titanio. Está fortalecida por elementos de aluminio, estaño, niobio, molibdeno y silicio, y su resistencia a la oxidación está mejorada por las adiciones de niobio y estaño.

El contenido de aluminio debe ser generalmente tan alto como sea posible para obtener el máximo fortalecimiento de la fase alfa, y para evitar la formación de compuesto intermetálico (Ti_3Al). La adición de aluminio resulta eficaz para mejorar la resistencia a las temperaturas elevadas y la resistencia a la fluencia. Para lograr este efecto, es necesario que la adición de aluminio sea de al menos un 4,5%, mientras que una cantidad demasiado alta de aluminio da como resultado la formación de fase de Ti_3Al quebradiza; por lo tanto, el contenido de aluminio debe estar limitado hasta el 7,5%.

El estaño es un elemento muy eficaz para mejorar la resistencia a la oxidación con la adición combinada de niobio. Generalmente hablando, cuanto más alto sea el contenido de estaño, mejor será la resistencia a la oxidación. El estaño fortalece también tanto la fase alfa como la fase beta, y es eficaz para mejorar la resistencia a temperaturas elevadas. Se prefiere la adición de un 2,0% de estaño o más, para mejorar la resistencia a la oxidación y la fortaleza. Sin embargo, un contenido excesivo de estaño puede dar como resultado la formación de fase de Ti_3Al quebradiza, y deteriorar la ductilidad y la soldabilidad. El contenido máximo de estaño deberá ser por lo tanto controlado a no más de un 8,0%.

El niobio es un elemento muy importante para mejorar significativamente la resistencia a la oxidación con la adición combinada de estaño. La adición combinada de niobio y estaño puede dar como resultado una escama de oxidación muy densa, delgada, continua y de forma poligonal cuando la aleación se calienta a temperaturas elevadas. La adición de niobio puede minimizar también el estrés térmico entre la escama de oxidación y la matriz de titanio, eliminando con ello el descamado de la escama de oxidación tras la exposición térmica a temperaturas elevadas durante períodos prolongados. Se prefiere la adición de un 1,5% de niobio, o más, para mejorar la resistencia a la oxidación; sin embargo, el niobio es un débil estabilizador de fase beta, y refuerza principalmente la fase beta. La adición de niobio en una cantidad grande inducirá más fase beta, y por lo tanto reducirá la resistencia a las temperaturas elevadas y la resistencia a la fluencia. De ese modo, el límite superior de niobio podrá ser del 6,5% con lo que la presente aleación incluye del 1,5 al 6,5% de niobio y puede, por ejemplo, incluir desde el 2,0, 2,5 o 3,0% hasta el 4,5, 5,0, 5,5 o 6,0% de niobio. En un ejemplo de realización, la aleación puede incluir desde el 2,5 al 3,5%, o desde el 2,75 al 3,25% de niobio.

Se puede añadir también tantalio a la aleación para mejorar la resistencia a la oxidación y la resistencia frente a temperaturas elevadas. El límite superior de tantalio podrá ser del 0,1% y por tanto está dentro de la gama de 0,0 a 1,0% en peso.

El molibdeno es un estabilizador beta más fuerte y principalmente fortalece la fase beta. Una pequeña cantidad de molibdeno (0,5%) incrementará la resistencia a la tracción de la presente aleación. Una cantidad mayor de molibdeno reducirá la resistencia a la fluencia. Por lo tanto, la adición de molibdeno deberá estar en la gama de 0,1 a 2,5%.

El silicio forma normalmente siliciuros de titanio finos en los límites de grano y matriz. El silicio puede ser añadido en la presente aleación para mejorar la resistencia a la fluencia. La adición de silicio desde 0,1 hasta 0,6% es la gama en la que resulta apreciable el efecto del silicio sobre la resistencia a la fluencia.

El contenido de oxígeno en la presente aleación de titanio está preferiblemente controlado puesto que es un potente estabilizador alfa. Un contenido excesivo de oxígeno tiende a reducir la ductilidad post-térmica de la exposición y la dureza a la fractura. El límite superior de oxígeno debe ser del 0,20%, con preferencia del 0,12%. El oxígeno está típicamente comprendido en la gama de 0,08 a 0,20% en peso, o de 0,08 a 0,12% en peso. El carbono en la presente aleación está también típicamente controlado a no más del 0,10% y normalmente está comprendido en la gama de 0,02 a 0,10% en peso, o de 0,02 a 0,04% en peso.

Dos elementos que con preferencia deben ser excluidos de, o estar muy limitados en, la presente aleación son el zirconio y el vanadio, puesto que éstos deterioran la resistencia a la oxidación. Su límite superior combinado debe estar controlado a no más del 0,5 por ciento en peso. De ese modo, la cantidad de cada uno de entre ellos, el zirconio y el vanadio, está comprendida, con preferencia, en la gama de 0,0 a 0,5% en peso, pero también el total de zirconio y vanadio está comprendido con preferencia en la gama de 0,0 a 0,5% en peso.

Para mejorar la resistencia a las temperaturas elevadas y la resistencia a la fluencia, los elementos níquel, hierro, cromo, cobre y manganeso deberán ser excluidos de, o estar muy limitados en, la presente aleación de titanio; cada uno de estos elementos debe estar controlado a no más de 0,10 por ciento en peso, y el contenido total residual de elementos combinado de esos elementos deberá estar controlado a no más del 0,30 por ciento en peso. De ese modo, cada uno de esos cinco elementos puede estar en la presente aleación en una gama comprendida entre 0,0 y 0,10% en peso, y con preferencia el total de esos cinco elementos está en la gama de 0,0 a 0,30% en peso.

Los elementos hafnio y renio están también excluidos de, o están muy limitados en, la presente aleación de titanio. Su límite superior combinado debe estar controlado hasta no más del 0,3 por ciento en peso. De ese modo, la cantidad de cada uno de entre el hafnio y el renio en la presente aleación, está comprendido con preferencia en la gama de 0,0 a 0,3% en peso, pero también la cantidad total de hafnio y renio está comprendida en la gama de 0,0 a 0,3% en peso.

- Las aleaciones experimentales fueron en primer lugar fundidas en botones de 250 gm, y laminadas en caliente en láminas de 2,54 mm (0,10") de espesor, y tratadas con calor. Los efectos del Al, Sn, Zr, Nb, Mo y Si sobre la resistencia a la oxidación y las propiedades mecánicas de las aleaciones de titanio, han sido estudiadas. En base a los resultados experimentales, se seleccionaron dos aleaciones con composiciones nominales de Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si y Ti-6Al-6Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si para ampliar el estudio. Se fundieron cuatro lingotes de 70 kg usando la técnica de fusión por arco de plasma, a continuación se laminaron en caliente en placas en el campo de fase beta, y a continuación se laminaron en caliente en láminas de 3,429 mm x 800,1 mm x 2540 mm (0,135 x 31,5 x 100 pulgadas) en el campo de fase alfa+beta. Las láminas fueron tratadas en caliente a diferentes temperaturas para producir tres tipos de microestructuras: bimodal I (15% alfa primaria), bimodal II (35% alfa primaria), y microestructura equiáxica (60% alfa primaria). Las láminas fueron sometidas a evaluaciones de resistencia a la oxidación, propiedad de tracción, resistencia a la rotura por fluencia, propiedad de tracción de exposición post-térmica, conformación fría/caliente, prueba de conformación superplástica y soldabilidad.
- Las tablas 1 y 5 proporcionan la ganancia de peso en mg/cm^2 para varias muestras de aleaciones de titanio que se produjeron cuando la muestra fue expuesta al aire continuamente a una temperatura dada sustancialmente constante durante un período de tiempo o duración dados. Las tablas 1 y 5 proporcionan una medición indicativa de la resistencia a la oxidación de las diversas aleaciones de titanio. La tabla 1 proporciona una comparación de dicha ganancia de peso entre muestras de la presente aleación y otras aleaciones de titanio, cuando la temperatura dada fue, respectivamente, de 650, 700 y 750 °C (1202, 1292 y 1382 °F, respectivamente) para duraciones respectivas de 24, 48, 72, 96, 160 y 208 horas. En particular, las otras aleaciones de titanio de la tabla 1 son las aleaciones comerciales Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si y Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,3Si, mientras que las presentes aleaciones de la tabla 1 son Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si y Ti-6Al-6Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si.
- La tabla 5 muestra más en particular la ganancia de peso de los tres tipos mencionados con anterioridad de microestructuras de aleación de Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si a las mismas temperaturas y duraciones respectivas. Las aleaciones de la presente muestra presentaron una resistencia a la oxidación mucho mayor que las aleaciones comerciales de Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si y Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,3Si, según se ha mostrado en la tabla 1. Los tres tipos de microestructura de la presente aleación de muestra mostraron solamente una ganancia de peso relativamente leve en comparación con las otras aleaciones en las mismas condiciones. Esto puede proporcionar una opción de diferentes microestructuras para una buena combinación de excelente resistencia a la oxidación y diferentes niveles de propiedades mecánicas. Aparte de la microestructura específica, las aleaciones de la presente muestra presentaron una mejor resistencia a la oxidación que las aleaciones de las muestras comerciales indicadas.
- En la realizaciones probadas de la presente aleación de titanio, la ganancia de peso en mg/cm^2 fue, por ejemplo, no más de 0,08, 0,09, 0,10, 0,11, 0,12, 0,13, 0,14 o 0,15, después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 650 °C durante 24 horas; no más de 0,11, 0,12, 0,13, 0,14, 0,15, 0,16, 0,17, 0,18, 0,19 o 0,20 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 650 °C durante 48 horas; no más de 0,13, 0,14, 0,15, 0,16, 0,17, 0,18, 0,19, 0,20, 0,21 o 0,22 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 650 °C durante 72 horas; no más de 0,14, 0,15, 0,16, 0,17, 0,18, 0,19, 0,20, 0,21, 0,22, 0,23, 0,24 o 0,25 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 650 °C durante 96 horas; no más de 0,18, 0,19, 0,20, 0,21, 0,22, 0,23, 0,24, 0,25, 0,26, 0,27, 0,28, 0,29 o 0,30 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 650 °C durante 160 horas; no más de 0,20, 0,21, 0,22, 0,23, 0,24, 0,25, 0,26, 0,27, 0,28, 0,29, 0,30, 0,31, 0,32, 0,33, 0,34 o 0,35 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 650 °C durante 208 horas; no más de 0,17, 0,18, 0,19, 0,20, 0,21, 0,22, 0,23, 0,24, 0,25, 0,26 o 0,27 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 700 °C durante 24 horas; no más de 0,23, 0,24, 0,25, 0,26, 0,27, 0,28, 0,29, 0,30, 0,31, 0,32, 0,33, 0,34 o 0,35 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 700 °C durante 48 horas; no más de 0,28, 0,29, 0,30, 0,31, 0,32, 0,33, 0,34, 0,35, 0,36, 0,37, 0,38, 0,39, 0,40, 0,41, 0,42, 0,43, 0,44 o 0,45 después de mantener la aleación en aire a una temperatura de alrededor de 700 °C durante 72 horas; no más de 0,32, 0,33, 0,34, 0,35, 0,36, 0,37, 0,38, 0,39, 0,40, 0,41, 0,42, 0,43, 0,44, 0,45, 0,46, 0,47, 0,48, 0,49 o 0,50 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 700 °C durante 96 horas; no más de 0,42, 0,43, 0,44, 0,45, 0,46, 0,47, 0,48, 0,49, 0,50, 0,51, 0,52, 0,53, 0,54, 0,55, 0,56, 0,57, 0,58, 0,59 o 0,60 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 700 °C durante 160 horas; no más de 0,47, 0,48, 0,49, 0,50, 0,51, 0,52, 0,53, 0,54, 0,55, 0,56, 0,57, 0,58, 0,59, 0,60, 0,61, 0,62, 0,63, 0,64, 0,65, 0,66, 0,67, 0,68, 0,69, 0,70, 0,71, 0,72, 0,73, 0,74, 0,75, 0,76, 0,77, 0,78, 0,79 o 0,80 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 700 °C durante 208 horas; no más de 0,35, 0,36, 0,37, 0,38, 0,39, 0,40, 0,41, 0,42, 0,43, 0,44, 0,45, 0,46, 0,47, 0,48, 0,49, 0,50, 0,51, 0,52, 0,53, 0,54, 0,55, 0,56, 0,57, 0,58, 0,59 o 0,60 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 750 °C durante 24 horas; no más de 0,49, 0,50, 0,51, 0,52, 0,53, 0,54, 0,55, 0,56, 0,57, 0,58, 0,59, 0,60, 0,61, 0,62, 0,63, 0,64, 0,65, 0,66, 0,67, 0,68, 0,69, 0,70, 0,71, 0,72, 0,73, 0,74, 0,75, 0,76, 0,77, 0,78, 0,79 o 0,80 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 750 °C durante 48 horas; no más de 0,72, 0,73, 0,74, 0,75, 0,76, 0,77, 0,78, 0,79, 0,80, 0,81, 0,82, 0,83, 0,84, 0,85, 0,86, 0,87, 0,88, 0,89, 0,90, 0,91, 0,92, 0,93, 0,94, 0,95, 0,96, 0,97, 0,98, 0,99, 1,00, 1,01, 1,02, 1,03, 1,04, 1,05, 1,06, 1,07, 1,08, 1,09, 1,10, 1,11, 1,12, 1,13, 1,14, 1,15, 1,16, 1,17, 1,18, 1,19 o 1,20 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de

750 °C durante 96 horas; no más de 0,95, 0,96, 0,97, 0,98, 0,99, 1,00, 1,01, 1,02, 1,03, 1,04, 1,05, 1,06, 1,07, 1,08, 1,09, 1,10, 1,11, 1,12, 1,13, 1,14, 1,15, 1,16, 1,17, 1,18, 1,19, 1,20, 1,21, 1,22, 1,23, 1,24, 1,25, 1,26, 1,27, 1,28, 1,29, 1,30, 1,31, 1,32, 1,33, 1,34, 1,35, 1,36, 1,37, 1,38, 1,39, 1,40, 1,41, 1,42, 1,43, 1,44, 1,45, 1,46, 1,47, 1,48, 1,49 o 1,50 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 750 °C durante 160 horas, y no más de 1,12, 1,13, 1,14, 1,15, 1,16, 1,17, 1,18, 1,19, 1,20, 1,21, 1,22, 1,23, 1,24, 1,25, 1,26, 1,27, 1,28, 1,29, 1,30, 1,31, 1,32, 1,33, 1,34, 1,35, 1,36, 1,37, 1,38, 1,39, 1,40, 1,41, 1,42, 1,43, 1,44, 1,45, 1,46, 1,47, 1,48, 1,49, 1,50, 1,51, 1,52, 1,53, 1,54, 1,55, 1,56, 1,57, 1,58, 1,59, 1,60, 1,61, 1,62, 1,63, 1,64, 1,65, 1,66, 1,67, 1,68, 1,69, 1,70 o 2,00 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 750 °C durante 208 horas.

La tabla 4 muestra la ganancia de peso y la profundidad de caso alfa de varias aleaciones después de la prueba específica de oxidación. Más en particular, la aleación de Ti-6Al-6Sn-6Nb-0,5Mo-0,3Si de la presente muestra (figura 4) tuvo una profundidad de caso alfa en micrones o micrómetros (pm) de no más de alrededor de 80, 85, 90, 95 o 100 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 750 °C durante 208 horas; y no más de alrededor de 40, 45, 50 o 55 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 650 °C durante 208 horas. Adicionalmente, la aleación de Ti-6Al-6Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si de la presente muestra (figura 4) tuvo una profundidad de caso alfa de no más de alrededor de 70, 75, 80, 85, 90, 95 o 100 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de alrededor de 750 °C durante 208 horas, y no más de alrededor de 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 o 55 después de mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura e alrededor de 650 °C durante 208 horas.

Las tablas 2 y 6 muestran propiedades de tracción (resistencia última a la tracción, límite elástico y porcentaje de elongación) de varias muestras de aleaciones de titanio. La tabla 2 proporciona una comparación de las propiedades de tracción entre muestras de la presente aleación y otras aleaciones de titanio a alrededor de 25, 200, 400, 600, 700 y 750 °C (alrededor de 77, 392, 752, 1112, 1202, 1292 y 1382 °F, respectivamente). En particular, las otras aleaciones de titanio de la tabla 2 son las aleaciones comerciales Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si y Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,3Si, mientras que las presentes aleaciones de titanio de la tabla 2 son las Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si y Ti-6Al-6Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si. La tabla 6 muestra las propiedades de tracción de las tres microestructuras indicadas anteriormente de la presente aleación de muestra Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si a las mismas temperaturas tanto en la dirección longitudinal (L-dir) como en la dirección transversal (T-dir).

Las realizaciones probadas de la presente aleación de titanio tuvieron una resistencia última a la tracción (UTS) medida en megapascuales (MPa) de al menos 1100, 1110, 1120, 1130, 1140, 1150, 1160, 1170, 1180, 1190, 1200, 1210, 1220 o 1230 a una temperatura de alrededor de 25 °C; de al menos 880, 890, 900, 910, 920, 930, 940, 950, 960, 970, 980, 990, 1000, 1010, 1020 1030 o 1040 a una temperatura de alrededor de 200 °C; de al menos 760, 770, 780, 790, 800, 810, 820, 830, 840, 850, 860, 870, 880, 890, 900 o 910 a una temperatura de alrededor de 400 °C; de al menos 590, 600, 610, 620, 630, 640, 650, 660, 670, 680, 690, 700 o 710 a una temperatura de alrededor de 600 °C; de al menos 480, 490, 500, 510, 520, 530, 540, 550, 560, 570, 580, 590, 600, 620 o 630 a una temperatura de alrededor de 650 °C; de al menos 380, 390, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 500, 510 o 520 a una temperatura de alrededor de 700 °C; y de al menos 260, 270, 280, 290, 300, 310, 320, 330, 340, 350, 360, 370, 380, 390 o 400 a una temperatura de alrededor de 750 °C.

Las realizaciones probadas de la presente aleación de titano tuvieron un límite elástico (YS) medido en MPa de al menos 1000, 1010, 1020, 1030, 1040, 1050, 1060, 1070, 1080, 1090, 1100, 1110, 1120, 1130, 1140, 1150, 1160 o 1170 a una temperatura de alrededor de 25 °C; de al menos 750, 760, 770, 780, 790, 800, 810, 820, 830, 840, 850, 860, 870, 880, 890 o 900 a una temperatura de alrededor de 200 °C; de al menos 600, 610, 620, 630, 640, 650, 660, 670, 680, 690, 700, 710, 720, 730, 740, 750, 760, 770 o 780 a una temperatura de alrededor de 400 °C; de al menos 460, 470, 480, 490, 500, 510, 520, 530, 540 o 550 a una temperatura de alrededor de 600 °C; de al menos 370, 380, 390, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470 o 480 a una temperatura de alrededor de 650 °C; de al menos 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310, 320, 330, 340, 350 o 360 a una temperatura de alrededor de 700 °C; y de al menos 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260 o 270 a una temperatura de alrededor de 750 °C.

Las tablas 3 y 7 muestran la propiedad de rotura por fluencia de varias aleaciones de titanio. La tabla 3 muestra que el tiempo para la rotura por fluencia a 650 °C y 138 MPa de las aleaciones de titanio de la presente muestra, Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si y Ti-6Al-6Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si, es mucho mayor que el de las aleaciones comerciales Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si y Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,3Si. La tabla 7 muestra que en la aleación de titanio de la presente muestra, la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si, en dirección longitudinal, el tiempo para la rotura por fluencia para la microestructura bimodal I mencionada con anterioridad a 600 °C y 173 MPa, es de al menos alrededor de 90, 95 o 100 horas; a 650 °C y 138 MPa es de al menos alrededor de 90, 95 o 100 horas; a 700 °C y 104 MPa es de al menos alrededor de 30, 35, 40 o 45 horas; y a 750 °C y 69 MPa es de al menos 10, 15, 20 o 25 horas. La tabla 7 muestra también que para la aleación de titanio de la presente muestra Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si, en dirección longitudinal, el tiempo de rotura por fluencia para la microestructura bimodal II mencionada con anterioridad, a 600 °C y 173 MPa es de al menos alrededor de 90, 95 o 100 horas; a 650 °C y 138 MPa es de al menos alrededor de 50, 55, 60, 65, 70 o 75 horas; a 700 °C y 104 MPa es de al menos alrededor de 5 o 10 horas; y a 750 °C y 69 MPa es de al menos 5, 10 o 15 horas. La tabla 7 muestra además que para la aleación de titanio de la presente muestra, la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si, en dirección longitudinal, el tiempo para la rotura por fluencia para la microestructura

equiáxica a 650 °C y 138 MPa es de al menos alrededor de 5, 10, 15 o 20 horas.

La aleación de la presente invención puede ser tratada térmicamente para conseguir microestructuras objetivo que optimicen las propiedades de alta resistencia y buena rotura por fluencia a temperaturas elevadas de al menos hasta 750 °C, y conserven una buena ductilidad. Cuando se incrementa la temperatura de tratamiento de la solución, la fracción de volumen de alfa primaria se reduce, conduciendo con ello a una alta fortaleza y una alta resistencia a la fluencia a temperaturas elevadas.

En determinadas aplicaciones, puede ser importante que la aleación de la presente invención conserve la resistencia a la deformación a temperaturas elevadas durante períodos prolongados de uso, y también puede ser importante que la aleación conserve una ductilidad suficiente a temperatura ambiente tras exposición térmica sostenida. Esto se conoce como estabilidad de exposición post-térmica. La tabla 8 demuestra la propiedad de tracción a temperatura ambiente (alrededor de 25 °C) de la Ti-6Al-4Sn-0,5Mo-0,3Si8 tras exposición térmica a 650, 700 y 750 °C durante 100 horas. La escama de oxidación se retiró con anterioridad a que las muestras fueran probadas en cuanto a tracción. La presente aleación muestra excelentes ductilidad y resistencia a temperatura ambiente, lo que indica que la aleación tiene una buena estabilidad post-térmica sin deterioro ni fase quebradiza precipitada.

El efecto de la escama de la oxidación sobre la propiedad de tracción a temperatura ambiente (alrededor de 25 °C) ha sido mostrado en la figura 9. Las muestras de tracción fueron probadas con toda la escama de oxidación tras exposición térmica a 650, 700 y 750 °C durante 100 horas. De manera clara, la aleación muestra una buena resistencia a temperatura ambiente y ductilidad suficiente o un porcentaje de elongación de 2 a 4%. Particularmente digno de mención es la ductilidad a la tracción a temperatura ambiente o el porcentaje de elongación de la aleación de titanio de la presente muestra tras exposición térmica a temperaturas elevadas tan altas como 750 °C durante 100 horas. Por el contrario, las aleaciones comerciales, la Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si y la Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,3Si, muestran una descamación por oxidación severa a una temperatura elevada de 750 °C de tal modo que la ductilidad a la tracción no estuvo disponible o los materiales eran tan frágiles que no se pudo obtener el límite elástico.

Haciendo referencia general a la tabla 8, la resistencia última a la tracción (UTS) a temperatura ambiente (alrededor de 25 °C) de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si que tiene la microestructura bimodal I mencionada anteriormente tras exposición térmica continua a alrededor de 650 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada, es de al menos alrededor de 1100, 1110, 1120, 1130, 1140 o 1150 MPa, a alrededor de 700 °C durante 100 horas; con la escama de oxidación retirada, es de al menos alrededor de 1100, 1110, 1120, 1130 o 1140 MPa, y a alrededor de 750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada, es de al menos alrededor de 1050, 1060, 1070, 1080 o 1090 MPa. La UTS de temperatura ambiente de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si que tiene la microestructura bimodal II mencionada anteriormente después de la exposición térmica continua a alrededor de 650 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada, es al menos de alrededor de 1070, 1080, 1090, 1100, 1110 o 1120 MPa; a alrededor de 700 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es al menos de alrededor de 1080, 1090, 1100, 1110 o 1120 MPa; y a alrededor de 750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 1050, 1060, 1070, 1080 o 1090 MPa. La UTS de temperatura ambiente de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si que tiene la microestructura equiáxica mencionada con anterioridad tras exposición térmica continua a alrededor de 650 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada, es de al menos alrededor de 1170, 1180, 1190, 1200, 1210 o 1220 MPa; a alrededor de 700 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 1100, 1110, 1120, 1130, 1140 o 1150 MPa; y a alrededor de 750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 1100, 1110, 1120, 1130, 1140, 1150, 1160 o 1170 MPa.

Con referencia general continuada a la tabla 8, el límite elástico (YS) a temperatura ambiente de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si que tiene la microestructura bimodal I mencionada anteriormente tras exposición térmica continua a alrededor de 650 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 1040, 1050, 1060, 1070 o 1080 MPa; a alrededor de 700 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 1000, 1010, 1020, 1030, 1040, 1050, 1060 o 1070 MPa; y a alrededor de 750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 970, 980, 990, 1000 o 1010 MPa. El YS a temperatura ambiente de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si que tiene la microestructura bimodal II mencionada anteriormente tras exposición térmica continua a alrededor de 6750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada, es de al menos alrededor de 1040, 1050, 1060, 1070 o 1080 MPa; a alrededor de 700 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 1000, 1010, 1020, 1030, 1040, 1050 o 1060 MPa; y a alrededor de 750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 980, 990, 1000, 1010 o 1020 MPa. El YS a temperatura ambiente de la Ti-6Al-4Sn-eNb-0,5Mo-0,3Si que tiene la microestructura equiáxica mencionada anteriormente tras exposición térmica continua a alrededor de 650 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada, es de al menos alrededor de 1130, 1140, 1150, 1160, 1170 o 1180 MPa; a alrededor de 700 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 1040, 1050, 1060, 1070, 1080, 1090 o 1100 MPa; y a alrededor de 750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 1050, 1060, 1070, 1080, 1090, 1100 o 1110 MPa.

Con referencia general continuada a la tabla 8, el porcentaje de elongación (El., %) a temperatura ambiente de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si que tiene la microestructura bimodal I mencionada anteriormente tras exposición térmica

continua a alrededor de 650 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada, es de al menos alrededor de 10, 11, 12, 13 o 14; a alrededor de 700 °C durante 100 horas la escama de oxidación retirada es de al menos 10, 11, 12, 13 o 14; y a alrededor de 750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 10, 11, 12, 13 o 14. El porcentaje de elongación a temperatura ambiente de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si que tiene la microestructura bimodal II mencionada con anterioridad tras exposición térmica continua a alrededor de 650 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada, es de al menos alrededor de 10, 11, 12, 13, 14 o 15; al alrededor de 700 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 10, 11, 12, 13 o 14; y a alrededor de 750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 10, 11, 12, 13, 14 o 15. El porcentaje de elongación a temperatura ambiente de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si que tiene la microestructura equiáxica mencionada con anterioridad tras exposición térmica continua a alrededor de 650 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 7, 8, 9, 10 u 11; a alrededor de 700 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 7, 8, 9, 10 u 11; y a alrededor de 750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación retirada es de al menos alrededor de 7, 8, 9, 10, 11 o 12.

Haciendo referencia en general a la tabla 9, la resistencia última a la tracción (UTS) a temperatura ambiente (alrededor de 25 °C) de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si que tiene la microestructura bimodal I mencionada con anterioridad tras exposición térmica continua a alrededor de 650 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba, es de al menos alrededor de 1090, 1100, 1110, 11120, 1130 o 1140 MPa; a alrededor de 700 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es de al menos alrededor de 1080, 1090, 1100, 1110 o 1120 MPa; y a alrededor de 750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es de al menos alrededor de 1020, 1030, 1040, 1050 o 1060 MPa. La UTS a temperatura ambiente de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si que tiene la microestructura bimodal II mencionada anteriormente tras exposición térmica continua a alrededor de 650 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba, es de al menos alrededor de 1070, 1080, 1090, 1100, 1110, 1120 o 1130 MPa; a alrededor de 700 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es de al menos alrededor de 1040, 1050, 1060, 1070 o 1080 MPa, y a alrededor de 750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es de al menos alrededor de 1000, 1010, 1020, 1030, 1040 o 1050 MPa.

Con referencia general continuada a la tabla 9, el límite elástico (YS) a temperatura ambiente de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si que tiene la microestructura bimodal I tras exposición térmica continua a alrededor de 650 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es de al menos alrededor de 1040, 1050, 1060, 1070, 1080, 1090 o 1100 MPa; a alrededor de 700 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es de al menos alrededor de 1000, 1010, 1020, 1030, 1040, 1050, 1060 o 1070 MPa; y a alrededor de 750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es de al menos alrededor de 970, 980, 990, 1000 o 1010 MPa. El YS a temperatura ambiente de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si que tiene la microestructura bimodal II mencionada anteriormente tras exposición térmica continua a alrededor de 650 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es de al menos alrededor de 1040, 1050, 1060, 1070, 1080 o 1090 MPa; a alrededor de 700 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es de al menos alrededor de 990, 1000, 1010, 1020 o 1030 MPa; y a alrededor de 750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es al menos de alrededor de 970, 980, 990, 1000 o 1010 MPa.

Con referencia general continuada a la tabla 9, el porcentaje de elongación a temperatura ambiente (El., %) de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si que tiene la microestructura bimodal I mencionada con anterioridad tras exposición térmica continua a alrededor de 650 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es de al menos alrededor de 1, 2 o 3; a alrededor de 700 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es de al menos alrededor de 1, 2 o 3; y a alrededor de 750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es de al menos alrededor de 1, 2 o 3. El porcentaje de elongación a temperatura ambiente de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si que tiene la microestructura bimodal II mencionada con anterioridad tras exposición térmica continua a alrededor de 650 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es de al menos alrededor de 1, 2 o 3; a alrededor de 700 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es de al menos 1, 2, 3 o 4; y a alrededor de 750 °C durante 100 horas con la escama de oxidación permanente sobre la muestra de prueba es de al menos alrededor de 1, 2 o 3.

La presente aleación es altamente conformable a temperatura ambiente (capacidad de conformación en frío) o a temperaturas elevadas (capacidad de conformación en caliente). La tabla 10 muestra los datos de prueba de doble curvatura de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si. Como aleación casi alfa, la presente aleación puede ser conformada en frío con una relación entre radio/espesor de 2,6, 2,7, 2,8, 2,9, 3,0, 3,1, 3,2, 3,3, 3,4, 3,5, 3,6, 3,7, 3,8, 3,9 o 4,0, claramente más baja que la relación entre radio/espesor de 4,5 requerida para la Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si. La tabla 11 muestra los resultados de tracción de tasa de deformación rápida de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si a temperaturas elevadas de alrededor de 780 a alrededor de 930 °C. La presente aleación muestra una buena capacidad de conformación en caliente, con una ductilidad o porcentaje de elongación muy alto (elongación de alrededor del 90 al 230%) y un esfuerzo de deformación suficientemente bajo a temperaturas elevadas.

La aleación de la presente invención puede ser conformada también en piezas de forma compleja usando la técnica de conformación superplástica (SPF). La tabla 12 muestra la propiedad de conformación superplástica de la Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si a una velocidad de deformación de 3×10^{-4} /segundo en una gama de temperatura de 925 a 970 °C. La presente aleación muestra una elongación del 340 al 360% y un esfuerzo de deformación suficientemente bajo para la conformación de la SPF. La prueba demuestra también que la presente aleación es una aleación de titanio soldable, puesto que es una aleación de titanio casi alfa.

Según puede apreciarse a partir de los datos presentados con anterioridad, la presente invención proporciona una aleación de titanio resistente a la oxidación a alta temperatura que puede ser usada a temperaturas elevadas de al menos hasta 750 °C. La presente aleación no solo tiene una resistencia más alta a temperaturas elevadas sino también una resistencia mucho mayor a la oxidación que las aleaciones comerciales, tal como la Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si y la Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,3Si, y presenta una buena combinación de excelente resistencia a la oxidación, alta fortaleza y resistencia a la fluencia a temperaturas elevadas, y una buena estabilidad a la exposición post-térmica. Además, esta aleación puede ser fabricada en piezas usando la técnica de conformación en frío, conformación en caliente, conformación superplástica y soldadura.

Estas propiedades y el rendimiento de la presente aleación se consiguen mediante un control estricto de la química de las aleaciones. En particular, las adiciones combinadas de niobio y de estaño podrían ser mantenidas dentro de un rango dado. El aluminio, molibdeno, silicio y oxígeno podrían ser también controlados dentro de un rango dado para obtener una buena combinación de las propiedades. Las impurezas tales como el zirconio, hierro, níquel y cromo, deben ser mantenidas a un nivel considerablemente bajo.

Tabla 1 – Resultados de la prueba de oxidación de varias aleaciones de titanio

Aleación	Temp. de prueba °C	Ganancia de peso mg/cm ²						
		0 hrs	24 hrs	48 hrs	72 hrs	96 hrs	160 hrs	208 hrs
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si	650	0	0,15	0,21	0,26	0,28	0,38	0,43
	700	0	0,32	0,44	0,52	0,61	0,86	1,08
	750	0	0,70	1,21	1,64	2,20	3,93	7,22
Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,3Si	650	0	0,28	0,38	0,43	0,48	0,57	0,61
	700	0	0,44	0,70	1,03	1,39	2,16	2,66
	750	0	0,99	1,88	3,55	5,85	12,7	19,1
Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,6Mo-0,3Si	650	0	0,08	0,12	0,15	0,14	0,19	0,20
	700	0	0,17	0,23	0,28	0,32	0,42	0,47
	750	0	0,36	0,50	0,64	0,74	1,00	1,17
Ti-6Al-6Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si	650	0	0,09	0,12	0,13	0,15	0,20	0,22
	700	0	0,19	0,26	0,31	0,34	0,45	0,51
	750	0	0,38	0,53	0,66	0,79	1,06	1,25

Tabla 2 – Resultados de la prueba de propiedades mecánicas de varias aleaciones de titanio

Aleación	Propiedad de tracción	Temperatura de prueba °C						
		25	200	400	600	650	700	750
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si	UTS, MPa	1032	856	776	571	475	389	242
	YS, MPa	949	723	622	439	351	205	131
	El., %	13	14	17	32	72	46	119
Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,3Si	UTS, MPa	934	743	680	423	300	197	119
	YS, MPa	871	641	552	328	213	126	63
	El., %	18	22	26	50	120	200	200
Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,6Mo-0,3Si	UTS, MPa	1152	918	765	601	487	402	314
	YS, MPa	1093	788	758	481	380	314	216
	El., %	17	18	20	36	46	46	73

Ti-6Al-6Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si	UTS, MPa	1143	934	852	600	544	410	317
	YS, MPa	1079	824	711	491	406	293	188
	El., %	15	16	15	35	36	49	90

Tabla 3 – Prueba de propiedad de rotura por fluencia de varias aleaciones de titanio

Aleación	Propiedad de rotura por fluencia a 650 °C y 138 MPa	
	Tiempo para rotura por fluencia, hrs	
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si	25,5	
Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,3Si	3,4	
Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si	71,9	
Ti-6Al-6Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si	44,0	

Tabla 4 – Ganancia de peso y profundidad de caso alfa de varias aleaciones de titanio

Aleación	Prueba de oxidación a 750 °C/208 hrs		Prueba de oxidación a 650 °C/208 hrs	
	Ganancia de peso, mg/cm ²	Caso alfa, μm	Ganancia de peso, mg/cm ²	Caso alfa, μm
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si	7,22	141	0,43	64
Ti-6Al-6Zr-6Nb-0,5Mo-0,3Si	1,97	143	0,34	96
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Nb-0,5Mo-0,3Si	1,88	145	0,33	70
Ti-6Al-6Sn-6Nb-0,5Mo-0,3Si	1,27	82	0,24	45
Ti-6Al-6Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si	1,25	75	0,22	24

5

Tabla 5 – Resultados de la prueba de oxidación de la aleación de Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si

Microestructura	Temp. de prueba °C	Ganancia de peso, mg/cm ²						
		0 hrs	24 hrs	48 hrs	72 hrs	96 hrs	160 hrs	208 hrs
Bimodal I	650	0	0,09	0,12	0,14	0,15	0,20	0,21
	700	0	0,18	0,25	0,29	0,34	0,43	0,48
	750	0	0,35	0,49	0,61	0,72	0,95	1,12
Bimodal I	650	0	0,08	0,12	0,15	0,14	0,19	0,20
	700	0	0,17	0,23	0,28	0,32	0,42	1,47
	750	0	0,36	0,50	0,64	0,74	1,00	1,17
Equiáxica	650	0	0,08	0,11	0,13	0,14	0,18	0,21
	700	0	0,17	0,24	0,28	0,33	0,43	0,49
	750	0	0,41	0,60	0,73	0,88	1,14	1,33

Tabla 6 – Resultados de la prueba de propiedad mecánica de la aleación Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si

Microestructura	Propiedad de tracción	Temperatura de prueba, °C						
		25	200	400	600	650	700	750
Bimodal I L-dir	UTS, MPa	1157	914	801	636	522	420	335
	YS, MPa	1090	894	633	487	391	302	219
	El., %	16	18	19	29	40	43	94
Bimodal I T-dir	UTS, MPa	1204	1030	898	698	609	517	387
	YS, MPA	1092	867	735	542	476	359	262
	El., %	15	18	18	19	26	28	53

Bimodal II L-dir	UTS, MPa	1152	918	765	601	487	402	314
	YS, MPa	1093	788	758	481	380	314	216
	El., %	17	18	20	36	46	46	73
Bimodal II T-dir	UTS, MPa	1183	1019	880	694	604	473	352
	YS, MPa	1090	873	740	515	424	334	240
	El., %	9	14	16	19	11	13	36
Equiáxica L-dir	UTS, MPa	1221	990	893	638	517	386	264
	YS, MPa	1165	890	777	515	376	270	153
	El., %	14	14	13	28	55	93	179

Tabla 7 – Propiedad de rotura por fluencia de la aleación Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si

Microestructura	Dirección de muestra	Condición de prueba de rotura por fluencia	Tiempo de rotura, hrs	Deformación por fluencia, %
Bimodal I	L-dir	600 °C / 173 MPa	100*	4,1
	L-dir	650 °C / 138 MPa	100*	23,8
	L-dir	700 °C / 104 MPa	42,8	66,4
	L-dir	750 °C / 104 MPa	23,1	42,7
Bimodal II	L-dir	600 °C / 173 MPa	100*	6,1
	L-dir	650 °C / 138 MPa	71,9	40,9
	L-dir	700 °C / 104 MPa	9,8	6,6
	L-dir	750 °C / 69 MPa	13,9	49,0
Equiáxica	L-dir	650 °C / 138 MPa	16,6	52,1

Nota: 100* indica que el tiempo de rotura es mayor de 100 horas

5 **Tabla 8 – Propiedad de tracción a temperatura ambiente de la aleación Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si tras exposición térmica (escama de oxidación retirada)**

Exposición térmica	Microestructura	Propiedad de tracción		
		UTS, MPa	YS, MPa	El., %
650 °C / 100 hrs	Bimodal I	1152	1083	14
	Bimodal II	1120	1073	15
	Equiáxica	1220	1177	11
700 °C / 100 hrs	Bimodal I	1141	1065	14
	Bimodal II	1124	1052	14
	Equiáxica	1153	1092	11
750 °C / 100 hrs	Bimodal I	1090	1008	14
	Bimodal II	1092	1012	15
	Equiáxica	1170	1099	12

Tabla 9 – Propiedad de tracción a temperatura ambiente de la aleación Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si tras exposición térmica (con escama de oxidación)

Exposición térmica	Microestructura	Propiedad de tracción		
		UTS, MPa	YS, MPa	El., %
650 °C / 100 hrs	Bimodal I	1136	1100	3
	Bimodal II	1124	1086	3

700 °C / 100 hrs	Bimodal I	1112	1070	3
	Bimodal II	1074	1030	4
750 °C / 100 hrs	Bimodal I	1052	1012	2
	Bimodal II	1047	1008	3

Tabla 10 – Ductilidad de doble curvatura de la aleación Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si

Radio de curvatura/espesor de la lámina (R/t)	Resultado de doble curvatura	
	Primera curvatura	Segunda curvatura
2,88	pasa	pasa
2,61	pasa	falla

La especificación de lámina de Ti-6242 requiere una R/t de paso = 4,5

5 **Tabla 11 – Propiedad de conformación en caliente de la aleación Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si (propiedad de tracción de tasa de deformación rápida, 0,01/segundo)**

Temp. °C	788	816	843	871	927
Estrés verdadero a deformación real 0,2, MPa	348	293	236	187	110
Elongación, %	91	95	190	200	230

Tabla 12 – Propiedad de conformación superplástica de la aleación Ti-6Al-4Sn-3Nb-0,5Mo-0,3Si (tasa de deformación, 3×10^{-4} / segundo)

SPF Temp., °C	927	940	954	968
Estrés a deformación real 0,2, MPa	30	25	20	17
Estrés a deformación real 1,1, MPa	37	33	26	25
Elongación total, %	400	460	360	340

10 La prueba de tracción a temperatura ambiente (alrededor de 25 °C) mostrada en las tablas 2, 6, 8 y 9, fue realizada de acuerdo con ASTM E8-11 (Métodos de Prueba Estándar para Prueba de Tensión de Materiales Metálicos); la prueba de tracción a temperatura elevada mostrada en las tablas 2, 6, 8 y 9 se realizó de acuerdo con ASTM E21-09 (Métodos de Prueba Estándar para Pruebas de Tensión a Temperatura Elevada de Materiales Metálicos); la prueba de la propiedad de conformación en caliente mostrada en la tabla 11 se realizó de acuerdo con ASTM E21-09; la prueba de rotura por fluencia mostrada en las tablas 3 y 7 se realizó de acuerdo con ASTM 139-11 (Métodos de Prueba Estándar para Realizar Fluencia, Rotura por Fluencia, y Pruebas de Rotura por Estrés de Materiales Metálicos); la prueba de doble curvatura mostrada en la tabla 10 se realizó de acuerdo con ASTM E290-09 (Métodos de Prueba Estándar para Prueba de Curvatura de Material respecto a Ductilidad); la prueba de conformación superplástica mostrada en la tabla 12 se realizó de acuerdo con ASTM E2448-08 (Método de Prueba Estándar para Determinación de Propiedades Superplásticas de Materiales Metálicos Laminados); las muestras usadas en la prueba de oxidación en relación con la ganancia de peso y la profundidad de caso alfa (tablas 1, 4 y 5) eran de alrededor de 2 mm x 10 mm x 50 mm.

25 En general, las presentes aleaciones de titanio tienen una excelente resistencia a la oxidación, una alta fortaleza, y un buen comportamiento de conformación superplástica, y una buena soldabilidad. Estas aleaciones de titanio pueden ser usadas para piezas estructurales, para las que se requiere resistencia a la oxidación, resistencia a la corrosión, alta resistencia a temperaturas elevadas y peso ligero, por ejemplo, piezas de fuselaje (escudo térmico, boquillas tapón, etc.), piezas de aeromotores (carcasa, palas y paletas) y piezas de automóvil (válvulas).

30 Las presentes aleaciones pueden ser usadas para conformar una diversidad de componentes, artículos o piezas, especialmente las que necesitan una alta resistencia a temperaturas elevadas. Aunque las presentes aleaciones son muy útiles a temperaturas más altas tales como 650, 700 o 750 °C, las presentes aleaciones pueden proporcionar también ventajas significativas a una temperatura algo más baja de 660 °C (1112 °F) o incluso a temperaturas más bajas. Es decir, aunque otras aleaciones de titanio pueden ser muy adecuadas para su uso a tales temperaturas elevadas más bajas, las presentes aleaciones de titanio proporcionan ventajas significativas a esas temperaturas debido al menos en parte a las características previamente discutidas.

40 Las figuras 5-8 ilustran algunos de los componentes que pueden ser conformados a partir de las presentes aleaciones de titanio. Con referencia a la figura 5, se ha mostrado una aeronave 1 que tiene un fuselaje 2, alas 4, y motores 6 de turbina de gas montados en las alas 4 de la aeronave por medio de pilones 8 respectivos. La figura 6

muestra que el pilón 8 está asegurado al ala 4 y se extiende descendientemente y hacia delante desde la misma con el motor 6 de la aeronave asegurado a, y extendiéndose descendientemente desde, el pilón 8. Más en particular, el pilón 8 tiene una sección 10 delantera y una sección 12 trasera o de popa de tal modo que la parte superior de la parte trasera 12 está fijada a la parte inferior del ala 4 y la parte inferior del pilón 8 delantero puede estar formada con la presente aleación, incluyendo aunque sin limitación las que se detallan más adelante.

El motor 6 puede incluir una barquilla 14 con un extremo delantero que define una entrada de aire 16, una carcasa 18 de motor, una sección 20 de compresor que puede incluir un compresor 22 de baja presión con palas 24 de compresor giratorias de baja presión y un compresor 26 de alta presión con palas 28 de compresor giratorias de alta presión, perfiles estáticos o de estator o paletas 30, una cámara 32 de combustión, una sección 34 de turbina que puede incluir una turbina 36 con palas 38 de turbina giratorias, un sistema de escape que incluye una boquilla de escape o un conjunto 40 de boquilla, y un tapón 42 de salida, y varios sujetadores tales como componentes de pilón de alta temperatura que incluyen un escudo térmico 44 a lo largo de la parte inferior del pilón 8 y varios sujetadores. Un escudo térmico representativo del tipo de escudo térmico mostrado con 44 ha sido divulgado en la patente de EE.UU. 7.943.327, la cual se incorpora aquí por referencia. Otro escudo térmico de ese tipo, también mencionado como carenado de pilón de popa, ha sido divulgado en la publicación de solicitud de patente de EE.UU. 2011/0155847, la cual se incorpora también en la presente memoria por referencia.

Los sujetadores o los componentes de sujetador del motor 6 y/o del pilón 8 pueden estar representados por los sujetadores y/o los componentes de sujetador ilustrados en la figura 7, la cual muestra, en particular, un sujetador roscado en forma de un tornillo 46, una tuerca 48 roscada y una arandela 50. Los sujetadores o los componentes de sujetador mostrados en la figura 7 están simplificados y son genéricos, y están destinados a representar una diversidad de otros tipos de sujetadores y componentes de sujetador que son bien conocidos. Tales sujetadores o componentes pueden ser usados, por ejemplo, en motores de aeronaves o de forma más general, en una aeronave. Tales sujetadores o componentes pueden ser usados también en varios entornos de alta temperatura, por ejemplo otros tipos de motores tales como motores de combustión interna usados en automóviles u otros vehículos o para otros propósitos. Los sujetadores o componentes formados con las presentes aleaciones de titanio pueden ser usados en entornos de temperatura más baja, pero son especialmente útiles para proporcionar sujetadores de alta resistencia en entornos de alta temperatura, tal como las temperaturas discutidas en lo que antecede.

Según se conoce bien, el motor 6 de aeronave es una forma de motor alimentado con combustible que crea una cantidad sustancial de calor durante el funcionamiento. Mientras que el motor 6 ha sido ilustrado como motor de turbina de gas para aeronave, también puede representar otros tipos de motores alimentados con combustible, tal como cualquier motor de combustión interna que puede ser un motor de movimiento alternativo, por ejemplo un motor de un automóvil. De ese modo, las presentes aleaciones de titanio pueden ser usadas para formar componentes que sean por tanto más susceptibles a la oxidación.

La figura 8 muestra un componente de ese tipo en forma de válvula 52 de motor de automóvil que incluye un vástago 54, un filete 56 y una cabeza de válvula 58. El filete 56 es ahusado cóncavamente hacia el interior desde la cabeza de válvula 58 hasta el vástago 54. El vástago 54 termina en una punta 60 opuesta a la cabeza 58. El vástago 54 adyacente a la punta 60 define una ranura 60 acanalada para recibir un retenedor para un muelle de válvula del motor. La cabeza 58 tiene una cara 64 de asiento de válvula configurada para asentar contra un asiento de válvula del motor. Una válvula obturadora de motor tal como la válvula 58, ha sido divulgada en la patente de EE.UU. 6.718.932, la cual se incorpora en la presente memoria por referencia.

El motor 6, el cual puede representar, por ejemplo, según se ha indicado anteriormente, un motor de turbina de gas o un motor de movimiento alternativo o cualquier motor alimentado con combustible, puede representar también de manera más amplia una máquina que puede incluir un componente fabricado con una de las presentes aleaciones de modo que el funcionamiento de la máquina producirá calor de tal modo que el componente se mantiene continuamente a una temperatura operativa de al menos 600, 650, 700 o 750 °C durante una duración de al menos ½ hora, dos horas, tres horas, cuatro horas, cinco horas, seis horas, siete horas, ocho horas, nueve horas, diez horas o más, tal como la duración indicada en las tablas pertinentes proporcionadas en la presente memoria con respecto al mantenimiento de la temperatura a 24 horas, 48 horas, etcétera. La máquina puede estar operada de tal modo que el componente alcance esas temperaturas durante los tiempos o las duraciones indicadas, no necesariamente de una manera continua, sino por el contrario de forma intermitente, y de modo que la duración total de los períodos de tiempo o duraciones intermitentes, por ejemplo, pueda ser igual, por ejemplo, a cualquiera de las duraciones específicas mencionadas con anterioridad. En cualquier caso, el componente estará generalmente expuesto a tales temperaturas en el aire, con lo que duración total de exposición a la oxidación a tales temperaturas elevadas será similar tanto de forma continua como intermitente.

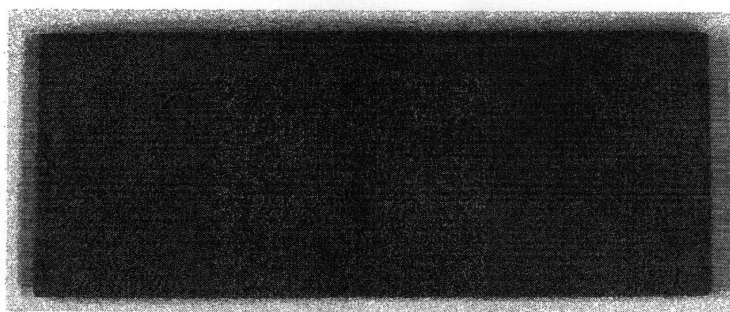
La solicitante se reserva el derecho de reivindicar las presentes aleaciones, piezas formadas con las mismas o métodos relativos en cualesquiera incrementos de valores indicados en la presente memoria, incluyendo por ejemplo, aunque sin limitación, los porcentajes de los elementos que forman las presentes aleaciones, las temperaturas y las horas mencionadas, la cantidad de ganancia de peso, la profundidad de caso alfa, el grado de elongación, etcétera.

En la descripción que antecede algunos de los términos han sido usados por motivos de brevedad, claridad y comprensión. No se deben implicar limitaciones innecesarias de los mismos más allá del requisito de la técnica anterior debido a que tales términos se usan con fines de descripción y se pretende que sean entendidos de manera amplia.

- 5 Además, la descripción y la ilustración de las realizaciones preferidas de la invención son solamente un ejemplo y la invención no está limitada a los detalles exactos mostrado o descritos.

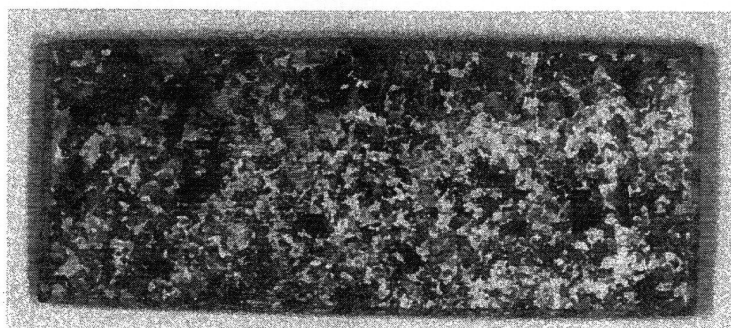
REIVINDICACIONES

- 1.- Una aleación de titanio para alta temperatura, que consiste en:
 - 5 4,5 a 7,5% en peso de aluminio;
 - 2,0 a 8,0% en peso de estaño;
 - 1,5 a 6,5% en peso de niobio;
 - 10 0,1 a 2,5% en peso de molibdeno;
 - 0,1 a 0,6% en peso de silicio;
 - 15 0,0 a 1,0% en peso de tantalio;
 - un total de zirconio y vanadio en la gama de 0,0 a 0,5% en peso;
 - no más del 0,20% en peso de oxígeno;
 - 20 no más del 0,10% en peso de carbono;
 - no más del 0,10% en peso de cada uno de níquel, hierro, cromo, cobre y manganeso, y un total de <0,30% en peso combinados;
 - 25 un total de hafnio y renio en la gama de 0,0 a 0,3% en peso; y
 - el resto de titanio.
- 30 2.- La aleación de la reivindicación 1, en la que el aluminio está en un 5,5 a 6,5% en peso; el estaño está en un 3,5 a 4,5% en peso; el niobio está en un 2,75 a 3,25% en peso; el molibdeno está en un 0,5 a 0,8% en peso; el silicio está en un 0,30 a 0,45% en peso; el oxígeno está en un 0,08 a 0,12% en peso; el carbono está en un 0,02 a 0,04% en peso; y el zirconio, hierro, níquel y cromo están, cada uno de ellos, por debajo de un 0,1% en peso.
- 35 3.- La aleación de la reivindicación 1, en la que la aleación comprende un 3,0 a 6,0% en peso de niobio.
- 4.- La aleación de la reivindicación 1, en la que la aleación tiene una resistencia última a la tracción de al menos 260 a una temperatura de 750 °C.
- 40 5.- La aleación de la reivindicación 1, en la que la aleación tiene un límite elástico de al menos 150 a una temperatura de 750 °C.
- 6.- La aleación de la reivindicación 1, en la que la aleación tiene una ganancia de peso de no más de 2,00 mg/cm² tras mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de 750 °C durante una duración de 208 horas.
- 45 7.- La aleación de la reivindicación 1, en la que la aleación tiene una profundidad de caso alfa de no más de 100 micrones tras mantener la aleación en aire continuamente a una temperatura de 750 °C durante 208 horas.
- 8.- La aleación de la reivindicación 1, en la que la aleación a una temperatura de 25 °C tiene un porcentaje de elongación de al menos un 2% tras la exposición en aire a una temperatura de 750 °C durante 100 horas.
- 50 9.- Uso de una aleación conforme a la reivindicación 1 para formar al menos una porción de uno de: (a) una barquilla del motor de una aeronave, (b) una carcasa de motor de aeronave, (c) una pala de compresor giratoria de motor de aeronave, (d) una paleta de estator de motor de aeronave, (e) una pala de turbina giratoria de motor de aeronave, (f) una boquilla de salida de motor de aeronave, (g) un tapón de salida de motor de aeronave, (h) un sujetador de motor de aeronave, y (i) un escudo térmico de un pión de motor de aeronave.
- 55 10.- Uso de una aleación conforme a la reivindicación 1 para la formación de un componente de un motor de combustión interna o de un componente de un motor de turbina de gas.
- 60 11.- El uso de la reivindicación 10 para la formación de un componente de un motor de combustión interna, y en el que el componente del motor de combustión interna es una válvula.
- 12.- Uso de una aleación conforme a la reivindicación 1 para la formación de un componente que tiene una temperatura operativa de al menos 600 °C.
- 65



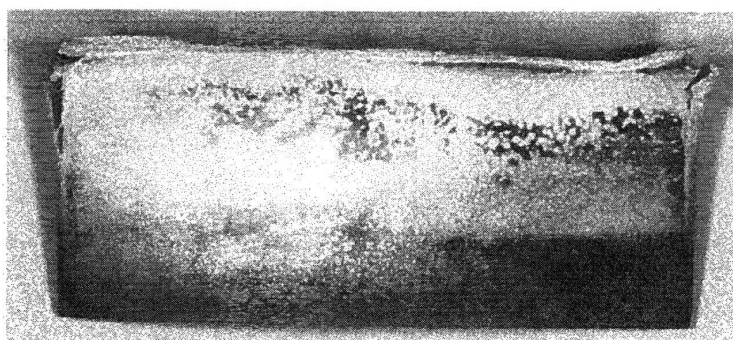
Ti-6Al-4Sn-3Nb-0.5Mo-0.3Si

FIG-1a



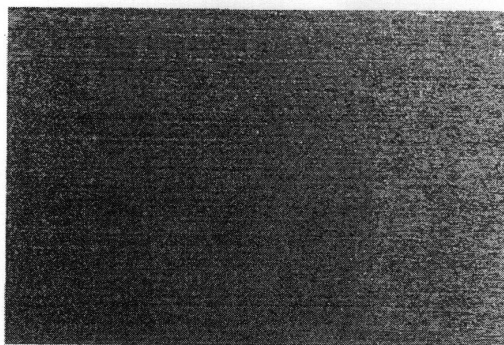
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si

FIG-1b (TÉCNICA ANTERIOR)



Ti-15Mo-3Nb-3Al-0.3Si

FIG-1c (TÉCNICA ANTERIOR)



Ti-6Al-4Sn-3Nb-0.5Mo-0.3Si

FIG-2a



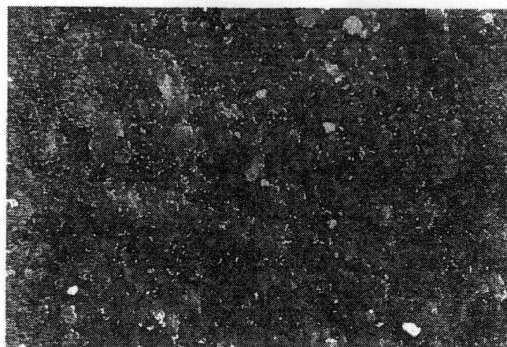
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si

FIG-2b (TÉCNICA ANTERIOR)



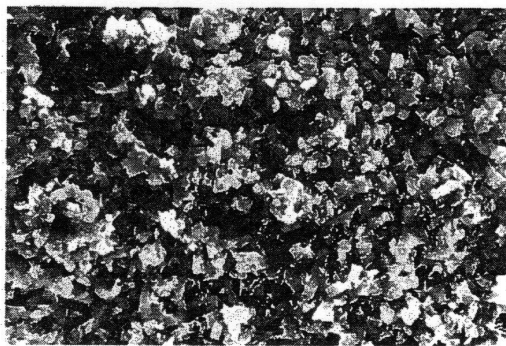
Ti-15Mo-3Nb-3Al-0.3Si

FIG-2c (TÉCNICA ANTERIOR)



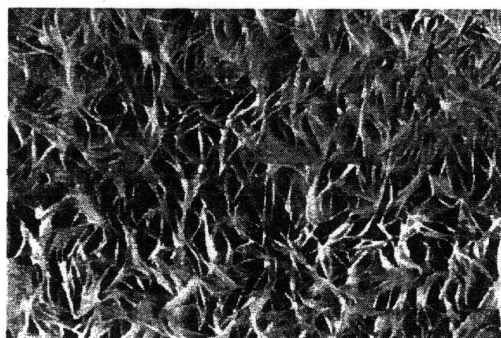
Ti-6Al-6Sn-6Nb-0.5Mo-0.3Si

FIG-3a



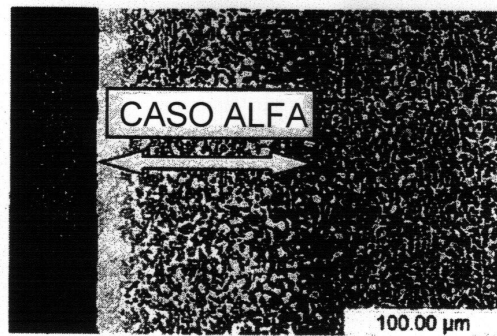
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si

FIG-3b (TÉCNICA ANTERIOR)



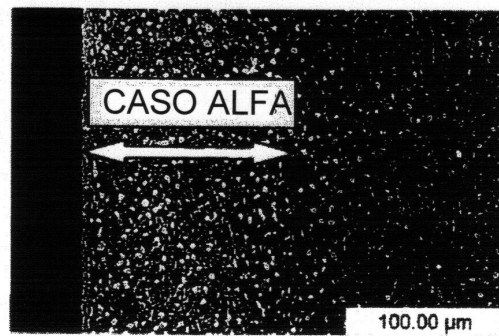
Ti-15Mo-3Nb-3Al-0.3Si

FIG-3c (TÉCNICA ANTERIOR)



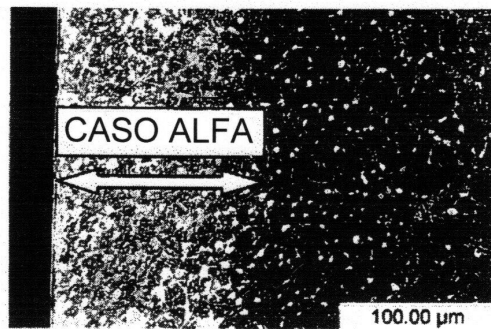
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si

FIG-4a (TÉCNICA ANTERIOR)



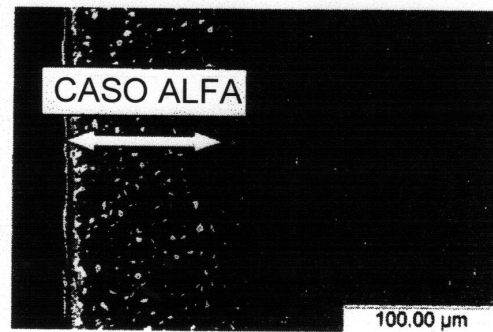
Ti-6Al-6Zr-6Nb-0.5Mo-0.3Si

FIG-4b (TÉCNICA ANTERIOR)



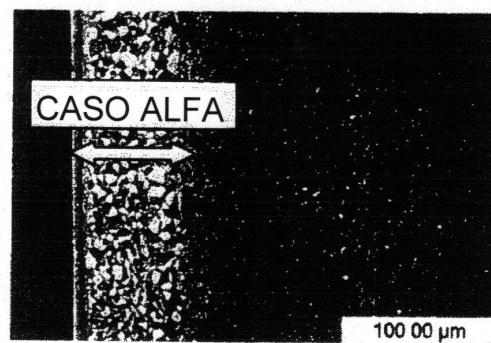
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Nb-0.5Mo-0.3Si

FIG-4c (TÉCNICA ANTERIOR)



Ti-6Al-6Sn-6Nb-0.5Mo-0.3Si

FIG-4d



Ti-6Al-6Sn-3Nb-0.5Mo-0.3Si

FIG-4e

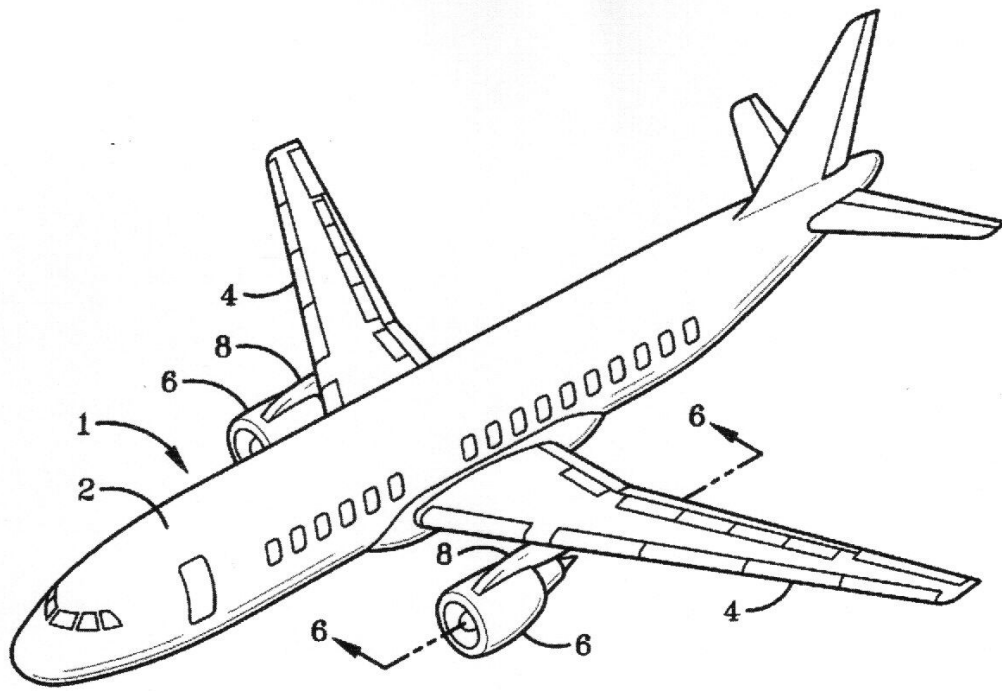


FIG-5

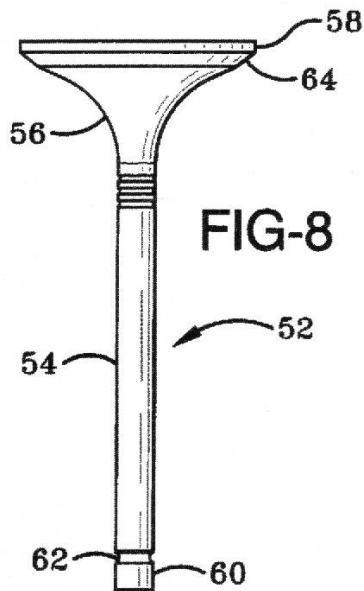


FIG-8

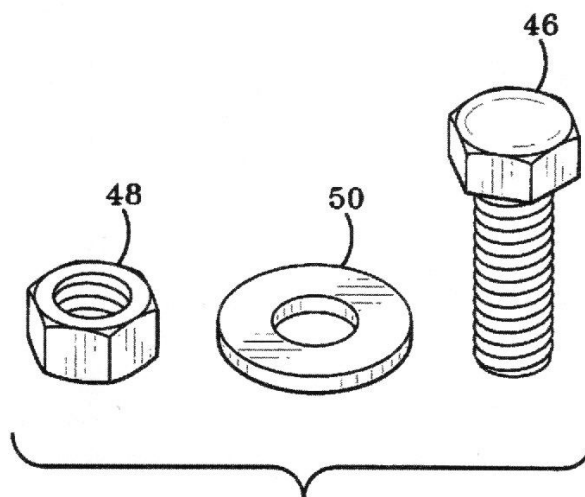


FIG-7

