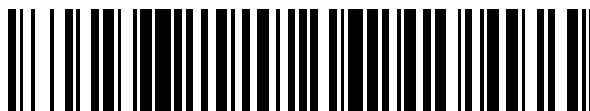


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 426 313**

51 Int. Cl.:

C22C 14/00 (2006.01)

B64C 25/10 (2006.01)

C22C 1/02 (2006.01)

C22F 1/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.05.2010** **E 10720877 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2013** **EP 2435591**

54 Título: **Aleación de titanio casi-beta para aplicaciones de alta resistencia y métodos para la fabricación de las mismas**

30 Prioridad:

29.05.2009 US 182619 P

06.07.2009 GB 0911684

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

22.10.2013

73 Titular/es:

TITANIUM METALS CORPORATION (100.0%)
224 Valley Creek Boulevard, Suite 200
Exton, PA 19341, US

72 Inventor/es:

FANNING, JOHN

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 426 313 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 casi-beta para aplicaciones de alta resistencia y métodos para la fabricación de las mismas

5 Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

La presente solicitud reivindica prioridad sobre el documento de Solicitud de Patente Provisional de Estados Unidos N° 61/182.619 que se presentó el 29 de mayo del 2009 y el documento de Solicitud de Patente de Reino Unido N° 0911684.9 que se presentó el 6 de julio de 2009, que se exponen con todo detalle en la presente memoria

Antecedentes de la invención

I. Campo técnico

La presente divulgación se refiere en líneas generales a una aleación de titanio de alta resistencia y a técnicas para la fabricación de la misma. La aleación se usa ventajosamente para aplicaciones donde alta resistencia, profunda templabilidad, y excelente ductilidad son una combinación de propiedades requeridas.

II. Antecedentes de la técnica relacionada

Convencionalmente, se han usado diversas aleaciones de titanio y acero para la producción de componentes de aviación. El uso de aleaciones de titanio es favorable dado que resulta en componentes más ligeros que los fabricados a partir de las aleaciones de acero.

Un ejemplo de tal aleación de titanio se divulga en el documento de Patente de Estados Unidos N° 7.332.043 (la "patente '043") de Tetyukhin, et al. que describe el uso de una aleación Ti-555-3 compuesta de un 5 % de aluminio, un 5 % de molibdeno, un 5 % de vanadio, un 3 % de cromo, y un 0,4 % de hierro en aplicaciones de ingeniería aeronáutica. Sin embargo, la aleación Ti-555-3 no proporciona sistemáticamente la alta resistencia, profunda templabilidad, y excelente ductilidad deseadas que se requieren para aplicaciones críticas en la industria de la aviación (por ejemplo, tren de aterrizaje). Además, la patente 043 fracasa al divulgar el uso de oxígeno en su aleación Ti-555-3, un importante elemento en la composición de las aleaciones de titanio. El porcentaje de oxígeno se ajusta a menudo deliberadamente para que tenga un impacto considerable en las características de resistencia.

Otro ejemplo se proporciona en el documento de Publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos N° 2008/0011395 (en lo sucesivo en el presente documento la "solicitud '395") que describe una aleación de titanio que incluye aluminio, molibdeno, vanadio, cromo, y hierro. Sin embargo, los intervalos de los porcentajes en peso de los elementos de la aleación que se proporcionan en la publicación son demasiado amplios. Por ejemplo, las aleaciones Ti-5Al-4,5V-2Mo-1Cr-0,6Fe (VT23) y Ti-5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe (VT22) caen fácilmente dentro de los intervalos de porcentaje en peso especificados. Estas aleaciones han sido de dominio público desde antes de 1976. Además, los intervalos de los porcentajes en peso que se proporcionan en la solicitud '395 resultan en malas combinaciones de resistencia-ductilidad. Por lo tanto, la referencia no consigue la alta resistencia, profunda templabilidad, y excelente ductilidad deseadas que se requieren para aplicaciones críticas en la industria de la aviación tales como un tren de aterrizaje. El documento RU 2122040 C1 se refiere a una aleación con base de titanio. Se pueden encontrar antecedentes de la técnica anterior adicionales en A. Fitzgerald: "Proceedings of the 1997 International Conference on Titanium Products and Applications" 1 de septiembre de 1998, International Titanium Association, USA, ISBN: 0935297243, páginas 37-41.

Existe por lo tanto la necesidad de una aleación con características de resistencia mejorada, profunda templabilidad, y excelente ductilidad que satisfagan las necesidades para aplicaciones críticas en la industria de la aviación. Las propiedades cruciales de tal producto son una alta resistencia a la tracción (por ejemplo, límite de elasticidad a la tracción ("TYS") y carga de rotura por tracción ("UTS")), módulo de elasticidad, alargamiento, y reducción de área ("RA"). Además, existe la necesidad de técnicas avanzadas para la fabricación y el procesamiento de tal aleación que mejoren adicionalmente su rendimiento.

Sumario de la invención

De acuerdo con los problemas, necesidades, y objetivos que se han descrito anteriormente, se divulga una aleación de titanio casi-beta de alta resistencia. La aleación de titanio comprende, en % en peso, de un 5,3 a un 5,7 % de aluminio, de un 4,8 a un 5,2 % de vanadio, de un 0,7 a un 0,9 % de hierro, de un 4,6 a un 5,3 % de molibdeno, de un 2,0 a un 2,5 % de cromo, y de un 0,12 a un 0,16 % de oxígeno, y opcionalmente uno o más elementos adicionales seleccionados entre N, C, Nb, Sn, Zr, Ni, Co, Cu y Si, donde cada elemento adicional está presente en una cantidad de menos de un 0,1 % y el contenido total de elementos adicionales es menos de un 0,5 % en peso, y se equilibra con titanio junto con cualquier impureza inevitable.

En otra realización, la aleación de titanio tiene una proporción de estabilizadores beta isomorfos (β_{iso}) con respecto a beta eutectoides (β_{eut}) de 1,2 a 1,73, o más específicamente de 1,22 a 1,73, donde la proporción de estabilizadores beta isomorfos con respecto a beta eutectoides se define como:

$$\beta_{iso} / \beta_{eut} = [\text{Mo} + \text{V}/1,5] / [\text{Cr}/0,65 + \text{Fe}/0,35]$$

En las ecuaciones que se proporcionan en la presente memoria descriptiva, Mo, V, Cr, y Fe representan el porcentaje en peso de molibdeno, vanadio, cromo, y hierro, respectivamente, en la aleación de titanio. En una realización, el valor de beta isomorfos varía de 7,80 a 8,77 y, en una realización particular, es de aproximadamente 8,33. En otra realización, el valor de beta eutectoides varía de 5,08 a 6,42 y, en una realización particular, es de aproximadamente 5,82. En una realización particular, la proporción de estabilizadores beta isomorfos con respecto a beta eutectoides es de 1,4, o más específicamente de 1,43.

En aún otra realización, la aleación de titanio tiene una equivalencia de molibdeno (Mo_{eq}) de 12,8 a 15,2, donde la equivalencia de molibdeno se define como:

$$\text{Mo}_{eq} = \text{Mo} + \text{V}/1,5 + \text{Cr}/0,65 + \text{Fe}/0,35$$

En una realización particular, la equivalencia de molibdeno es de aproximadamente 14,2. En todavía otra realización, la aleación de titanio tiene una equivalencia de aluminio (Al_{eq}) de 8,5 a 10,0, donde la equivalencia de aluminio se define como:

$$\text{Al}_{eq} = \text{Al} + 27\text{O}$$

En esta ecuación Al y O representan el porcentaje en peso de aluminio y oxígeno, respectivamente, en la aleación de titanio. En una realización particular, la equivalencia de aluminio es de aproximadamente 9,3. En otra realización, la aleación de titanio tiene una temperatura de transformación beta (T_β) de aproximadamente 1557 a aproximadamente 1627 °F (de aproximadamente 847 a aproximadamente 886 °C), donde la temperatura de transformación beta en °F se define como:

$$T_\beta = 1594 + 39,3\text{Al} + 330\text{O} + 1145\text{C} + 1020\text{N} - 21,8\text{V} - 32,5\text{Fe} - 17,3\text{Mo} - 70\text{Si} - 27,3\text{Cr}$$

En esta ecuación, C, N, y Si representan el % en peso de carbono, nitrógeno, y silicio, respectivamente, en la aleación de titanio. En una realización particular, la temperatura de transición beta es de aproximadamente 1590 °F (aproximadamente 865 °C). En una realización particular, el % en peso de aluminio es un 5,5 %, el % en peso de vanadio es un 5,0 %, el % en peso de hierro es un 0,8 %, el % en peso de molibdeno es un 5,0 %, el % en peso de cromo es un 2,3 %, y/o el % en peso de oxígeno es un 0,14 %.

De acuerdo con una realización, la aleación puede conseguir unas excelentes propiedades de tracción. Como ejemplo, la aleación es capaz de conseguir un límite de elasticidad a la tracción (TYS) de al menos 1172 MPa (170 kilolibras por pulgada cuadrada (ksi)), una carga de rotura por tracción (UTS) de al menos 1241 MPa (180 ksi), un módulo de elasticidad de al menos 110 GPa (16,0 megalibras por pulgada cuadrada (Msi)), un alargamiento de al menos un 10 %, y/o una reducción de área (RA) de al menos un 25 %.

De acuerdo con aún otra realización la aleación puede conseguir una excelente resistencia a la fatiga. Por ejemplo, la aleación es capaz de conseguir una vida a fatiga de al menos 200.000 ciclos cuando un ejemplar de fatiga axial suave se ensaya de acuerdo con la norma ASTM E606 con una tensión alternante entre + 0,6 % y - 0,6 %.

La composición de aleación, que usa un nivel de hierro de un 0,7 a un 0,9 % en peso, consigue las propiedades deseadas de alta resistencia, profunda templabilidad, y excelente ductilidad que se requieren para aplicaciones de componentes de aviación críticos tales como un tren de aterrizaje. Este resultado es particularmente inesperado a la vista de las enseñanzas de la técnica anterior, donde se ofrecen las ventajas del uso de cantidades de hierro inferiores. Por ejemplo, la patente '043 divulga que es necesario el uso de hierro en concentraciones por debajo de un 0,5 % en peso para conseguir un mayor nivel de resistencia en piezas de gran tamaño.

De acuerdo con otra realización de la invención, se proporciona un componente de sistema de aviación que incluye la aleación de titanio casi-beta de alta resistencia que se describe en el presente documento. En una realización particular, el componente de sistema de aviación comprende un tren de aterrizaje.

De acuerdo con otra realización de la invención, se proporciona un método para la fabricación de una aleación de titanio para su uso en aplicaciones que requieren alta resistencia, profunda templabilidad, y excelente ductilidad. El método incluye proporcionar inicialmente una aleación de titanio casi-beta de alta resistencia que comprende, en % en peso, de un 5,3 a un 5,7 % de aluminio, de un 4,8 a un 5,2 % de vanadio, de un 0,7 a un 0,9 % de hierro, de un 4,6 a un 5,3 % de molibdeno, de un 2,0 a un 2,5 % de cromo, y de un 0,12 a un 0,16 % de oxígeno equilibrándose con titanio e impurezas accidentales, realizar un tratamiento térmico en solución de la aleación de titanio a temperaturas por debajo de la temperatura de transformación beta (por ejemplo, una temperatura sub-transus), y

realizar un templeado por precipitación de la aleación de titanio.

En algunas realizaciones, el método de fabricación también incluye una segunda fusión de la aleación en un arco de vacío y/o forja y laminado de la aleación de titanio por debajo de la temperatura de transformación beta. En una realización particular, el método que se divulga para la fabricación de una aleación de alta resistencia, profunda templabilidad, y excelente ductilidad se usa para fabricar un componente de sistema aviación, e incluso más específicamente para fabricar un tren de aterrizaje.

Las figuras anexas, que se incorporan en y constituyen parte de la presente divulgación, ilustran realizaciones específicas de la materia objeto divulgada y sirven para explicar los principios de la materia objeto divulgada.

Breve descripción de las figuras

La Figura 1 es un diagrama de flujo que ilustra un método de acuerdo con una realización ejemplar de la invención actualmente divulgada.

La Figura 2 es una fotomicrografía de una aleación de titanio ejemplar fabricada de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 3 es un gráfico que compara la carga de rotura por tracción y el alargamiento para aleaciones de titanio ejemplares fabricadas de acuerdo con realizaciones de la presente invención con los valores de las aleaciones de titanio convencionales.

La Figura 4 es otro gráfico que compara la carga de rotura por tracción y el alargamiento para aleaciones de titanio ejemplares fabricadas de acuerdo con realizaciones de la presente invención con los valores obtenidos para aleaciones de titanio convencionales.

En las figuras, se usan los mismos números y símbolos de referencia, a menos que se indique otra cosa, para indicar características, elementos, componentes o partes de las realizaciones ilustradas. Además, mientras que la materia objeto divulgada se describirá a continuación en detalle con referencia a las Figuras, también se hace en relación con las realizaciones ilustrativas.

Descripción detallada de la invención

Se divulga una aleación de titanio de alta resistencia con profunda templabilidad y excelente ductilidad. Tal aleación es ideal para su uso en la industria de la aviación o en otras aplicaciones adecuadas donde se requieran alta resistencia, profunda templabilidad, y excelente ductilidad.

También se divulgan las técnicas para la fabricación de la aleación de titanio que se ha mencionado anteriormente que son adecuadas para su uso en la producción de componentes de aviación o cualquier otra aplicación adecuada. La aleación de titanio de acuerdo con las diversas realizaciones que se divulgan en el presente documento es particularmente adecuada para la fabricación de un tren de aterrizaje, pero se contemplan otras aplicaciones adecuadas tales como sujetadores y otros componentes de aviación.

La aleación ejemplar comprende, en % en peso, de un 5,3 a un 5,7 % de aluminio, de un 4,8 a un 5,2 % de vanadio, de un 0,7 a un 0,9 % de hierro, de un 4,6 a un 5,3 % de molibdeno, de un 2,0 a un 2,5 % de cromo, y de un 0,12 a un 0,16 % de oxígeno equilibrándose con titanio e impurezas accidentales.

El aluminio como elemento de aleación en titanio es un estabilizador alfa, que aumenta la temperatura a la cual la fase alfa es estable. El aluminio está presente en la aleación en un porcentaje en peso de un 5,3 a un 5,7 %. En una realización particular, el aluminio está presente en un 5,5 % en peso. Si el contenido de aluminio excede los límites superiores que se divulgan en la presente memoria descriptiva, puede haber un exceso de estabilización alfa y un aumento de susceptibilidad a la fragilidad debido a la formación de Ti_3Al . Por otra parte, tener el aluminio por debajo de los límites que se divulgan en la presente memoria descriptiva puede afectar adversamente la cinética de la precipitación alfa durante el envejecimiento.

El vanadio como elemento de aleación en titanio es un estabilizador beta isomorfo que disminuye la temperatura de transformación beta. El vanadio está presente en la aleación en un porcentaje en peso de un 4,8 a un 5,2 %. En una realización particular, el vanadio está presente en un 5,0 % en peso. Si el contenido de vanadio excede los límites superiores que se divulgan en la presente memoria descriptiva, puede haber una excesiva estabilización beta y no se conseguirá la templabilidad óptima. Por otra parte, tener el vanadio por debajo de los límites que se divulgan en la presente memoria descriptiva puede proporcionar una estabilización beta insuficiente.

El hierro como elemento de aleación en titanio es un estabilizador beta eutectoide que disminuye la temperatura de transformación beta, y el hierro es un elemento de refuerzo en el titanio a temperatura ambiente. El hierro está presente en la aleación en un porcentaje en peso de un 0,7 a un 0,9 %. En una realización particular, el hierro está

presente en un 0,8 % en peso. Como se ha mencionado anteriormente, usar un nivel de hierro de un 0,7 a un 0,9 % en peso puede conseguir las propiedades deseadas de alta resistencia, profunda templabilidad, y excelente ductilidad que se requieren, por ejemplo, en aplicaciones críticas de componentes de aviación tales como un tren de aterrizaje. Sin embargo, si el contenido de hierro excede los límites superiores que se divulgan en la presente memoria descriptiva, puede haber una excesiva segregación de soluto durante la solidificación del lingote, que afectará adversamente a las propiedades mecánicas. Por otra parte, el uso de niveles de hierro por debajo de los límites que se divulgan en la presente memoria descriptiva puede producir una aleación que fracase al conseguir las propiedades deseadas de alta resistencia, profunda templabilidad, y excelente ductilidad. Esto se demuestra, por ejemplo, mediante las propiedades de la aleación Ti-555-3 que se describe en la patente '043 y también se demuestra mediante los ensayos realizados en los Ejemplos que se describen posteriormente.

El molibdeno como elemento de aleación en titanio es un estabilizador beta isomorfo que disminuye la temperatura de transformación beta. El molibdeno está presente en la aleación en un porcentaje en peso de un 4,6 a un 5,3 %. En una realización particular el molibdeno está presente en un 5,0 % en peso. Si el contenido de molibdeno excede los límites superiores que se divulgan en la presente memoria descriptiva, puede haber una excesiva estabilización beta y no se conseguirá la templabilidad óptima. Por otra parte, tener el molibdeno por debajo de los límites que se divulgan en la presente memoria descriptiva puede proporcionar una insuficiente estabilización beta.

El cromo es un estabilizador beta eutectoide que disminuye la temperatura de transformación beta en el titanio. El cromo está presente en la aleación en un porcentaje en peso de un 2,0 a un 2,5 %. En una realización particular el cromo está presente en un % en peso. Si el contenido de cromo excede los límites superiores que se divulgan en la presente memoria descriptiva, puede haber una reducción de la ductilidad debido a la presencia de componentes eutectoides. Por otra parte, tener el cromo por debajo de los límites que se divulgan en la presente memoria descriptiva puede resultar en una reducción de la templabilidad.

El oxígeno como elemento de aleación en titanio es un estabilizador alfa, y el oxígeno es un elemento de refuerzo eficaz en aleaciones de titanio a temperatura ambiente. El oxígeno está presente en la aleación en un porcentaje en peso de un 0,12 a un 0,16 %. En una realización particular, el oxígeno está presente en un 0,14 % en peso. Si el contenido de oxígeno es demasiado bajo, la resistencia también puede ser baja, la temperatura de transformación beta también puede ser baja, y el coste de la aleación puede aumentar debido a que el metal de desecho no será adecuado para su uso en la fusión de la aleación. Por otra parte, si el contenido es demasiado alto, pueden empeorar las propiedades de durabilidad y tolerancia al daño.

De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, la aleación de titanio también puede incluir impurezas u otros elementos tales como N, C, Nb, Sn, Zr, Ni, Co, Cu, Si, y similares para conseguir cualquier propiedad deseada de la aleación resultante. En una realización particular, estos elementos están presentes en porcentajes en peso de menos de un 0,1 % cada uno, y el contenido total de estos elementos es menos de un 0,5 % en peso.

De acuerdo con otra realización de la invención, la aleación de titanio tiene una proporción de estabilizadores beta isomorfos (β_{ISO}) con respecto a beta eutectoides (β_{EUT}) de 1,2 a 1,73, o más específicamente de 1,22 a 1,73, donde la proporción de estabilizadores beta isomorfos con respecto a beta eutectoides se define en la Ecuación (1):

$$\frac{\beta_{ISO}}{\beta_{EUT}} = \frac{Mo + \frac{V}{1.5}}{\frac{Cr}{0.65} + \frac{Fe}{0.35}} \quad (1)$$

En las ecuaciones que se proporcionan en la presente memoria descriptiva, Mo, V, Cr, y Fe representan el porcentaje en peso de molibdeno, vanadio, cromo, y hierro, respectivamente, en la aleación. En una realización, el valor de beta isomorfos varía de 7,80 a 8,77 y, en una realización particular, es de aproximadamente 8,33. En otra realización, el valor de beta eutectoides varía de 5,08 a 6,42 y, en una realización particular, es de aproximadamente 5,82. En una realización específica, la proporción de los estabilizadores beta isomorfos con respecto a beta eutectoides es de aproximadamente 1,4, o más específicamente de 1,43.

Usar aleaciones que tienen una proporción de estabilizadores beta isomorfos con respecto a beta eutectoides de 1,2 a 1,73 es crítico para conseguir las propiedades deseadas de alta resistencia, profunda templabilidad, y excelente ductilidad. Si la proporción excede los límites superiores que se divulgan en la presente memoria descriptiva, se reducirá la templabilidad. Por otra parte, tener una proporción por debajo de los límites que se divulgan en la presente memoria descriptiva hará que no se consigan las propiedades deseadas de alta resistencia, profunda templabilidad, y excelente ductilidad. Esto se demuestra, por ejemplo, mediante las propiedades de las aleaciones que se describen en la solicitud '395.

De acuerdo con otra realización de la invención, la aleación de titanio tiene una equivalencia de molibdeno (Mo_{eq}) de

12,8 a 15,2, donde la equivalencia de molibdeno se define en la Ecuación (2) como:

$$Mo_{eq} = Mo + \frac{V}{1,5} + \frac{Cr}{0,65} + \frac{Fe}{0,35} \quad (2)$$

- 5 En una realización particular, la equivalencia de molibdeno es de aproximadamente 14,2. En todavía otra realización, la aleación de titanio tiene una equivalencia de aluminio (Al_{eq}) de 8,5 a 10,0, donde la equivalencia de aluminio se define en la Ecuación (3) como:

$$Al_{eq} = Al + 27O \quad (3)$$

- 10 En esta ecuación Al y O representan el porcentaje en peso de aluminio y oxígeno, respectivamente, en la aleación de titanio. En una realización particular, la equivalencia de aluminio es de aproximadamente 9,3. En aún otra realización, la aleación de titanio tiene una temperatura de transformación beta (T_β) de aproximadamente 1557 a aproximadamente 1627 °F (de aproximadamente 847 a aproximadamente 886 °C), donde la temperatura de transformación beta en °F se define en la Ecuación (4) como:

$$T_\beta = 1594 + 39,3Al + 330O + 1145C + 1020N - 21,8V - 32,5Fe - 17,3Mo - 70Si - 27,3Cr \quad (4)$$

- 20 En esta ecuación, C, N, y Si representan el % en peso de carbono, nitrógeno, y silicio, respectivamente, en la aleación de titanio. En una realización particular, la temperatura de transición beta es de aproximadamente 1590 °F (aproximadamente 865 °C).

- 25 La aleación consigue unas excelentes propiedades de tracción que tienen, por ejemplo, un límite de elasticidad a la tracción (TYS) de al menos 1172 MPa (170 ksi), una carga de rotura por tracción (UTS) de al menos 1241 MPa (180 ksi), un módulo de elasticidad de al menos 110 GPa (16,0 Msi), un alargamiento de al menos un 10 %, y/o una reducción de área (RA) de al menos un 25 %. Los ejemplos específicos de las propiedades de tracción que se consiguen mediante las aleaciones ejemplares que se divulgan en la presente memoria descriptiva se listan en los Ejemplos que se explican posteriormente. La aleación también consigue una excelente resistencia a la fatiga, siendo capaz de conseguir, por ejemplo, una vida a fatiga de al menos 200.000 ciclos cuando un ejemplar de fatiga axial suave se ensaya de acuerdo con la norma ASTM E606 con una tensión alternante entre + 0,6 % y - 0,6 %.

- 30 De acuerdo con otra realización, se proporcionan un componente de sistema de aviación que comprende la aleación de titanio casi-beta de alta resistencia que se ha descrito anteriormente en el presente documento. En una realización particular, la aleación de titanio que se presenta en el presente documento se usa para la fabricación de un tren de aterrizaje. Sin embargo, otras aplicaciones adecuadas para la aleación de titanio incluyen, pero no se limitan a, sujetadores y otros componentes de aviación.

- 35 De acuerdo con otra realización, se proporciona un método para la fabricación de una aleación de titanio para su uso en aplicaciones de alta resistencia, profunda templabilidad, y excelente ductilidad. El método incluye proporcionar una aleación de titanio casi-beta de alta resistencia que comprende, en % en peso, de un 5,3 a un 5,7 % de aluminio, de un 4,8 a un 5,2 % de vanadio, de un 0,7 a un 0,9 % de hierro, de un 4,6 a un 5,3 % de molibdeno, de un 2,0 a un 2,5 % de cromo, y de un 0,12 a un 0,16 % de oxígeno equilibrándose con titanio e impurezas accidentales, realizar un tratamiento térmico en solución de la aleación de titanio a una temperatura sub-transus (por ejemplo, por debajo de la temperatura de transformación beta), y realizar un templeado por precipitación de la aleación de titanio. La aleación de titanio usada puede tener cualquiera de las propiedades que se han descrito anteriormente en el presente documento.

- 40 En algunas realizaciones, el método de fabricación incluye una segunda fusión de la aleación en un arco de vacío y/o forja y laminado de la aleación de titanio por debajo de la temperatura de transformación beta. En una realización particular, el método de fabricación de la aleación de alta resistencia, profunda templabilidad, y excelente ductilidad se usa para fabricar un componente de sistema aviación, e incluso más específicamente para fabricar un tren de aterrizaje.

- 45 Las Figura 1, que se presenta con el fin de ilustración y no de limitación, es un diagrama de flujo que muestra un método ejemplar para la fabricación de aleaciones de titanio. En la etapa 100 se prepara la cantidad deseada de los materiales de partida. Los materiales de partida pueden incluir, por ejemplo, materiales de partida de de primera fusión que comprenden titanio esponjoso y cualquiera de los elementos de la aleación que se divulgan en la presente memoria descriptiva. Alternativamente, los materiales de partida pueden comprender aleaciones de titanio recicladas tales como virutas de mecanizado o piezas sólidas de aleaciones de titanio que tienen una composición apropiada. Las cantidades de los materiales de partida tanto de primera fusión como reciclados se puede mezclar en cualquier combinación conocida en la técnica.

Después de haberse preparado los materiales de partida en la etapa 100, se funden en la etapa 110 para preparar un lingote. La fusión se puede conseguir mediante procesos tales como segunda fusión en arco de vacío, fusión por

rayo de electrones, fusión en arco de plasma, fusión en arco de electrodo consumible, o cualquier combinación de los mismos. En una realización particular, la fusión final en la etapa 110 se realiza mediante segunda fusión en arco de vacío. A continuación, el lingote se somete a forja y laminado en la etapa 120. La forja y el laminado se realizan por debajo de la temperatura de transformación beta (beta transus). A continuación, el lingote se trata térmicamente en solución en la etapa 130, que, en una realización particular, se realiza a una temperatura sub-transus. En esta realización, el tratamiento térmico en solución se realizó a una temperatura al menos aproximadamente 65 °F (aproximadamente 36 °C) por debajo de la temperatura de transición beta. Finalmente, las muestras de lingote se templaron por precipitación en la etapa 140.

10 En algunas realizaciones las etapas de forja y laminado (120), tratamiento en solución (130) y templado por precipitación (140) se controlan de manera que produzcan una microestructura que consiste en partículas alfa minúsculas. Los detalles adicionales del método ejemplar para la fabricación de aleaciones de titanio se describen a continuación en los Ejemplos.

15 Ejemplos:

Se usó segunda fusión en arco de vacío ("VAR") para preparar un lingote de acuerdo con las realizaciones que se divulgan en la presente memoria descriptiva así como lingotes de aleaciones de titanio convencionales, Ti-10-2-3 y Ti-555-3, con fines de comparación. Cada lingote tenía aproximadamente 20 cm (ocho pulgadas) de diámetro y pesaba aproximadamente 27,2 kg (60 libras). Las composiciones químicas de las aleaciones en porcentaje en peso se proporcionan a continuación en la Tabla 1:

Tabla 1 Composición química (% en peso) de las aleaciones de ejemplo

Aleación	Tipo de aleación	Al	V	Fe	Mo	Cr	O	N	Ni	Mo _{eq}
Ti-10-2-3	Ti-10V-2Fe-3Al	2,97	10,09	1,799	0,01	0,013	0,144	0,009	0,009	11,9
Ti-555-3	Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr	5,49	4,94	0,372	4,88	2,95	0,142	0,005	0,008	13,8
Aleación ejemplar N° 1	Ti-5,5Al-5V-0,8Fe-2,3Cr-0,140	5,3	4,77	0,732	4,79	2,27	0,128	0,005	0,008	13,6

25 La forja y el laminado final de las muestras de lingote se realizó por debajo de la temperatura de transformación beta (beta transus). A continuación las muestras de lingote se trataron térmicamente en solución a una temperatura sub-transus. Finalmente, las muestras de lingote se templaron por precipitación. Los resultados de los ensayos se resumen a continuación en la Tabla 2:

Tabla 2 Propiedades de tracción de los lingotes de muestra

Aleación	Tratamiento térmico en solución	Envejecimiento	TYS 0,2 % (ksi) [MPa]	UTS (ksi) [MPa]	Módulo (Msi) [GPa]	Alarg. (%)	RA (%)
Ti-10-2-3	779°C (1435 °F) 1 h, refrigeración con aire	523°C (975°F), 8 h, refrigeración con aire	157,2 [1084]	168,2 [1159]	15,3 [105]	7,7	20
Ti-10-2-3			157,5 [1086]	168,8 [1163]	15,2 [105]	7,7	18
Ti-555-3	815°C (1500 °F), 1 h, refrigeración con aire	621° C (1150°F), 8 h, refrigeración con aire	176,7 [1218]	190,3 [1312]	16,1 [111]	12,8	36
Ti-555-3			177,7 [1225]	191,2 [1318]	16,2 [112]	13,0	33

Aleación	Tratamiento térmico en solución	Envejecimiento	TYS 0,2 % (ksi) [MPa]	UTS (ksi) [MPa]	Módulo (Msi) [GPa]	Alarg. (%)	RA (%)
Método ejemplar N° 1	815°C (1500 °F) 1 h, refrigeración con aire	607°C (1125 °F), 8 h, refrigeración con aire	184,1 [1269]	196,8 [1357]	16,2 [112]	14,4	46
Método ejemplar N° 2			185,5 [1279]	198,5 [1368]	16,4 [113]	14,4	47

Como se demuestra en la Tabla 2, los dos lingotes de muestra fabricados de acuerdo con los métodos ejemplares N° 1 y N° 2 exhibieron propiedades superiores a las de las aleaciones convencionales, incluyendo mayores resistencias que los lingotes convencionales. En la Figura 2 se proporciona una fotomicrografía óptica que muestra la microestructura típica de las aleaciones de Ti ejemplares preparadas de acuerdo con las realizaciones que se divulgan en la presente memoria descriptiva. La fotomicrografía muestra una pluralidad de partículas alfa primarias que son básicamente equiaxiales con tamaños que varían de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5 micrómetros (μm) de diámetro. Las partículas alfa primarias aparecen principalmente como partículas de color blanco dispersadas dentro de una matriz templada por precipitación (es decir, el fondo negro). La aleación de Ti particular que se muestra en la Figura 2 se trató térmicamente en solución a una temperatura de 815 °C (1500 °F) durante una hora y a continuación se refrigeró con aire a temperatura ambiente. Esto fue seguido de templado por precipitación a 565 °C (1050 °F) durante 8 horas y a continuación refrigeración a temperatura ambiente en condiciones ambiente.

La Figura 3 es un gráfico que compara la carga de rótula por tracción y el alargamiento de las aleaciones de Ti ejemplares de la presente invención con las aleaciones de Ti de la técnica anterior. Los datos que se proporcionan en la Figura 3 muestran que las aleaciones de titanio ejemplares fabricadas de acuerdo con los métodos ejemplares N° 1 y N° 2 tienen una resistencia (por ejemplo, en valores de TYS y UTS) y una ductilidad (por ejemplo, alargamiento) superiores a las aleaciones de titanio convencionales. Esto es debido a la combinación única de elementos presente en los porcentajes en peso que se divulgan en la presente memoria descriptiva. El gráfico que se proporciona en la Figura 4 es análogo al de la Figura 3, pero proporcionándose datos adicionales para las aleaciones de Ti de la técnica anterior (por ejemplo, las aleaciones Ti-10-2-3 y Ti-555-3). En la Figura 4, los datos obtenidos para las aleaciones de Ti ejemplares de la presente invención se etiquetan como Ti 18.

Se produjo un lingote de muestra de 81 cm (32 pulgadas) de diámetro (5443 kg) (12 kilolibras) mediante una triple segunda fusión en arco de vacío (TVAR) de acuerdo con las realizaciones ejemplares que se divulgan en la presente memoria descriptiva y se midió la homogeneidad composicional a través de la longitud del lingote. Se midió la composición del lingote en cinco ubicaciones a lo largo del lingote, incluyendo la parte superior, la parte superior-media, la parte media, la parte inferior-media, y la parte inferior y los resultados se resumen a continuación en la Tabla 3:

Tabla 3 Homogeneidad composicional de un lingote de muestra

Elemento (% en masa) o Propiedad	Parte superior	Parte superior-media	Parte media	Parte inferior-media	Parte inferior	Promedio
Al	5,56	5,65	5,55	5,60	5,50	5,57
C	0,012	0,014	0,012	0,012	0,011	0,012
Cr	2,30	2,35	2,33	2,36	2,38	2,34
Fe	0,711	0,722	0,731	0,749	0,787	0,740
Mo	5,12	5,17	5,07	5,08	4,94	5,08
N	0,007	0,006	0,006	0,006	0,005	0,006
Ni	0,0035	0,0035	0,0035	0,0036	0,0039	0,004
O	0,146	0,148	0,146	0,148	0,142	0,146

Elemento (% en masa) o Propiedad	Parte superior	Parte superior-media	Parte media	Parte inferior-media	Parte inferior	Promedio
Si	0,032	0,031	0,030	0,030	0,033	0,031
Sn	0,010	0,015	0,014	0,015	0,013	0,013
V	5,03	5,10	5,03	5,09	5,03	5,06
Otros en total [C, N, Ni, Si, Sn]	0,061	0,066	0,062	0,063	0,062	0,063
T_{β} , calc, (°F)	1595	1596	1593	1593	1586	1593
T_{β} , calc, (°C)	868	869	867	867	863	867
Mo_{eq}	14,0	14,2	14,1	14,2	14,2	14,2
β_{ISO}	8,47	8,57	8,42	8,48	8,30	8,45
β_{EUT}	5,56	5,68	5,67	5,77	5,91	5,72
$\beta_{ISO} / \beta_{EUT}$	1,52	1,51	1,48	1,47	1,40	1,48
Al_{eq}	9,5	9,6	9,5	9,6	9,3	9,5

Los resultados que se proporcionan en la Tabla 3 muestran que existe una excelente uniformidad composicional a través de toda la longitud del lingote, siendo las desviaciones de las composiciones promedio menores o iguales de aproximadamente un 2,8 % para todos los elementos medidos. Los valores de $\beta_{ISO} / \beta_{EUT}$, Mo_{eq} , Al_{eq} , y T_{β} que se proporcionan en la Tabla 3 se calcularon usando las Ecuaciones 1-4, respectivamente. Los valores de β_{ISO} y β_{EUT} se calcularon usando las expresiones que se proporcionan en el numerador y en el denominador de la Ecuación 1, respectivamente.

En interés de la claridad, en la descripción de las realizaciones de la presente invención, se definen los siguientes términos como se proporcionan a continuación:

Límite de elasticidad a la tracción:	Esfuerzo de tracción técnico en el que el material exhibe una desviación limitante específica (0,2 %) a partir de la proporcionalidad de esfuerzo y tensión.
Carga de rotura por tracción:	Esfuerzo de tracción técnico máximo que el material es capaz de soportar, calculado a partir de la carga máxima durante el ensayo de tensión realizado hasta la ruptura y el área de la sección transversal original del ejemplar.
Módulo de elasticidad:	Durante un ensayo de tensión, la proporción del esfuerzo con respecto a la tensión correspondiente por debajo del límite proporcional.
Alargamiento:	Durante un ensayo de tensión, el aumento en longitud calibrada (expresado como porcentaje de la longitud calibrada original) después de fractura.
Reducción de área:	Durante un ensayo de tensión, la disminución en el área de la sección transversal de un ejemplar de tensión (expresado como el porcentaje de área de sección transversal original) después de fractura.
Vida a fatiga:	El número de ciclos de una tensión o esfuerzo específico que el ejemplar soporta antes de iniciar una ruptura detectable.
ASTM E606:	El ensayo estándar para el ensayo de fatiga controlado por tensión.
Estabilizador alfa:	Un elemento que, cuando se disuelve en titanio, hace que aumente la temperatura de transformación beta.
Estabilizador beta:	Un elemento que, cuando se disuelve en titanio, hace que disminuya la temperatura de transformación beta.
Temperatura de transformación beta:	La temperatura más baja a la que una aleación de titanio completa la transformación alotrópica de una estructura cristalina $\alpha + \beta$ en una β .
Compuesto eutectoide:	Un compuesto intermetálico de titanio y un metal de transición que se forma por descomposición de una fase β rica en titanio.

Estabilizador beta isomorfo:	Un elemento de estabilización β que tiene relaciones de fase similares al titanio β y no forma compuestos intermetálicos con el titanio.
Estabilizador beta eutectoide:	Un elemento de estabilización β capaz de formar compuestos intermetálicos con el titanio.

5 Todos los porcentajes son porcentajes en peso (% en peso) tanto en la memoria descriptiva como en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Aleación de titanio que comprende, en % en peso, de un 5,3 a un 5,7 % de aluminio, de un 4,8 a un 5,2 % de vanadio, de un 0,7 a un 0,9 % de hierro, de un 4,6 a un 5,3 % de molibdeno, de un 2,0 a un 2,5 % de cromo, y de un 0,12 a un 0,16 % de oxígeno, y opcionalmente uno o más elementos adicionales seleccionados entre N, C, Nb, Sn, Zr, Ni, Co, Cu y Si, donde cada elemento adicional está presente en una cantidad de menos de un 0,1 % y el contenido total de elementos adicionales es menos de un 0,5 % en peso, y se equilibra con titanio junto con cualquier impureza inevitable.

2. La aleación de titanio de la reivindicación 1 que tiene una proporción de estabilizadores beta isomorfos con respecto a beta eutectoides de 1,4, donde la proporción de estabilizadores beta isomorfos con respecto a beta eutectoides se define como:

$$\beta_{\text{ISO}} / \beta_{\text{EUT}} = [\text{Mo} + \text{V}/1,5] / [\text{Cr}/0,65 + \text{Fe}/0,35]$$

3. La aleación de titanio de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el % en peso de aluminio es 5,5.

4. La aleación de titanio de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el % en peso de vanadio es 5,0.

5. La aleación de titanio de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el % en peso de hierro es 0,8.

6. La aleación de titanio de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el % en peso de molibdeno es 5,0.

7. La aleación de titanio de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el % en peso de cromo es 2,3.

8. La aleación de titanio de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el % en peso de oxígeno es 0,14.

9. Un componente de sistema de aviación que es un tren de aterrizaje o un sujetador y que comprende una aleación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

10. Un método para la fabricación de una aleación de titanio para su uso en aplicaciones de alta resistencia, profunda templabilidad, y excelente ductilidad, que comprende:

proporcionar una aleación de titanio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8;
realizar un tratamiento térmico en solución de la aleación de titanio a una temperatura sub-transus; y
realizar un templeado por precipitación de la aleación de titanio.

11. El método de la reivindicación 10, que comprende además una segunda fusión en arco de vacío de la aleación de titanio.

12. El método de la reivindicación 10 o 11, que comprende además la forja y el laminado de la aleación de titanio por debajo de la temperatura de transformación beta.

13. Un método para la fabricación de un componente de sistema de aviación que es un tren de aterrizaje o un sujetador cuyo método comprende el método de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12.

14. El uso de una aleación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 en la fabricación de un componente de sistema de aviación que es un tren de aterrizaje o un sujetador.

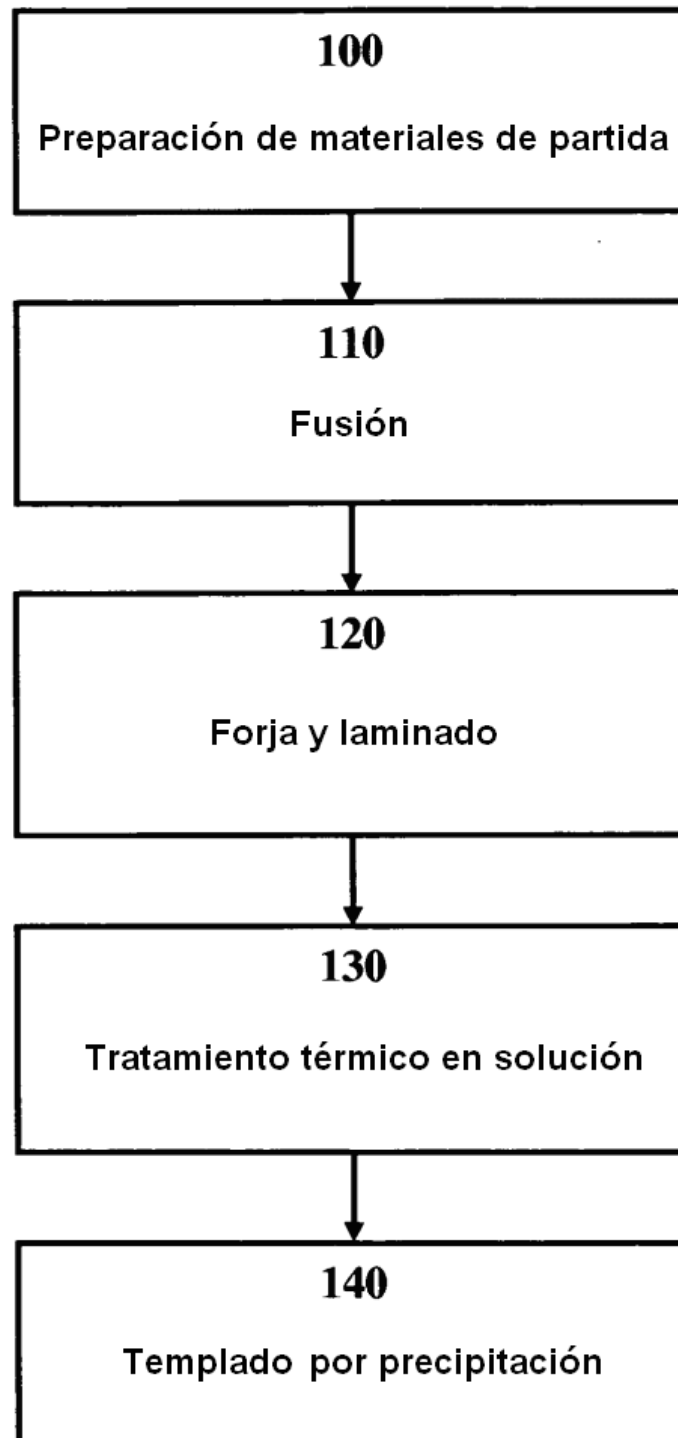


Fig. 1

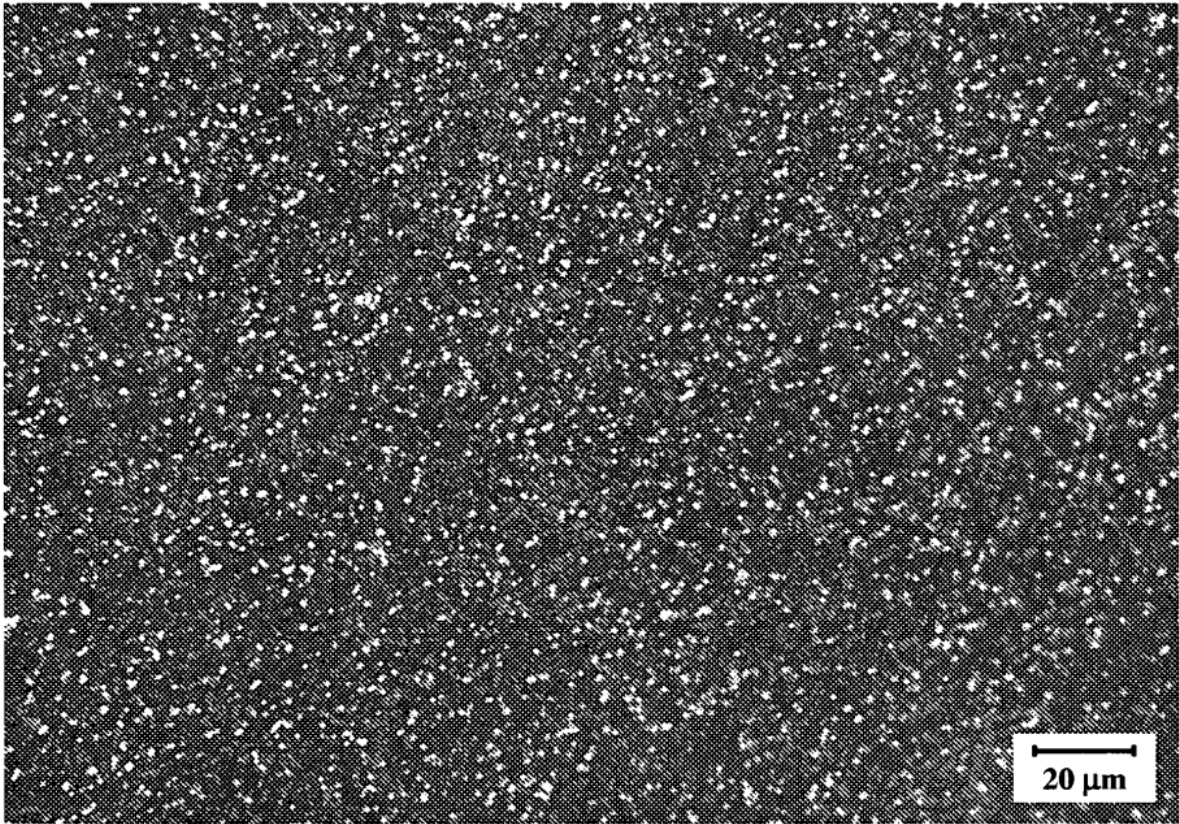


Fig. 2

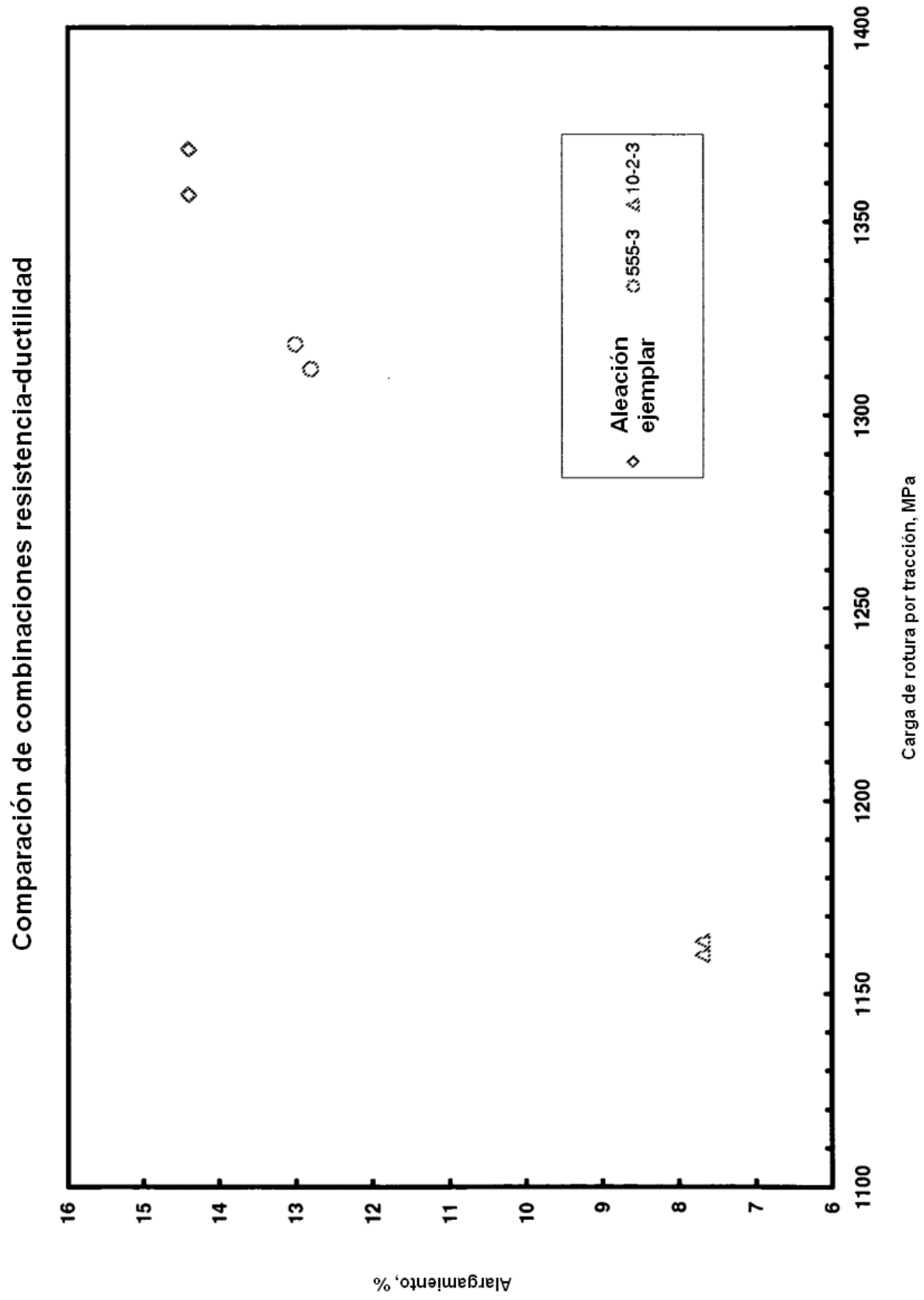


Fig. 3

Tendencias de carga de rotura por tracción vs ductilidad
Estudio comparativo de Ti-10-2-3 y Ti-5553 y Ti18
fabricadas en laboratorio

Todos los materiales se trataron en solución sub-transus, se refrigeraron con aire, y se envejecieron.

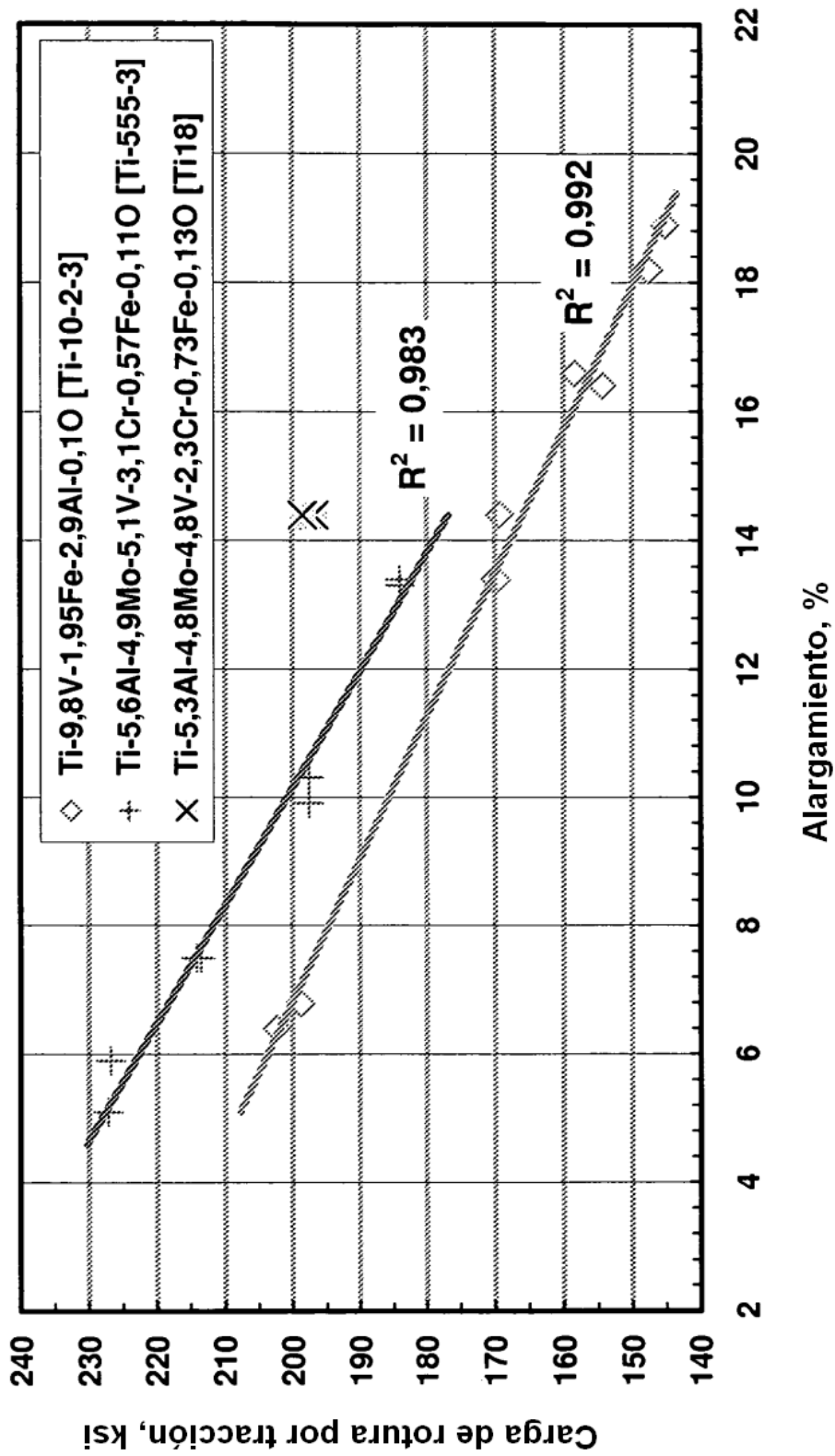


Fig. 4