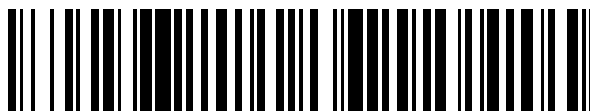


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 932 726**

51 Int. Cl.:

**C22C 14/00** (2006.01)

**C22F 1/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.03.2019 PCT/US2019/024574**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.11.2019 WO19217006**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2019 E 19722250 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.11.2022 EP 3791003**

54 Título: **Aleaciones de titanio de alta resistencia**

30 Prioridad:

**07.05.2018 US 201815972319**

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

**24.01.2023**

73 Titular/es:

**ATI PROPERTIES LLC (100.0%)  
1600 N.E. Old Salem Road  
Albany, OR 97321, US**

72 Inventor/es:

**GARCIA-AVILA, MATIAS;  
MANTIONE, JOHN, V. y  
ARNOLD, MATTHEW, J.**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 932 726 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

Aleaciones de titanio de alta resistencia

5 **Campo de la tecnología**

La presente divulgación se refiere a aleaciones de titanio a alta resistencia.

10 **Descripción de los antecedentes de la tecnología**

10 Las aleaciones de titanio presentan normalmente una elevada relación resistencia a peso, son resistentes a la corrosión y son resistentes a la fluencia a temperaturas moderadamente altas. Por estas razones, las aleaciones de titanio se utilizan en aplicaciones aeroespaciales y aeronáuticas, incluyendo, por ejemplo, miembros del tren de aterrizaje, bastidores del motor y otras piezas estructurales críticas. Por ejemplo, la aleación de titanio Ti-10V-2Fe-3Al (también conocida como "aleación Ti 10-2-3", que tiene una composición especificada en UNS 56410) y la aleación de titanio Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr (también denominada "aleación Ti 5553"; UNS sin asignar) son aleaciones comerciales que se utilizan para aplicaciones de tren de aterrizaje y otros componentes grandes. Estas aleaciones exhiben una resistencia máxima a la tracción en el intervalo de 1172-1241 MPa (170-180 ksi) y son tratables térmicamente en secciones gruesas. No obstante, estas aleaciones tienden a tener una ductilidad limitada a temperatura ambiente en condiciones de alta resistencia. Esta ductilidad limitada generalmente es causada por fases fragilizantes tales como Ti<sub>3</sub>Al, TiAl o fase omega.

25 Además, la aleación de titanio Ti-10V-2Fe-3Al puede ser difícil de procesar. La aleación debe enfriarse rápidamente, tal como por enfriamiento con agua o aire, después del tratamiento en solución para lograr las propiedades mecánicas deseadas del producto, y esto puede limitar su aplicabilidad a un espesor de sección de menos de 3 pulgadas (7,62 cm). La aleación de titanio Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr se puede enfriar con aire desde la temperatura de la solución y, por lo tanto, se puede utilizar en un espesor de sección de hasta 6 pulgadas (15,24 cm). No obstante, su resistencia y ductilidad son inferiores a las de la aleación de titanio Ti-10V-2Fe-3Al. Las aleaciones actuales también exhiben ductilidad limitada, por ejemplo, inferior al 6 %, en la condición de alta resistencia debido a la precipitación de fases metaestables secundarias quebradizas. F.A. Crossley et al "Cast transage 175 titanium alloy for durability critical structural components", Journal of Aircraft, vol. 20, n.º 1, enero de 1983 (1983-01-01), páginas 66-69, divulga la aleación comercial conocida como transage 175.

35 Por consiguiente, se ha desarrollado una necesidad de aleaciones de titanio con templabilidad de sección gruesa y/o ductilidad mejorada a una resistencia máxima a la tracción superior a aproximadamente 1172 MPa (170 ksi) a temperatura ambiente.

**Sumario**

40 La invención proporciona una aleación de titanio de acuerdo con la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas. La invención proporciona además métodos para fabricar una aleación de titanio de acuerdo con las reivindicaciones 9 y 20 de las reivindicaciones adjuntas.

45 Según un aspecto de la presente divulgación, una aleación de titanio comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación: de 8,6 a 11,4 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio; de 4,6 a 7,4 de estaño; de 2,0 a 3,9 de aluminio; de 1,0 a 3,0 de molibdeno; de 1,6 a 3,4 de circonio; de 0 a 0,5 de cromo; de 0 a 0,4 de hierro; de 0 a 0,25 de oxígeno; de 0 a 0,05 de nitrógeno; de 0 a 0,05 de carbono; titanio; e impurezas.

50 **Breve descripción de los dibujos**

Las características y ventajas de las aleaciones, artículos y métodos descritos en el presente documento pueden comprenderse mejor por referencia a los dibujos adjuntos en los que:

55 la FIG. 1 es un gráfico que ilustra una realización no limitante de un método de procesamiento de una realización no limitante de una aleación de titanio según la presente divulgación; y

60 la FIG. 2 es un gráfico que muestra la resistencia máxima a la tracción (UTS) y el alargamiento de realizaciones no limitantes de aleaciones de titanio según la presente divulgación en comparación con ciertas aleaciones de titanio convencionales.

El lector apreciará los detalles anteriores, así como otros, tras considerar la siguiente descripción detallada de ciertas realizaciones no limitantes según la presente divulgación.

65

### Descripción detallada de ciertas realizaciones no limitantes

En la presente descripción de las realizaciones no limitantes, aparte de en los ejemplos de operación, o donde se indique otra cosa, todos los números que expresan las cantidades o características deben entenderse como modificados en todos los casos por el término "aproximadamente". Por consiguiente, salvo que se indique lo contrario, cualesquier parámetros numéricos expuestos en la siguiente descripción son aproximaciones que pueden variar dependiendo de las propiedades deseadas que se pretenda obtener en los materiales y por los métodos según la presente divulgación. Como mínimo y sin por ello pretender limitar la aplicación de la doctrina de equivalentes al ámbito de las reivindicaciones, cada parámetro numérico debe interpretarse al menos a la luz del número de las cifras significativas indicadas y aplicando las técnicas de redondeo rutinarias. Todos los intervalos descritos en el presente documento incluyen los puntos de extremo descritos a menos que se indique lo contrario.

Como se utiliza en el presente documento, el término "ductilidad" o "límite de ductilidad" se refiere al límite o cantidad máxima de reducción o deformación plástica que un material metálico puede soportar sin fracturarse o agrietarse. Esta definición es consistente con el significado atribuido, por ejemplo, en, ASM Materials Engineering Dictionary, J.R. Davis, ed., ASM International (1992), pág. 131.

La referencia en el presente documento a una aleación de titanio que "comprende" una composición particular pretende abarcar aleaciones "que consisten esencialmente en" o "que consisten en" la composición indicada. Se entenderá que las composiciones de aleación de titanio descritas en el presente documento "que comprenden", "que consisten en" o "que consisten esencialmente en" una composición particular también pueden incluir impurezas.

La presente divulgación, en parte, hace referencia a aleaciones que abordan algunas de las limitaciones de las aleaciones de titanio convencionales. La aleación de titanio según la presente divulgación puede comprender o consistir esencialmente en, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación: de 2,0 a 5,0 de aluminio; de 3,0 a 8,0 de estaño; de 1,0 a 5,0 de circonio; y un total combinado de hasta 16,0 de 6,0 a 12,0 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio y de 0 a un total de 10,0 de uno o más elementos seleccionados de oxígeno, molibdeno, cromo, hierro, cobre, nitrógeno y carbono; el resto titanio e impurezas. Ciertas realizaciones de esa aleación de titanio pueden comprender o consistir esencialmente en, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación: de 6,0 a 12,0, o en algunas realizaciones de 6,0 a 10,0, de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio; de 0,1 a 5,0 de molibdeno; de 0,01 a 0,40 de hierro; de 0,005 a 0,3 de oxígeno; de 0,001 a 0,07 de carbono; y de 0,001 a 0,03 de nitrógeno. Otra realización no limitante de la aleación de titanio según la presente divulgación puede comprender o consistir esencialmente en, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación: de 8,6 a 11,4 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio; de 4,6 a 7,4 de estaño; de 2,0 a 3,9 de aluminio; de 1,0 a 3,0 de molibdeno; de 1,6 a 3,4 de circonio; de 0 a 0,5 de cromo; de 0 a 0,4 de hierro; de 0 a 0,25 de oxígeno; de 0 a 0,05 de nitrógeno; de 0 a 0,05 de carbono; el resto titanio e impurezas.

En realizaciones no limitantes de aleaciones según esta divulgación, los elementos secundarios y las impurezas en la composición de la aleación pueden comprender o consistir esencialmente en uno o más de hidrógeno, wolframio, tantalio, manganeso, níquel, hafnio, galio, antimonio, silicio, azufre, potasio y cobalto. Ciertas realizaciones no limitantes de aleaciones de titanio según la presente divulgación pueden comprender, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación, de 0 a 0,015 de hidrógeno, y de 0 hasta 0,1 de cada uno de wolframio, tantalio, manganeso, níquel, hafnio, galio, antimonio, silicio, azufre, potasio y cobalto.

En ciertas realizaciones no limitantes de la presente aleación de titanio, la aleación de titanio comprende un valor equivalente de aluminio de 6,0 a 9,0 y un valor equivalente de molibdeno de 5,0 a 10,0, que los inventores han observado como que mejora la ductilidad a una resistencia máxima a la tracción superior a aproximadamente 1172 MPa (170 ksi) a temperatura ambiente al tiempo que evita fases indeseables, acelerando la cinética de precipitación y promoviendo una transformación martensítica durante el procesamiento. Como se utiliza en el presente documento, el "valor equivalente de aluminio" o el "equivalente de aluminio" ( $Al_{eq}$ ) puede determinarse de la siguiente manera (en donde todas las concentraciones elementales están en porcentajes en peso, como se indica):  $Al_{eq} = Al_{( \% p )} + [(1/6) \times Zr_{( \% p )}] + [(1/3) \times Sn_{( \% p )}] + [10 \times O_{( \% p )}]$ . Como se utiliza en el presente documento, el "valor equivalente de molibdeno" o el "equivalente de molibdeno" ( $Mo_{eq}$ ) puede determinarse de la siguiente manera (en donde todas las concentraciones elementales están en porcentajes en peso, como se indica):  $Mo_{eq} = Mo_{( \% p )} + [(1/5) \times Ta_{( \% p )}] + [(1/3,6) \times Nb_{( \% p )}] + [(1/2,5) \times W_{( \% p )}] + [(1/1,5) \times V_{( \% p )}] + [1,25 \times Cr_{( \% p )}] + 1,25 \times Ni_{( \% p )} + [1,7 \times Mn_{( \% p )}] + [1,7 \times Co_{( \% p )}] + [2,5 \times Fe_{( \% p )}]$ .

En ciertas realizaciones no limitantes de la presente aleación de titanio, la aleación de titanio comprende un contenido de aluminio relativamente bajo para evitar la formación de fases intermetálicas frágiles de tipo  $Ti_3X$ , donde X representa un metal. El titanio tiene dos formas alotrópicas: una fase beta ("β"), que tiene una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo ("bcc"); y una fase alfa ("α"), que tiene una estructura cristalina empaquetada hexagonal cerrada ("hcp"). La mayoría de las aleaciones de titanio α-β contienen aproximadamente un 6 % de aluminio, que puede formar  $Ti_3Al$  tras el tratamiento térmico. Esto puede tener un efecto perjudicial sobre la ductilidad. Por consiguiente, ciertas realizaciones de las aleaciones de titanio según la presente divulgación incluyen de aproximadamente 2,0 % a aproximadamente 5,0 % de aluminio, en peso. En ciertas otras realizaciones no limitantes de la aleación de titanio según la presente divulgación, el contenido de aluminio es de aproximadamente 2,0 % a aproximadamente 3,4 %, en peso. En realizaciones adicionales, el contenido de aluminio de las aleaciones de titanio según la presente divulgación puede ser de aproximadamente 3,0 % a aproximadamente 3,9 %, en peso.

En ciertas realizaciones no limitantes de la presente aleación de titanio, la aleación de titanio comprende una adición intencionada de estaño y circonio junto con otras adiciones de aleación tales como aluminio, oxígeno, vanadio, molibdeno, niobio y hierro. Sin desear quedar ligados a teoría alguna, se cree que la adición intencionada de estaño y circonio estabiliza la fase  $\alpha$ , aumentando la fracción de volumen de la fase  $\alpha$  sin el riesgo de formar fases fragilizantes. Se observó que la adición intencionada de estaño y circonio aumenta la resistencia a la tracción a temperatura ambiente mientras mantiene la ductilidad. La adición de estaño y circonio también proporciona un fortalecimiento de la solución sólida en las fases  $\alpha$  y  $\beta$ . En ciertas realizaciones no limitantes de la aleación de titanio según la presente divulgación, una suma de los contenidos de aluminio, estaño y circonio es del 8 % al 15 % en peso basado en el peso total de la aleación.

En ciertas realizaciones no limitantes según la presente divulgación, las aleaciones de titanio descritas en el presente documento incluyen uno o más elementos estabilizadores  $\beta$  seleccionados de vanadio, molibdeno, niobio, hierro y cromo, para retardar la precipitación y el crecimiento de la fase  $\alpha$  mientras se enfría el material del campo de la fase  $\beta$  y lograr la templabilidad de sección gruesa deseada. La aleación de titanio según la presente invención comprende del 6,0 % a aproximadamente el 12,0 % de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio, en peso. En realizaciones adicionales, una suma de los contenidos de vanadio y niobio en las aleaciones de titanio según la presente divulgación puede ser de aproximadamente el 8,6 % a aproximadamente el 11,4 %, de aproximadamente el 8,6 % a aproximadamente el 9,4 % o de aproximadamente el 10,6 % a aproximadamente el 11,4 %, siendo todos ellos porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación de titanio.

La aleación de titanio según la presente divulgación consiste en, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación: de 2,0 a 5,0 de aluminio; de 3,0 a 8,0 de estaño; de 1,0 a 5,0 de circonio; y un total combinado de hasta 16,0 de 6,0 a 12,0 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio y hasta un total de 16,0 de uno o más elementos seleccionados de oxígeno, molibdeno, cromo, hierro, cobre, nitrógeno y carbono; el resto titanio e impurezas.

En la primera realización, se puede incluir aluminio para la estabilización de la fase alfa y el fortalecimiento. En la primera realización, el aluminio puede estar presente en cualquier concentración en el intervalo de 2,0 a 5,0 por ciento en peso, basado en el peso total de la aleación.

En la primera realización, se puede incluir estaño para el fortalecimiento de la solución sólida de la aleación y la estabilización de la fase alfa. En la primera realización, el estaño puede estar presente en cualquier concentración en el intervalo de 3,0 a 8,0 por ciento en peso, basado en el peso total de la aleación.

En la primera realización, puede incluirse circonio para el fortalecimiento de la solución sólida de la aleación y la estabilización de la fase alfa. En la primera realización, el circonio puede estar presente en cualquier concentración en el intervalo de 1,0 a 5,0 por ciento en peso, basado en el peso total de la aleación.

En la primera realización, el molibdeno, si está presente, puede incluirse para el fortalecimiento de la solución sólida de la aleación y la estabilización de la fase beta. En la primera realización, el molibdeno puede estar presente en cualquiera de los siguientes intervalos de concentración en peso, basado en el peso total de la aleación: de 0 a 5,0; de 1,0 a 5,0; de 1,0 a 3,0; de 1,0 a 2,0; y de 2,0 a 3,0.

En la primera realización, el hierro, si está presente, puede incluirse para el fortalecimiento de la solución sólida de la aleación y la estabilización de la fase beta. En la primera realización, el hierro puede estar presente en cualquiera de los siguientes intervalos de concentración en peso, basado en el peso total de la aleación: de 0 a 0,4; y de 0,01 a 0,4.

En la primera realización, el cromo, si está presente, puede incluirse para el fortalecimiento de la solución de la aleación y la estabilización de la fase beta. En la primera realización, el cromo puede estar presente en cualquier concentración dentro del intervalo de 0 a 0,5 por ciento en peso, basado en el peso total de la aleación.

Una segunda aleación de titanio no limitante según la presente divulgación comprende o consiste esencialmente en, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación: de 8,6 a 11,4 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio; de 4,6 a 7,4 de estaño; de 2,0 a 3,9 de aluminio; de 1,0 a 3,0 de molibdeno; de 1,6 a 3,4 de circonio; de 0 a 0,5 de cromo; de 0 a 0,4 de hierro; de 0 a 0,25 de oxígeno; de 0 a 0,05 de nitrógeno; de 0 a 0,05 de carbono; el resto titanio e impurezas.

En la segunda realización, se puede incluir vanadio y/o niobio para el fortalecimiento de la solución de la aleación y la estabilización de la fase beta. En la segunda realización, el contenido total combinado de vanadio y niobio aluminio puede ser cualquier concentración en el intervalo de 8,6 a 11,4 por ciento en peso, basado en el peso total de la aleación.

Sin desear quedar ligados a teoría alguna, se cree que un valor equivalente de aluminio mayor puede estabilizar la fase  $\alpha$  de las aleaciones de este documento. Por otra parte, un valor equivalente de molibdeno mayor puede estabilizar la fase  $\beta$ . En ciertas realizaciones no limitantes de la aleación de titanio según la presente divulgación, una relación entre el valor equivalente de aluminio y el valor equivalente de molibdeno es de 0,6 a 1,3 para permitir el fortalecimiento

de la aleación, reduciendo el riesgo de formación de fases fragilizantes, permitiendo buena forjabilidad y formación de microestructura ultrafina que proporciona buenas propiedades de fatiga de alto ciclo.

5 El método de producción nominal para las aleaciones de titanio de alta resistencia según la presente divulgación es típico para el titanio forjado y las aleaciones de titanio y resultará familiar para los expertos en la materia. En la Figura 1 se proporciona un flujo de proceso general para la producción de aleaciones y se describe a continuación. Cabe señalar que esta descripción no limita la aleación a moldear. Las aleaciones según la presente divulgación, por ejemplo, también pueden producirse por métodos de producción de polvo-a-parte, que pueden incluir métodos de consolidación y/o fabricación aditiva.

10 En ciertas realizaciones no limitantes según la presente divulgación, se preparan las materias primas que se utilizarán en la producción de la aleación. Según ciertas realizaciones no limitantes, las materias primas pueden incluir, pero sin limitación, esponja o polvo de titanio, adiciones elementales, aleaciones maestras, dióxido de titanio y material reciclado. El material reciclado, también conocido como reversión o chatarra, puede consistir en o incluir virutas o astillas de titanio y aleaciones de titanio, sólidos pequeños y/o grandes, polvo y otras formas de titanio o aleaciones de titanio generadas previamente y reprocesadas para su reutilización. La forma, el tamaño y la forma de la materia prima a utilizar pueden depender de los métodos utilizados para fundir la aleación. Según ciertas realizaciones no limitantes, el material puede estar en forma de partículas e introducirse suelto en un horno de fusión. Según otras realizaciones, parte o la totalidad de la materia prima puede compactarse en briquetas pequeñas o grandes. 20 Dependiendo de los requisitos o preferencias del método de fusión en particular, la materia prima se puede montar en un electrodo consumible para fundir o se puede alimentar como partículas al horno. La materia prima procesada por el proceso de colada-forjado puede fundirse de manera sencilla o múltiple para obtener un producto final en lingote. Según ciertas realizaciones no limitantes, el lingote puede tener forma cilíndrica. En otras realizaciones, no obstante, el lingote puede asumir cualquier forma geométrica, incluida, pero sin limitación, lingotes que tienen una sección transversal rectangular o de otro tipo.

30 Según ciertas realizaciones no limitantes, los métodos de fusión para la producción de una aleación a través de una ruta de fundición forjada pueden incluir la fusión en horno frío de plasma (PAM) o en horno frío de haz de electrones (EB), refundición por arco al vacío (VAR), refundición por electroescoria (ESR o ESRR) y/o fusión de cráneo. Una lista no limitante de métodos para la producción de polvo incluye fundido por inducción/atomizado con gas, plasma atomizado, electrodo giratorio de plasma, gas de inducción de electrodo atomizado, o una de las técnicas de reducción directa de  $TiO_2$  o  $TiCl_4$ .

35 Según ciertas realizaciones no limitantes, la materia prima puede fundirse para formar uno o más primeros electrodos de fusión. Los electrodos se preparan y se vuelven a fundir una o más veces, normalmente usando VAR, para producir un lingote de fusión final. Por ejemplo, la materia prima puede fundirse por arco de plasma en frío (PAM) para crear un electrodo cilíndrico de 66 cm (26 pulgadas) de diámetro. Luego, el electrodo PAM se puede preparar y posteriormente volver a fundir con arco al vacío (VAR) en un lingote fundido final de 76,2 cm (30 pulgadas) de diámetro que tiene un peso típico de aproximadamente 971,8 kg (20.000 lb). El lingote fundido final de la aleación se convierte luego por medios de procesamiento de forjado al producto deseado, que puede ser, por ejemplo, alambre, barra, tocho, lámina, placa, y productos que tienen otras formas. Los productos se pueden producir en la forma final en la que se utiliza la aleación, o se pueden producir en una forma intermedia que luego se procesa hasta obtener un componente final mediante una o más técnicas que pueden incluir, por ejemplo, forjado, laminación, trefilado, extrusión, tratamiento térmico, mecanizado y soldadura.

45 Según ciertas realizaciones no limitantes, la conversión forjada de lingotes de titanio y aleaciones de titanio generalmente implica un ciclo inicial de forjado en caliente que utiliza una prensa de forjado de matriz abierta. Esta parte del proceso está diseñada para tomar la estructura de grano interno del lingote recién fundido y reducirlo a un tamaño más refinado, que pueden exhibir adecuadamente las propiedades de aleación deseadas. El lingote puede calentarse a una temperatura elevada, por ejemplo, por encima del  $\beta$ -transus de la aleación, y se mantiene durante un periodo de tiempo. La temperatura y el tiempo se establecen para permitir que la aleación alcance por completo la temperatura deseada y se pueden extender por periodos más prolongados para homogeneizar la química de la aleación. A continuación, la aleación se puede forjar a un tamaño más pequeño mediante una combinación de operaciones de recalado y/o trefilado. El material se puede forjar y recalentar secuencialmente, con ciclos de recalentamiento que incluyen, por ejemplo, uno o una combinación de etapas de calentamiento a temperaturas por encima y/o por debajo del  $\beta$ -transus. Los ciclos de forjado posteriores pueden realizarse en una prensa de forjado de matriz abierta, forja rotatoria, laminador y/u otro equipo similar utilizado para deformar aleaciones metálicas a un tamaño y forma deseados a temperatura elevada. Los expertos en la materia estarán familiarizados con varias secuencias de etapas de forjado y ciclos de temperatura para obtener el tamaño, forma y estructura de grano interna deseadas de la aleación. Por ejemplo, uno de tales métodos de procesamiento se proporciona en la Patente de EE. 50 UU. n.º 7.611.592.

65 El método de preparación de una aleación de titanio según la presente divulgación comprende el forjado final en el campo de fase  $\alpha$ - $\beta$  o  $\beta$  y, posteriormente, el tratamiento térmico por recocido, tratamiento en solución y recocido, tratamiento en solución y envejecimiento (STA), envejecimiento directo, o una combinación de ciclos térmicos para obtener el equilibrio deseado de propiedades mecánicas. En ciertas realizaciones no limitantes posibles, las aleaciones

de titanio según la presente divulgación exhiben una trabajabilidad mejorada a una temperatura dada, en comparación con otras aleaciones convencionales de alta resistencia. Esta característica permite que la aleación sea procesada por trabajo en caliente tanto en el campo de la fase  $\alpha$ - $\beta$  como en el  $\beta$  con menos agrietamiento u otros efectos perjudiciales, mejorando así el rendimiento y reduciendo los costes del producto.

5 Como se utiliza en el presente documento, un proceso de "tratamiento en solución y envejecimiento (STA)" se refiere a un proceso de tratamiento térmico aplicado a aleaciones de titanio que incluye el tratamiento en solución de una aleación de titanio a una temperatura de tratamiento en solución por debajo de la temperatura de la  $\beta$ -transus de la aleación de titanio. La temperatura de tratamiento de la solución está en un intervalo de temperatura de  
10 aproximadamente 760 °C a 840 °C.

La aleación de titanio se enfría hasta la temperatura ambiente a una velocidad que depende del espesor de la sección transversal de la aleación de titanio.

15 La aleación tratada en solución se envejece posteriormente calentando la aleación durante un periodo de tiempo a una temperatura de envejecimiento, también denominada en el presente documento "temperatura de endurecimiento por envejecimiento", que está en el campo bifásico  $\alpha$ + $\beta$ , por debajo de la temperatura  $\beta$  transus de la aleación de titanio y por debajo de la temperatura de tratamiento de la solución de la aleación de titanio. Como se utiliza en el presente documento, las expresiones tales como "calentado hasta" o "calentamiento hasta", etc., con referencia a una  
20 temperatura, un intervalo de temperatura o una temperatura mínima, significa que la aleación se calienta hasta que al menos la parte deseada de la aleación tenga una temperatura al menos igual a la temperatura de referencia o mínima, o dentro del intervalo de temperatura de referencia en toda la parte. La temperatura de envejecimiento está en un intervalo de temperatura de aproximadamente 482 °C a aproximadamente 593 °C. El tiempo de envejecimiento puede variar entre 8 y 16 horas. Se reconoce que en ciertas realizaciones no limitantes, el tiempo de envejecimiento puede  
25 ser inferior a 30 minutos o superior a 16 horas y generalmente depende del tamaño y la sección transversal de la forma del producto de aleación de titanio. Las técnicas generales utilizadas en el tratamiento en solución y envejecimiento (STA) de las aleaciones de titanio son conocidas por los profesionales con conocimientos ordinarios en la materia y, por lo tanto, no se analizan más en el presente documento.

30 La Figura 2 es un gráfico que presenta las combinaciones útiles de resistencia última a la tracción (UTS) y ductilidad exhibidas por las aleaciones antes mencionadas cuando se procesan usando el proceso STA. En la Figura 2 se ve que un límite inferior de la gráfica que incluye combinaciones útiles de UTS y ductilidad puede aproximarse mediante la línea  $x + 7,5y = 260,5$ , donde "x" es UTS en unidades de MPa (ksi) e "y" es ductilidad en % de alargamiento. Los datos incluidos en el Ejemplo 1 que se presenta a continuación demuestran que las realizaciones de aleaciones de titanio según la presente divulgación dan como resultado combinaciones de UTS y ductilidad que superan las  
35 obtenidas con ciertas aleaciones de la técnica anterior. Si bien se reconoce que las propiedades mecánicas de las aleaciones de titanio están generalmente influenciadas por el tamaño del espécimen que se está ensayando, en realizaciones no limitantes según la presente divulgación, una aleación de titanio exhibe una UTS de al menos 1172 MPa (170 ksi) y ductilidad según la siguiente Ecuación (1):

40

$$(7,5 \times \text{Alargamiento en \%}) (\text{UTS en MPa (ksi)}) \geq 260,5 \quad (1)$$

En ciertas realizaciones no limitantes de la presente aleación de titanio, la aleación de titanio muestra una UTS de al menos 1172 MPa (170 ksi) y al menos un 6 % de alargamiento a temperatura ambiente. En otras realizaciones no  
45 limitantes según la presente divulgación, una aleación de titanio comprende un valor equivalente de aluminio de 6,0 a 9,0 o, en ciertas realizaciones, dentro del intervalo de 7,0 a 8,0, un valor equivalente de molibdeno de 5,0 a 10,0, o en ciertas realizaciones dentro del intervalo de 6,0 a 7,0, y presenta una UTS de al menos 1172 MPa (170 ksi) y al menos un 6 % de alargamiento a temperatura ambiente. En otras realizaciones más no limitantes, una aleación de titanio según la presente divulgación comprende un valor equivalente de aluminio de 6,0 a 9,0 o, en ciertas realizaciones,  
50 dentro del intervalo de 7,0 a 8,0, un valor equivalente de molibdeno de 5,0 a 10,0, o en ciertas realizaciones dentro del intervalo de 6,0 a 7,0, y presenta una UTS de al menos 1241 MPa (180 ksi) y al menos un 6 % de alargamiento a temperatura ambiente.

Los ejemplos que siguen están destinados a describir adicionalmente realizaciones no limitantes según la presente divulgación, sin restringir el alcance de la presente invención. Las personas normalmente expertas en la técnica apreciarán que son posibles variaciones de los siguientes ejemplos dentro del alcance de la invención, que se define únicamente por las reivindicaciones.

#### EJEMPLO 1

60 La Tabla 1 enumera las composiciones elementales,  $Al_{eq}$  y  $Mo_{eq}$  de ciertas realizaciones no limitantes de una aleación de titanio según la presente divulgación ("Aleación de titanio experimental n.º 1" y "Aleación de titanio experimental n.º 2"), y realizaciones de ciertas aleaciones de titanio convencionales.

Tabla 1

Aleación	Al (% p)	V (% p)	Fe (% p)	Sn (% p)	Cr (% p)	Zr (% p)	Mo (% p)	O (% p)	C (% p)	N (% p)	Al-Eq	Mo-Eq
Ti 5553 (UNS sin asignar)	5	5	0,4	-	3	-	5	0,15	-	-	6,5	11,8
Ti 10-2-3 (UNS 56410)	3	10	2	-	-	-	-	0,2	-	-	5,0	9,0
Aleación de Titanio Experimental n.º 1	3,5	9	0,2	5	<0,5	3	2,5	0,25	0,006	0,004	7,7	6,6
Aleación de Titanio Experimental n.º 2	3	11	0,2	7	<0,5	2	1,5	0,2	0,006	0,004	7,3	6,4

Se produjeron numerosos calentamientos de fusión por arco de plasma (PAM) de la Aleación Experimental de titanio n.º 1 y de la Aleación Experimental de Titanio n.º 2 enumeradas en la Tabla 1 utilizando hornos de arco de plasma para producir electrodos de 22,9 cm (9 pulgadas) de diámetro, cada uno de los cuales pesaba aproximadamente 181-362 kg (400-800 lb). Los electrodos se refundieron en un horno de refundición por arco al vacío (VAR) para producir lingotes de 25,4 cm (10 pulgadas) de diámetro. Cada lingote se convirtió en un tocho de 7,6 cm (3 pulgadas) de diámetro utilizando una prensa de trabajo en caliente. Después de una etapa de forjado  $\beta$  hasta un diámetro de 17,8 cm (7 pulgadas), una etapa de forjado de predeformación  $\alpha+\beta$  hasta un diámetro de 12,7 cm (5 pulgadas), y una etapa de forjado de acabado  $\beta$  hasta un diámetro de 7,6 cm (3 pulgadas), los extremos de cada tocho se recortaron para eliminar el rechupe y las grietas de extremo, y los tochos se cortaron en múltiples piezas. Se tomaron muestras de la parte superior de cada tocho y de la parte inferior del tocho más bajo a 17,8 cm (7 pulgadas de diámetro) para determinar la química y la  $\beta$ -transus. Basándose en los resultados químicos de los tochos intermedios, se cortaron muestras de 5,1 cm (2 pulgadas) de largo de los tochos y se forjaron en "torta" en la prensa. Los especímenes en "torta" fueron tratados térmicamente utilizando el siguiente perfil de tratamiento térmico, correspondiente a una condición tratada en solución y envejecida: tratamiento en solución la aleación de titanio a una temperatura de 1400 °F (760 °C) durante 2 horas; enfriamiento al aire de la aleación de titanio a temperatura ambiente; envejecimiento de la aleación de titanio de aproximadamente 482 °C a aproximadamente 593 °C durante 8 horas; y enfriamiento en aire de la aleación de titanio.

Se cortaron blancos de ensayo para ensayos de espacio y de tracción y análisis de microestructura de las muestras de panqueques procesadas por STA. Se realizó un análisis químico final en la probeta de tenacidad a la fractura después del ensayo para garantizar una correlación precisa entre la química y las propiedades mecánicas. El examen del tocho final de 7,6 cm (3 pulgadas) de diámetro reveló una superficie consistente para centrar finos listones alfa en una microestructura de matriz beta a través del tocho.

Con referencia a la Figura 2, se midieron y compararon las propiedades mecánicas de la aleación de titanio experimental n.º 1 enumeradas en la Tabla 1 (indicada como "B5N71" en la Figura 2) y la aleación de titanio experimental n.º 2 enumeradas en la Tabla 1 (indicada como "B5N72" en la Figura 2) y comparadas con las de la Aleación Ti 5553 (UNS sin asignar) y aleación Ti 10-2-3 (con una composición especificada en UNS 56410). Los ensayos de tracción se llevaron a cabo según la norma E8/E8M-09 de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) ("Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials", ASTM International, 2009). Como se muestra en los resultados experimentales de la Tabla 2, La aleación de titanio experimental n.º 1 y la aleación de titanio experimental n.º 2 exhibieron combinaciones significativamente mayores de resistencia máxima a la tracción, resistencia a la fluencia y ductilidad (mostrada como % de alargamiento) en relación con las aleaciones de titanio convencionales Ti 5553 y Ti 10-2-3 (que no incluían una adición intencionada de estaño y circonio).

Tabla 2

Aleación	Temperatura de envejecimiento (°C)	UTS MPa (ksi)	0,2 % YS MPa (ksi)	% de alargamiento
<b>Ti 5553</b>	565	1241 (180)	1172 (170)	4
<b>Ti 10-2-3</b>	500	1255 (182)	1186 (172)	6
<b>Aleación de Titanio Experimental n.º 1</b>	565	1282 (186)	1241 (180)	13
	482	1434 (208)	1344 (195)	7
<b>Aleación de Titanio Experimental n.º 2</b>	593	1227 (178)	1151 (167)	11
	482	1558 (226)	1482 (215)	6

Los usos potenciales de las aleaciones según la presente divulgación son numerosos. Como se ha descrito y se ha demostrado anteriormente, las aleaciones de titanio descritas en el presente documento se usan ventajosamente en varias aplicaciones en las que es importante una combinación de alta resistencia y ductilidad. Los artículos de fabricación para los que las aleaciones de titanio según la presente divulgación serían particularmente ventajosas incluyen ciertas aplicaciones aeroespaciales y aeronáuticas que incluyen, por ejemplo, miembros del tren de aterrizaje, bastidores del motor y otras piezas estructurales críticas. Aquellos que tengan una habilidad ordinaria en la materia serán capaces de fabricar los equipos, piezas y otros artículos de fabricación a partir de aleaciones según la presente divulgación sin necesidad de proporcionar una descripción adicional en el presente documento. Los ejemplos anteriores de posibles aplicaciones para aleaciones según la presente divulgación se ofrecen a modo de ejemplo únicamente, y no son exhaustivos de todas las aplicaciones a las cuales se pueden aplicar las presente formas de productos de aleación. Los expertos en la materia, tras la lectura de la presente divulgación, pueden identificar fácilmente las aplicaciones adicionales para la aleaciones como se describe en el presente documento.

Varios aspectos no exhaustivos y no limitantes de las aleaciones novedosas de acuerdo con la presente divulgación pueden ser útiles solos o en combinación con uno o más aspectos descritos en el presente documento. Sin limitar la descripción anterior, en un primer aspecto no limitante de la presente divulgación, una aleación de titanio comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación: de 2,0 a 5,0 de aluminio; de 3,0 a 8,0 de estaño; de 1,0 a 5,0 de circonio; y un total combinado de hasta 16,0 de 6 a 12 de uno o más elementos seleccionados del grupo

que consiste en vanadio y niobio y hasta un total de 10,0 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en oxígeno, molibdeno, cromo, hierro, cobre, nitrógeno y carbono; el resto titanio e impurezas.

5 De acuerdo con un segundo aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación, de 0,1 a 5,0 de molibdeno.

10 De acuerdo con un tercer aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio tiene un valor equivalente de aluminio de 6,0 a 9,0.

15 De acuerdo con un cuarto aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio tiene un valor equivalente de molibdeno de 5,0 a 10,0.

De acuerdo con un quinto aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio tiene un valor equivalente de aluminio de 6,0 a 9,0 y un valor equivalente de molibdeno de 5,0 a 10,0.

20 De acuerdo con un sexto aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación: de 6,0 a 12,0, o en algunas realizaciones de 6,0 a 10,0, de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio; de 0,1 a 5,0 de molibdeno; de 0,01 a 0,40 de hierro; de 0,005 a 0,3 de oxígeno; de 0,001 a 0,07 de carbono; y de 0,001 a 0,03 de nitrógeno.

25 De acuerdo con un séptimo aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, una suma del contenido de aluminio, estaño y circonio es, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación, de 8 a 15.

30 De acuerdo con un octavo aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, una relación del valor equivalente de aluminio al valor equivalente de molibdeno es de 0,6 a 1,3.

35 De acuerdo con un noveno aspecto de la presente divulgación, un método de preparación de una aleación de titanio comprende: tratamiento en solución de una aleación de titanio de 760 °C a 840 °C durante 1 a 4 horas; enfriamiento al aire de la aleación de titanio a temperatura ambiente; envejecimiento de la aleación de titanio de 482 °C a 593 °C durante 8 a 16 horas; y enfriamiento en aire de la aleación de titanio, en donde la aleación de titanio tiene la composición indicada en cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente.

40 De acuerdo con un décimo aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio exhibe una resistencia máxima a la tracción (UTS) de al menos 1172 MPa (170 ksi) a temperatura ambiente, y en donde la resistencia máxima a la tracción y el alargamiento de la aleación de titanio satisfacen la ecuación:  $(7,5 \times \text{Alargamiento en } \%) + \text{UTS} \geq 260,5$ .

45 De acuerdo con un undécimo aspecto no limitante de la presente divulgación, la presente divulgación también proporciona una aleación de titanio que comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación: de 8,6 a 11,4 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio; de 4,6 a 7,4 de estaño; de 2,0 a 3,9 de aluminio; de 1,0 a 3,0 de molibdeno; de 1,6 a 3,4 de circonio; de 0 a 0,5 de cromo; de 0 a 0,4 de hierro; de 0 a 0,25 de oxígeno; de 0 a 0,05 de nitrógeno; de 0 a 0,05 de carbono; el resto titanio e impurezas.

50 De acuerdo con un duodécimo aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación, de 8,6 a 9,4 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio.

55 De acuerdo con un decimotercer aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación, de 10,6 a 11,4 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio.

60 De acuerdo con un decimocuarto aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio comprende además, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación, de 2,0 a 3,0 de molibdeno.

65 De acuerdo con un decimoquinto aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación

con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación, de 1,0 a 2,0 de molibdeno.

5 De acuerdo con un decimosexto aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio tiene un valor equivalente de aluminio de 7,0 a 8,0.

10 De acuerdo con un decimoséptimo aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio tiene un valor equivalente de molibdeno de 6,0 a 7,0.

15 De acuerdo con un decimooctavo aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio tiene un valor equivalente de aluminio de 7,0 a 8,0 y un valor equivalente de molibdeno de 6,0 a 7,0.

20 De acuerdo con un decimonoveno aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación: de 8,6 a 9,4 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio; de 4,6 a 5,4 de estaño; de 3,0 a 3,9 de aluminio; de 2,0 a 3,0 de molibdeno; y 2,6 a 3,4 de circonio.

25 De acuerdo con un vigésimo aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación: de 10,6 a 11,4 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio; de 6,6 a 7,4 de estaño; de 2,0 a 3,4 de aluminio; de 1,0 a 2,0 de molibdeno; y de 1,6 a 2,4 circonio.

30 De acuerdo con un vigésimo primer aspecto de la presente divulgación, un método de preparación de una aleación de titanio comprende: tratamiento en solución de una aleación de titanio de 760 °C a 840 °C durante 2 a 4 horas; enfriamiento al aire de la aleación de titanio a temperatura ambiente; envejecimiento de la aleación de titanio de 482 °C a 593 °C durante 8 a 16 horas; y enfriamiento en aire de la aleación de titanio, en donde la aleación de titanio tiene la composición indicada en cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente.

35 De acuerdo con un vigésimo segundo aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio exhibe una resistencia máxima a la tracción (UTS) de al menos 1172 MPa (170 ksi) a temperatura ambiente, y en donde la resistencia máxima a la tracción y el alargamiento de la aleación de titanio satisfacen la ecuación:  $(7,5 \times \text{Alargamiento en } \%) + \text{UTS} \geq 260,5$ .

40 De acuerdo con un vigésimo segundo aspecto de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, una suma de los contenidos de vanadio y niobio en la aleación es, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación, de 6,0 a 12 o de 6,0 a 10,0.

45 De acuerdo con un vigésimo quinto aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, un contenido de molibdeno en la aleación es, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación, 0,1 a 5,0.

50 De acuerdo con un vigésimo sexto aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, un valor equivalente de aluminio de la aleación de titanio es de 6,0 a 9,0.

55 De acuerdo con un vigésimo séptimo aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, un valor equivalente de molibdeno de la aleación de titanio es de 5,0 a 10,0.

De acuerdo con un vigésimo octavo aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, un valor equivalente de aluminio de la aleación de titanio es de 6,0 a 9,0 y un valor equivalente de molibdeno de la aleación de titanio es de 5,0 a 10,0.

60 De acuerdo con un vigésimo noveno aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, en la aleación de titanio: una suma de contenidos de vanadio y niobio es de 6,0 a 12,0, o de 6,0 a 10,0; un contenido de molibdeno es de 0,1 a 5,0; un contenido de hierro es de 0,01 a 0,30; un contenido de oxígeno es de 0,005 a 0,3; un contenido de carbono es de 0,001 a 0,07; y un contenido de nitrógeno es de 0,001 a 0,03, siendo todos ellos porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación de titanio.

65

De acuerdo con un trigésimo aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, una suma del contenido de aluminio, estaño y circonio es, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación, de 8 a 15.

- 5 De acuerdo con un trigésimo primer aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, una relación del valor equivalente de aluminio al valor equivalente de molibdeno de la aleación de titanio es de 0,6 a 1,3.

- 10 De acuerdo con un trigésimo segundo aspecto de la presente divulgación, un método de preparación de una aleación de titanio comprende: tratamiento en solución de una aleación de titanio de 760 °C a 840 °C durante 2 a 4 horas; enfriamiento al aire de la aleación de titanio a temperatura ambiente; envejecimiento de la aleación de titanio de 482 °C a 593 °C durante 8 a 16 horas; y enfriamiento en aire de la aleación de titanio, en donde la aleación de titanio tiene la composición indicada en cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente.

- 15 De acuerdo con un trigésimo tercer aspecto no limitante de la presente divulgación, que puede utilizarse en combinación con cada uno o cualquiera de los aspectos mencionados anteriormente, la aleación de titanio exhibe una resistencia máxima a la tracción (UTS) de al menos 1172 MPa (170 ksi) a temperatura ambiente, y en donde la resistencia máxima a la tracción y el alargamiento de la aleación de titanio satisfacen la ecuación:  $(7,5 \times \text{Alargamiento en } \%) + \text{UTS} \geq 260,5$ .

- 20 Debe entenderse que la presente descripción ilustra aquellos aspectos de la invención relevantes para una comprensión clara de la invención. Determinados aspectos de la invención que resultarían evidentes para aquellas personas normalmente expertas en la materia y que, por lo tanto, no facilitarían una mejor comprensión de la invención, no se han presentado con el fin de simplificar la presente descripción. Aunque solo un número limitado de realizaciones de la presente invención se describe necesariamente en el presente documento, una persona normalmente experta en la materia, tras considerar la descripción anterior, reconocerá que pueden emplearse muchas modificaciones y variaciones de la invención. Todas las variaciones y modificaciones de la invención pretenden estar cubiertas por la descripción anterior y las siguientes reivindicaciones.
- 25

## REIVINDICACIONES

1. Una aleación de titanio que consiste en, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación:
- 5 de 2,0 a 5,0 de aluminio;  
de 3,0 a 8,0 de estaño;  
de 1,0 a 5,0 de circonio;  
y un total combinado de hasta 16,0 de:
- 10 de 6,0 a 12,0 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio; y  
de 0 a un total de 10,0 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en oxígeno, molibdeno,  
cromo, hierro, cobre, nitrógeno y carbono;
- 15 el resto titanio e impurezas.
2. La aleación de titanio de la reivindicación 1 que comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación:
- 20 de 0,1 a 5,0 de molibdeno.
3. La aleación de titanio de la reivindicación 1, en donde la aleación de titanio comprende un valor equivalente de aluminio de 6,0 a 9,0, en donde el equivalente de aluminio,  $Al_{eq} = Al_{(\% p)} + [(1/6) \times Zr_{(\% p)}] + [(1/3) \times Sn_{(\% p)}] + [10 \times O_{(\% p)}]$ .
- 25 4. La aleación de titanio de la reivindicación 1, en donde la aleación de titanio comprende un valor equivalente de molibdeno de 5,0 a 10,0, en donde el equivalente de molibdeno,  
 $Mo_{eq} = Mo_{(\% p)} + [(1/5) \times Ta_{(\% p)}] + [(1/3,6) \times Nb_{(\% p)}] + [(1/2,5) \times W_{(\% p)}] + [(1/1,5) \times V_{(\% p)}] + [1,25 \times Cr_{(\% p)}] + [1,25 \times Ni_{(\% p)}] + [1,7 \times Mn_{(\% p)}] + [1,7 \times Co_{(\% p)}] + [2,5 \times Fe_{(\% p)}]$ .
- 30 5. La aleación de titanio de la reivindicación 1, en donde la aleación de titanio comprende un valor equivalente de aluminio de 6,0 a 9,0 y un valor equivalente de molibdeno de 5,0 a 10,0, en donde el equivalente de aluminio,  $Al_{eq} = Al_{(\% p)} + [(1/6) \times Zr_{(\% p)}] + [(1/3) \times Sn_{(\% p)}] + [10 \times O_{(\% p)}]$  y el equivalente de molibdeno,  $MO_{eq} = Mo_{(\% p)} + [(1/5) \times Ta_{(\% p)}] + [(1/3,6) \times Nb_{(\% p)}] + [(1/2,5) \times W_{(\% p)}] + [(1/1,5) \times V_{(\% p)}] + [1,25 \times Cr_{(\% p)}] + [1,25 \times Ni_{(\% p)}] + [1,7 \times Mn_{(\% p)}] + [1,7 \times Co_{(\% p)}] + [2,5 \times Fe_{(\% p)}]$ .
- 35 6. La aleación de titanio de la reivindicación 5, en donde la aleación de titanio comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación:
- 40 de 6,0 a 12,0 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio;  
de 0,1 a 5,0 de molibdeno;  
de 0,01 a 0,40 de hierro;  
de 0,005 a 0,3 de oxígeno;  
de 0,001 a 0,07 de carbono; y  
de 0,001 a 0,03 de nitrógeno.
- 45 7. La aleación de titanio de la reivindicación 6, en donde una suma de los contenidos de aluminio, estaño y circonio es, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación, de 8 a 15.
- 50 8. La aleación de titanio de la reivindicación 6, en donde la relación del valor equivalente de aluminio al valor equivalente de molibdeno es de 0,6 a 1,3.
9. Un método de preparación de una aleación de titanio, comprendiendo el método:
- tratamiento en solución de una aleación de titanio de 760 °C a 840 °C durante 1 a 4 horas;  
enfriamiento al aire de la aleación de titanio a temperatura ambiente;  
55 envejecimiento de la aleación de titanio de 482 °C a 593 °C durante 8 a 16 horas; y  
enfriamiento al aire de la aleación de titanio,  
en donde la aleación de titanio tiene la composición mencionada en la reivindicación 1.
- 60 10. La aleación de titanio de la reivindicación 1 que comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación:
- 65 de 8,6 a 11,4 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio;  
de 4,6 a 7,4 de estaño;  
de 2,0 a 3,9 de aluminio;  
de 1,0 a 3,0 de molibdeno;  
de 1,6 a 3,4 de circonio;

- de 0 a 0,5 de cromo;  
de 0 a 0,4 de hierro;  
de 0 a 0,25 de oxígeno;  
de 0 a 0,05 de nitrógeno;  
de 0 a 0,05 de carbono.
- 5
11. La aleación de titanio de la reivindicación 10 que comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación:
- 10 de 8,6 a 9,4 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio.
12. La aleación de titanio de la reivindicación 10 que comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación:
- 15 de 10,6 a 11,4 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio.
13. La aleación de titanio de la reivindicación 10 que comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación:
- 20 de 2,0 a 3,0 de molibdeno.
14. La aleación de titanio de la reivindicación 10 que comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación:
- 25 de 1,0 a 2,0 de molibdeno.
15. La aleación de titanio de la reivindicación 10, en donde la aleación de titanio comprende un valor equivalente de aluminio de 7,0 a 8,0, en donde el equivalente de aluminio,  $Al_{eq} = Al_{(\% p)} + [(1/6) \times Zr_{(\% p)}] + [(1/3) \times Sn_{(\% p)}] + [10 \times O_{(\% p)}]$ .
- 30 16. La aleación de titanio de la reivindicación 10, en donde la aleación de titanio comprende un valor equivalente de molibdeno de 6,0 a 7,0, en donde el equivalente de molibdeno,  
 $Mo_{eq} = Mo_{(\% p)} + [(1/5) \times Ta_{(\% p)}] + [(1/3,6) \times Nb_{(\% p)}] + [(1/2,5) \times W_{(\% p)}] + [(1/1,5) \times V_{(\% p)}] + [1,25 \times Cr_{(\% p)}] + [1,25 \times Ni_{(\% p)}] + [1,7 \times Mn_{(\% p)}] + [1,7 \times Co_{(\% p)}] + [2,5 \times Fe_{(\% p)}]$ .
- 35 17. La aleación de titanio de la reivindicación 10, en donde la aleación de titanio comprende un valor equivalente de aluminio de 7,0 a 8,0 y un valor equivalente de molibdeno de 6,0 a 7,0, en donde el equivalente de aluminio,  $Al_{eq} = Al_{(\% p)} + [(1/6) \times Zr_{(\% p)}] + [(1/3) \times Sn_{(\% p)}] + [10 \times O_{(\% p)}]$  y el equivalente de molibdeno,  $MO_{eq} = Mo_{(\% p)} + [(1/5) \times Ta_{(\% p)}] + [(1/3,6) \times Nb_{(\% p)}] + [(1/2,5) \times W_{(\% p)}] + [(1/1,5) \times V_{(\% p)}] + [1,25 \times Cr_{(\% p)}] + [1,25 \times Ni_{(\% p)}] + [1,7 \times Mn_{(\% p)}] + [1,7 \times Co_{(\% p)}] + [2,5 \times Fe_{(\% p)}]$ .
- 40
18. La aleación de titanio de la reivindicación 17, en donde la aleación de titanio comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación:
- 45 de 8,6 a 9,4 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio;  
de 4,6 a 5,4 de estaño;  
de 3,0 a 3,9 de aluminio;  
de 2,0 a 3,0 de molibdeno; y  
de 2,6 a 3,4 de circonio.
- 50 19. La aleación de titanio de la reivindicación 17, en donde la aleación de titanio comprende, en porcentajes en peso basados en el peso total de la aleación:
- 55 de 10,6 a 11,4 de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en vanadio y niobio;  
de 6,6 a 7,4 de estaño;  
de 2,0 a 3,4 de aluminio;  
de 1,0 a 2,0 de molibdeno; y  
de 1,6 a 2,4 de circonio.
- 60 20. Un método de preparación de una aleación de titanio, comprendiendo el método:
- 65 tratamiento en solución de una aleación de titanio de 760 °C a 840 °C durante 2 a 4 horas;  
enfriamiento al aire de la aleación de titanio a temperatura ambiente;  
envejecimiento de la aleación de titanio de 482 °C a 593 °C durante 8 a 16 horas; y  
enfriamiento al aire de la aleación de titanio,  
en donde la aleación de titanio tiene la composición mencionada en la reivindicación 10.

FIG. 1

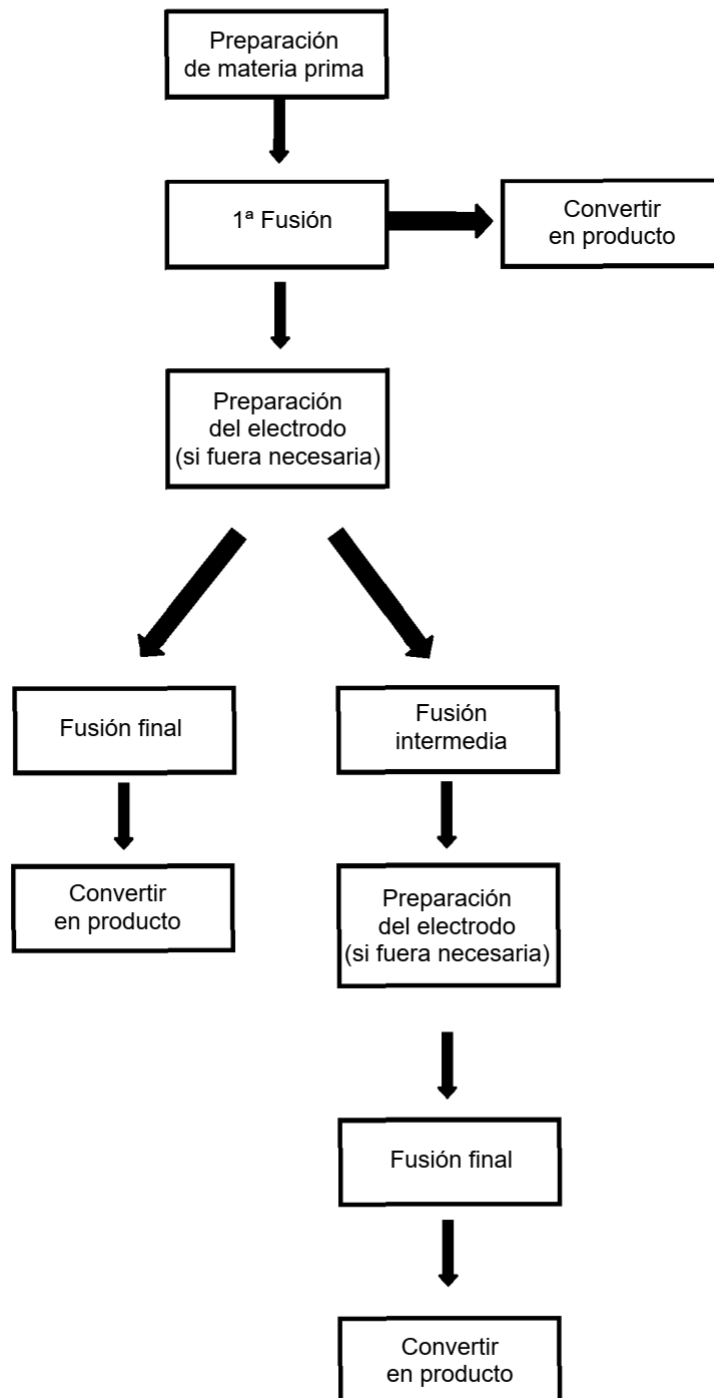


FIG. 2

