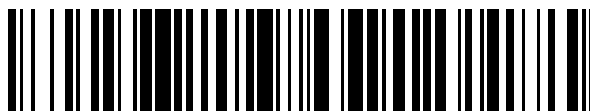


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 686 921**

51 Int. Cl.:

C22C 14/00 (2006.01)

C22F 1/18 (2006.01)

A61L 27/06 (2006.01)

B62D 29/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.09.2011 PCT/US2011/050595**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.03.2012 WO12039927**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.09.2011 E 11760918 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.06.2018 EP 2619341**

54 Título: **Método para producir fijadores de aleación de titanio alfa/beta de alta resistencia**

30 Prioridad:

13.10.2010 US 903851
23.09.2010 US 888699

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.10.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

BRYAN, DAVID J.

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 686 921 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

Método para producir fijadores de aleación de titanio alfa/beta de alta resistencia

5 **Antecedentes de la tecnología****Campo de la tecnología**

10 La presente divulgación se refiere a fijadores y elementos de fijación mecánicos, y en particular a fijadores y elementos de fijación que comprenden aleaciones de titanio alfa/beta.

Descripción de los antecedentes de la tecnología

15 Las aleaciones de titanio normalmente exhiben una alta relación resistencia/peso, son resistentes a la corrosión y son resistentes a la fluencia a temperaturas moderadamente altas. Por estas razones, las aleaciones de titanio se usan en aplicaciones aeroespaciales y aeronáuticas que incluyen, por ejemplo, miembros de tren de aterrizaje, bastidores de motor y fijadores mecánicos.

20 La reducción del peso de una aeronave tiene como resultado un ahorro de combustible y, por lo tanto, existe un fuerte impulso en la industria aeroespacial para reducir el peso de la aeronave. El titanio y las aleaciones de titanio son materiales atractivos para lograr la reducción de peso en aplicaciones para aeronaves debido a su alta relación resistencia/peso. Actualmente, los fijadores de aleación de titanio se usan en aplicaciones aeroespaciales menos exigentes. En ciertas aplicaciones aeroespaciales en las que las aleaciones de titanio no exhiben resistencia suficiente para cumplir los requisitos mecánicos particulares de la aplicación, se usan fijadores de aleación basados en hierro y níquel más pesados.

30 La mayoría de las piezas de aleación de titanio utilizadas en aplicaciones aeroespaciales están hechas de aleación de Ti-6Al-4V (ASTM Grado 5, UNS R56400, AMS 4965), que es una aleación de titanio alfa/beta. La especificación mínima típica para el elemento de fijación Ti-6Al-4V de pequeño diámetro, es decir, elemento de fijación que tiene un diámetro inferior a 0,5 pulgadas (1,27 cm), es una resistencia a la tracción máxima (UTS) de 170 ksi (1,12 MPa) según la norma ASTM E8/E8M-09 ("Métodos de prueba convencionales para ensayos de tensión de materiales metálicos" ASTM International, 2009), y una resistencia al doble cizallamiento (DSS) de 103 ksi (710 MPa), según se determina con la norma NASM 1312-13 ("Método 13-Doble cizallamiento", Asociación de Industrias Aeroespaciales-Norma Aeroespacial Nacional (Métrica), 1 de febrero de 2003).

35 Las superaleaciones basadas en hierro y níquel, tales como, por ejemplo, la superaleación a base de hierro A286 (UNS S66286), son representativas de los materiales utilizados en aplicaciones de fijación aeroespacial que tienen el siguiente nivel de resistencia. Las resistencias mínimas especificadas típicas para los fijadores de aleación A286 estirados en frío y envejecidos son de 180 ksi (1241 MPa) para la UTS y 108 ksi (744 MPa) para la DSS.

40 La superaleación basada en níquel Aleación 718 (N07718) es un material utilizado en fijadores aeroespaciales que representa el nivel superior de resistencia. Los mínimos de especificación típicos para los fijadores de la superaleación 718 estirada en frío y envejecida son de 220 ksi (1517 MPa) para la UTS y 120 ksi (827 MPa) para la DSS.

45 Además, dos aleaciones de beta titanio que actualmente están en uso o que se están considerando para su uso como materiales de fijación de alta resistencia presentan una resistencia a la tracción mínima de 180 ksi (1241,1 MPa) y una DSS mínima de 108 ksi (744,6 MPa). SPS Technologies, Jenkintown, Pa., ofrece un fijador de aleación de titanio fabricado a partir de una aleación optimizada de beta-titanio que se ajusta a la química de la aleación de titanio Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo (AMS 4958). Los pernos de SPS están disponibles en diámetros de hasta 1 pulgada (2,54 cm). Alcoa Fastening Systems (AFS) ha desarrollado un fijador de titanio de alta resistencia hecho de una aleación de titanio que se ajusta a la química nominal de la aleación de titanio Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr-0,5Fe (también conocida como Ti-5553; UNS sin asignar), una aleación casi de beta-titanio. Los fijadores de aleación AFS Ti-5553 presentan una resistencia a la tracción de 190 ksi (1309 MPa), más del 10 % de alargamiento y una DSS mínima de 113 ksi (779 MPa) para piezas no revestidas y 108 ksi (744 MPa) para piezas revestidas.

60 Las aleaciones de beta-titanio generalmente incluyen un alto contenido de aleación, lo que aumenta el coste de los componentes y el procesamiento en comparación con las aleaciones de titanio alfa/beta. Las aleaciones de beta-titanio generalmente también tienen una densidad más alta que las aleaciones de titanio alfa/beta. Por ejemplo, la aleación de titanio alfa/beta ATI 425® tiene una densidad de aproximadamente 0,161 lbs/in³ (4,5 g/cm³), mientras que la aleación de titanio beta Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo tiene una densidad de aproximadamente 0,174 lbs/in³ (4,8 g/cm³), y la aleación de casi beta-titanio Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr-0,5Fe tiene una densidad de aproximadamente 0,168 lbs/in³ (4,7 g/cm³). Los fijadores hechos de aleaciones de titanio que son menos densas pueden proporcionar un mayor ahorro de peso para aplicaciones aeroespaciales. Además, la microestructura bimodal que se obtiene, por ejemplo, en aleaciones de titanio alfa/beta envejecidas y tratadas en solución puede proporcionar propiedades mecánicas mejoradas, tales como fatiga de ciclo alto en comparación con las aleaciones de beta-titanio. Las

aleaciones de titanio alfa/beta también tienen una temperatura de transición beta (T_{β}) más alta que las aleaciones de beta-titanio. Por ejemplo, la T_{β} de la aleación de titanio alfa/beta ATI 425® es de aproximadamente 1800 °F (982,2 °C), mientras que la aleación de titanio Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr-0,5Fe tiene una T_{β} de aproximadamente 1500 °F (815,6 °C). La diferencia en la T_{β} para las dos formas de aleaciones de titanio permite una ventana de temperatura más grande para el procesamiento termomecánico y el tratamiento térmico en el campo de fase alfa/beta para aleaciones de titanio alfa/beta.

Dada la continua necesidad de reducir el consumo de combustible a través de la reducción del peso de la aeronave, existe la necesidad de fijadores ligeros mejorados para aplicaciones aeroespaciales. En particular, sería ventajoso proporcionar fijadores y elementos de fijación aeroespaciales ligeros de aleación de titanio alfa/beta que presenten mayor resistencia que los fijadores aeroespaciales de la presente generación fabricados a partir de aleación de titanio alfa/beta Ti-6Al-4V.

Sumario

La invención proporciona un método para producir un elemento de fijación de aleación de titanio que tiene un diámetro de 4,57 mm (0,18 pulgadas) a 31,8 mm (1,25 pulgadas) de acuerdo con la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas.

La presente divulgación describe un artículo de fabricación seleccionado a partir de un fijador de aleación de titanio y un elemento de fijación de aleación de titanio que incluye una aleación de titanio alfa/beta que comprende, en tanto por ciento en peso: de 3,9 a 4,5 de aluminio; de 2,2 a 3,0 de vanadio; de 1,2 a 1,8 de hierro; de 0,24 a 0,3 de oxígeno; hasta 0,08 de carbono; hasta 0,05 de nitrógeno; titanio; y hasta un total de 0,3 de otros elementos. En una realización no limitante, el elemento de fijación o fijador de aleación de titanio alfa/beta exhibe una resistencia a la tracción máxima de al menos 170 ksi (1172 MPa) y una resistencia al doble cizallamiento de al menos 103 ksi (710,2 MPa).

En una realización adicional descrita, un artículo de fabricación seleccionado entre un fijador de aleación de titanio y un elemento de fijación de aleación de titanio comprende una aleación de titanio alfa/beta que consiste esencialmente en, en tanto por ciento en peso: de 3,9 a 4,5 de aluminio; de 2,2 a 3,0 de vanadio; de 1,2 a 1,8 de hierro; de 0,24 a 0,3 de oxígeno; hasta 0,08 de carbono; hasta 0,05 de nitrógeno; hasta un total de 0,3 de otros elementos; titanio; impurezas inevitables; y en el que los otros elementos consisten esencialmente en uno o más de estaño, zirconio, molibdeno, cromo, níquel, silicio, cobre, niobio, tántalo, manganeso y cobalto, en el que el porcentaje en peso de cada elemento es de 0,1 o menos, y boro e itrio, en el que el porcentaje en peso de cada uno de tales elementos es inferior a 0,005. En una realización no limitante, el fijador o elemento de fijación de aleación de titanio alfa/beta presenta una resistencia a la tracción máxima de al menos 170 ksi (1172 MPa) y una resistencia al doble cizallamiento de al menos 103 ksi (710,2 MPa).

En una realización de acuerdo con la presente divulgación, un método para producir un elemento de fijación de aleación de titanio incluye proporcionar una aleación de titanio alfa/beta que comprende, en tanto por ciento en peso: de 3,9 a 4,5 de aluminio; de 2,2 a 3,0 de vanadio; de 1,2 a 1,8 de hierro; de 0,24 a 0,3 de oxígeno; hasta 0,08 de carbono; hasta 0,05 de nitrógeno; titanio; y hasta un total de 0,3 de otros elementos. La aleación de titanio alfa/beta se lamina en caliente y, posteriormente, se temple a una temperatura de recocido en un intervalo de 1200 °F (648,9 °C) a 1400 °F (760 °C) durante un tiempo de recocido en un intervalo de 1 hora a 2 horas. Después del recocido, la aleación de titanio alfa/beta se enfría por aire y a continuación se mecaniza a dimensiones predeterminadas. La aleación de titanio alfa/beta se trata a continuación en solución a una temperatura de tratamiento de la solución en un intervalo de 1500 °F (815,6 °C) a 1700 °F (926,7 °C) durante un tiempo de tratamiento de la solución en un intervalo de 0,5 horas a 2 horas. Después del tratamiento de la solución, la aleación de titanio alfa/beta se enfría a una velocidad de enfriamiento que es al menos tan rápida como la del aire y a continuación envejece a una temperatura de tratamiento de envejecimiento en un intervalo de 800 °F (426,7 °C) a 1000 °F (537,8 °C) para un tiempo de envejecimiento en un intervalo de 4 horas a 16 horas. Después del envejecimiento, la aleación de titanio se enfría por aire. En una realización no limitante, una aleación de titanio alfa/beta fabricada de acuerdo con la realización del método anterior exhibe una resistencia a la tracción máxima de al menos 170 ksi (1172 MPa) y una resistencia al doble cizallamiento de al menos 103 ksi (710,2 MPa).

Breve descripción de los dibujos

Las características y ventajas de los métodos descritos en este documento pueden entenderse mejor por referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La Fig. 1 es una representación esquemática de las realizaciones de los elementos de fijación descritos;

La Fig. 2. es un diagrama de flujo de una realización de un método de producción de fijadores y elementos de fijación de acuerdo con la presente divulgación;

La Fig. 3 es un gráfico de la resistencia a la tracción máxima del elemento de fijación de barra y cable fabricado mediante realizaciones no limitantes según la presente divulgación, comparando esas propiedades con los requisitos para el elemento de fijación de barra y cable de aleación de titanio Ti-6Al-4V;

5 La Fig. 4 es un gráfico del límite de elasticidad del elemento de fijación de barra y cable fabricado mediante realizaciones no limitantes de acuerdo con la presente divulgación, comparando esas propiedades con los requisitos para el elemento de fijación de barra y cable de aleación de titanio Ti-6Al-4V; y

10 La Fig. 5 es un gráfico del porcentaje de alargamiento del elemento de fijación de barra y cable fabricado mediante realizaciones no limitantes de acuerdo con la presente divulgación, comparando esas propiedades con los requisitos para el elemento de fijación de barra y cable de aleación de titanio Ti-6Al-4V.

El lector apreciará los detalles anteriores, así como otros, al considerar la siguiente descripción detallada de ciertas realizaciones no limitantes de los métodos de acuerdo con la presente divulgación.

15 **Descripción detallada de determinadas realizaciones no limitantes**

En la presente descripción de las realizaciones no limitantes, distintas de los ejemplos operativos o en los casos en que se indique lo contrario, todos los números que expresan cantidades o características debe entenderse que están modificados en todos los casos por el término "aproximadamente". Por consiguiente, a menos que se indique lo contrario, cualquier parámetro numérico expuesto en la siguiente descripción son aproximaciones que pueden variar dependiendo de las propiedades deseadas que se busca obtener en los materiales y mediante los métodos de acuerdo con la presente divulgación. Como mínimo, y no como un intento de limitar la aplicación de la doctrina de equivalencias al alcance de las reivindicaciones, cada parámetro numérico debe interpretarse al menos a la luz del número de dígitos significativos informados y mediante la aplicación de técnicas de redondeo ordinarias.

En referencia ahora a la Fig. 1, un aspecto de esta descripción se refiere a un artículo de fabricación seleccionado entre un fijador de aleación de titanio 10 y un elemento de fijación de aleación de titanio (no mostrado). En una realización no limitante, el artículo incluye una aleación de titanio alfa/beta que comprende, en porcentaje en peso: de 3,9 a 4,5 de aluminio; de 2,2 a 3,0 de vanadio; de 1,2 a 1,8 de hierro; de 0,24 a 0,3 de oxígeno; hasta 0,08 de carbono; hasta 0,05 de nitrógeno; titanio; y hasta un total de 0,3 de otros elementos. En realizaciones no limitantes de esta descripción, los otros elementos a los que se hace referencia en la composición de aleación comprenden o consisten esencialmente en uno o más de estaño, zirconio, molibdeno, cromo, níquel, silicio, cobre, niobio, tántalo, manganeso y cobalto, cada uno que tiene una concentración máxima del 0,1 por ciento en peso como elementos individuales, y boro e itrio, cada uno que tiene una concentración máxima del 0,005 % como elementos individuales, con la suma total de todos los demás elementos que no excede el 0,3 por ciento en peso. En una realización no limitante, el artículo de fabricación de titanio alfa/beta según la presente divulgación exhibe una resistencia a la tracción máxima de al menos 170 ksi (1172 MPa) y una resistencia al doble cizallamiento (DSS) de al menos 103 ksi (710,2 MPa) para fijadores que tienen diámetros en el intervalo de 0,18 pulgadas (4,57 mm) a 1,25 pulgadas (31,8 mm). En una realización no limitante de esta divulgación, los fijadores pueden tener diámetros tan pequeños como puedan fabricarse. En una realización no limitante, los fijadores de acuerdo con la presente divulgación exhiben un porcentaje de elongación de al menos el 10 %.

En ciertas formas de realización no limitantes, la composición elemental de una aleación de titanio alfa/beta incluida en el elemento de fijación o fijador de acuerdo con la presente divulgación está englobada por la composición de aleación descrita en Patente de los Estados Unidos n.º 5.980.655 ("la patente '655"). La patente '655 describe una aleación que tiene la composición mostrada en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

Elemento aleante	Porcentaje en peso
Aluminio	de aproximadamente 2,9 a aproximadamente 5,0
Vanadio	de aproximadamente 2,0 a aproximadamente 3,0
Hierro	de aproximadamente 0,4 a aproximadamente 2,0
Oxígeno	superior a 0,2 a aproximadamente 0,3
Carbono	de aproximadamente 0,005 a aproximadamente 0,03
Nitrógeno	de aproximadamente 0,001 a aproximadamente 0,02
Otros elementos	Inferior a aproximadamente 0,5

50 Una versión comercial de la aleación de la patente '655 es la aleación ATI 425®, que está disponible en ATI Aerospace, una empresa de Allegheny Technologies Incorporated, Pittsburgh, PA. La resistencia a la tracción máxima de las aleaciones que tienen la composición elemental descrita en la patente '655 varía de aproximadamente 130 a 133 ksi (896 a 917 MPa). Sin embargo, el presente inventor descubrió sorprendentemente que el intervalo químico significativamente más estrecho en la presente divulgación da como resultado fijadores de

titanio alfa/beta que pueden exhibir las resistencias a la tracción máximas significativamente superiores descritas en este documento. En una realización no limitante, la resistencia a la tracción máxima de los fijadores descritos en la presente memoria, fabricados a partir de la composición de aleación descrita en este documento, era hasta un 22 % superior a la UTS descrita en la patente '655. Sin pretender estar sujeto a ninguna teoría de operación, se cree que la resistencia sorprendentemente alta de las composiciones de aleación de fijación descritas en este documento puede haber sido al menos en parte el resultado de aumentar significativamente los niveles de aluminio y oxígeno por encima de los niveles mínimos descritos en la patente '655, que puede haber aumentado la resistencia de la fase alfa dominante en la aleación de titanio alfa/beta.

El inventor también descubrió sorprendentemente que el estrechamiento de los intervalos permisibles de aluminio, vanadio, hierro, oxígeno, carbono y nitrógeno en la aleación de fijadores descrita en este documento en relación con la aleación descrita en la patente '655 reduce la variabilidad de las propiedades mecánicas y la variabilidad de la temperatura de transición beta de la aleación del fijador descrita en este documento. Esta variabilidad reducida es importante para el proceso y para la optimización microestructural a fin de lograr las propiedades mecánicas superiores descritas en este documento.

En otra realización no limitante, un fijador de aleación de titanio y un elemento de fijación de aleación de titanio descrito en este documento comprende un diámetro de hasta 0,75 pulgadas (1,91 cm), y tiene una resistencia a la tracción máxima de al menos 180 ksi (1241 MPa) y una resistencia al doble cizallamiento de al menos 108 ksi (744,6 MPa). En una realización no limitante, los fijadores o elemento de fijación de acuerdo con esta divulgación tienen hasta aproximadamente un 26 % más resistencia a la tracción máxima que la resistencia a la tracción máxima descrita en la patente '655.

En referencia de nuevo a la Fig. 1, de acuerdo con otro aspecto no limitante de esta divulgación, un artículo de fabricación seleccionado entre un fijador de aleación de titanio 10 y un elemento de fijación de aleación de titanio (no mostrado) incluye una aleación de titanio alfa/beta que consiste esencialmente en, en porcentaje en peso: de 3,9 a 4,5 de aluminio; de 2,2 a 3,0 de vanadio; de 1,2 a 1,8 de hierro; de 0,24 a 0,3 de oxígeno; hasta 0,08 de carbono; hasta 0,05 de nitrógeno; no más de un total de 0,3 de otros elementos; con el resto de titanio; e impurezas inevitables. En realizaciones no limitantes de esta divulgación, los otros elementos referidos en la composición de aleación comprenden o consisten esencialmente en uno o más de estaño, zirconio, molibdeno, cromo, níquel, silicio, cobre, niobio, tántalo, manganeso y cobalto, en el que el porcentaje en peso de cada elemento es del 0,1 o menos, y boro e itrio, en el que el porcentaje en peso de cada uno de dichos elementos es inferior al 0,005, con la suma total de todos los demás elementos que no supera el 0,3 por ciento en peso. En una realización no limitante, el artículo de fabricación tiene una resistencia a la tracción máxima de al menos 170 ksi (1172 MPa) y una resistencia al doble cizallamiento de al menos 103 ksi (710,2 MPa).

En una realización no limitante, un fijador de titanio y un elemento de fijación de aleación de titanio según la presente divulgación comprenden un diámetro de hasta 0,75 pulgadas (1,91 cm), una resistencia a la tracción máxima de al menos 180 ksi (1,241 MPa), y una resistencia al doble cizallamiento de al menos 108 ksi (744,6 MPa).

Tal como se usa en el presente documento, el término "fijador" se refiere a un dispositivo físico que une o fija mecánicamente dos o más objetos entre sí. Un fijador incluye, pero no se limita a, un perno, una tuerca, un clavo, un tornillo, un remache, una arandela y una arandela de seguridad. Como se usa en el presente documento, la frase "elemento de fijación" se refiere a un artículo que se procesa para formar uno o más fijadores a partir del artículo.

En referencia a la Fig. 2, un aspecto no limitante de acuerdo con la presente divulgación es un método 20 para producir un fijador o elemento de fijación de aleación de titanio. El método comprende proporcionar 21 una aleación de titanio alfa/beta que comprende, en porcentaje en peso: de 3,9 a 4,5 de aluminio; de 2,2 a 3,0 de vanadio; de 1,2 a 1,8 de hierro; de 0,24 a 0,3 de oxígeno; hasta 0,08 de carbono; hasta 0,05 de nitrógeno; titanio; y hasta un total de 0,3 de otros elementos. En realizaciones no limitantes de esta divulgación, los otros elementos referidos en la composición de aleación comprenden o consisten esencialmente en uno o más de estaño, zirconio, molibdeno, cromo, níquel, silicio, cobre, niobio, tántalo, manganeso y cobalto, en el que el porcentaje en peso de cada uno de dichos elementos es del 0,1 o menos, y boro e itrio, en los que el porcentaje en peso de cada elemento es inferior al 0,005, con la suma total de todos los demás elementos que no exceda el 0,3 por ciento en peso. La aleación de titanio alfa/beta se lamina en caliente 22 a una temperatura en el campo de fase alfa/beta de la aleación de titanio alfa/beta. En una realización no limitante, una temperatura de laminación en caliente es de al menos 50 °F (27,8 °C) por debajo de la temperatura de transición beta de la aleación de titanio alfa/beta, pero no más de 600 °F (333,3 °C) por debajo de la temperatura de transición beta de la aleación de titanio alfa/beta.

Después del laminado en caliente 22, la aleación de titanio alfa/beta opcionalmente se estira en frío y se temple para reducir el tamaño sin cambiar sustancialmente las propiedades mecánicas de la aleación de titanio alfa/beta. En una realización no limitante, el estiramiento en frío reduce el área de la sección transversal de la pieza de trabajo de aleación de titanio en menos del 10 %. Antes del estiramiento en frío, la aleación de titanio alfa/beta puede estar recubierta con un lubricante sólido, tal como, pero no limitado a, disulfuro de molibdeno (MoS₂).

En una realización no limitante, después del laminado en caliente 22, la aleación de titanio alfa/beta se temple 23 y se enfría 24 para proporcionar un elemento de fijación de aleación de titanio alfa/beta. En una realización no limitante, el recocido 23 incluye recocer la aleación de titanio alfa/beta laminada en caliente a una temperatura de recocido en un intervalo de temperatura de recocido de 1269 °F a 1400 °F (649 °C a 760 °C). En otra realización no limitante, el tiempo de recocido varía de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 2 horas. En aún otra realización no limitante, el recocido 23 comprende recocer la aleación de titanio alfa/beta laminada en caliente a aproximadamente 1275 °F (690,6 °C) durante aproximadamente una hora. En una realización no limitante, después del recocido 23, la aleación de titanio alfa/beta templada se enfría a temperatura ambiente. En una realización no limitante, después del recocido 23, la aleación de titanio alfa/beta templada se enfría a temperatura ambiente. En ciertas realizaciones no limitantes, después del recocido 23, la aleación de titanio alfa/beta templada se enfría con aire o se enfría con agua a temperatura ambiente.

Después del recocido 23 y el enfriamiento 24, en una realización no limitante, el elemento de fijación de la aleación de titanio alfa/beta se mecaniza 25 a una dimensión útil para formar un elemento de fijación del material. Opcionalmente, se puede aplicar un recubrimiento al elemento de fijación de la aleación de titanio alfa/beta antes del mecanizado. Los recubrimientos de mecanizado convencionales son conocidos por los expertos en la materia y no es necesario profundizar sobre ellos en este documento.

En una realización no limitante, el elemento de fijación de aleación de titanio mecanizado se trata en solución 26 a una temperatura de tratamiento en solución en un intervalo de tratamiento en solución de 1500 °F (815,6 °C) a 1700 °F (926,7 °C) durante un tiempo de tratamiento en solución en un intervalo de 0,5 horas a 2 horas. En una realización específica no limitante, el elemento de fijación de la aleación de titanio mecanizado se trata en solución 26 a una temperatura de tratamiento en solución de aproximadamente 1610,7 °C (876,7 °C).

Después del tratamiento en solución 26, el elemento de fijación de aleación de titanio mecanizado se enfría 27. En realizaciones no limitantes, el enfriamiento 27 se puede llevar a cabo usando enfriamiento por aire, enfriamiento por agua y/o enfriamiento con agua, y se puede denominar "enfriamiento rápido". Preferiblemente, la velocidad de enfriamiento alcanzada durante el enfriamiento 27 es tan rápida como el enfriamiento por aire. En una realización no limitante, el enfriamiento 27 comprende una velocidad de enfriamiento de al menos 1000 °F (555,6 °C) por minuto. En una realización no limitante, el enfriamiento 27 comprende cualquier proceso de enfriamiento conocido por una persona experta en la materia que logre la velocidad de enfriamiento indicada. El enfriamiento rápido 27 se usa para preservar la microestructura obtenida por el tratamiento en solución 26.

En una realización no limitante, la solución tratada 26 y el elemento de fijación de la aleación de titanio 27 enfriada rápidamente se envejece 28 a una temperatura de tratamiento de envejecimiento en un intervalo de temperatura de tratamiento de envejecimiento de aproximadamente 800 °F (426,7 °C) a aproximadamente 1000 °F (537,8 °C) durante un tiempo de envejecimiento en un intervalo de tiempo de tratamiento de envejecimiento de aproximadamente 4 horas a aproximadamente 16 horas. En una realización específica no limitante, la solución tratada 26 y el elemento de fijación de la aleación de titanio 27 enfriado rápidamente se envejece 28 a 850 °F (454,4 °C) durante 10 horas. En ciertas realizaciones no limitantes, después del envejecimiento 28, el elemento de fijación de la aleación de titanio alfa/beta se enfría con aire 29 o se enfría rápidamente para producir un elemento de fijación de aleación de titanio alfa/beta como se describe en el presente documento.

Se ha determinado que el elemento de fijación fabricado de acuerdo con esta divulgación tiene propiedades mecánicas más altas en comparación con el elemento de fijación fabricado a partir de la aleación de titanio Ti-6-4. Por lo tanto, es posible usar fijadores fabricados de acuerdo con esta divulgación en dimensiones más pequeñas para reemplazar los fijadores Ti-6-4 en las mismas aplicaciones. Esto da lugar a un ahorro de peso, que es valioso en aplicaciones aeroespaciales. También se ha determinado que, en ciertas aplicaciones, los fijadores fabricados de acuerdo con esta divulgación podrían reemplazar los fijadores de aleación de acero que tienen las mismas dimensiones y dar como resultado un ahorro de peso valioso para aplicaciones aeroespaciales.

Los ejemplos que siguen están destinados a describir adicionalmente ciertas realizaciones no limitantes, sin restringir el alcance de la presente invención. Las personas que tengan una experiencia normal en la materia apreciarán que son posibles variaciones de los siguientes ejemplos dentro del alcance de la invención, que se define únicamente por las reivindicaciones.

Ejemplo 1

Se produjo un lingote a partir de compactos fabricados a partir de materias primas utilizando tecnología de doble arco de vacío refundido (VAR). Las muestras se tomaron del lingote para el análisis químico, y la química media medida del lingote se proporciona en la Tabla 2. Se determinó que la temperatura de transición beta de la aleación era de 1785 °F (973,9 °C).

Tabla 2

Al	V	Fe	O	N	C	Resto
4,06	2,52	1,71	0,284	0,008	0,017	Ti e impurezas inevitables

Ejemplo 2

El lingote de aleación de titanio de varios calores que tienen composiciones químicas de acuerdo con esta divulgación se laminó en caliente a una temperatura de laminación en caliente de aproximadamente 1600 °F (871,1 °C). El material laminado en caliente se templó a 1275 °F (690,6 °C) durante 1 hora y se enfrió con aire. El material recocido se mecanizó en barras y cables de elementos de fijación que tienen diversos diámetros desde aproximadamente 0,25 pulgadas (6,35 mm) hasta aproximadamente 3,5 pulgadas (88,9 mm). Las barras y cables del elemento de fijación se trataron en solución a aproximadamente 1610 °F (876,7 °C) durante aproximadamente 1 hora y se enfrió rápidamente con agua. Después del tratamiento en solución y el enfriamiento con agua, las barras y cables del elemento de fijación se envejecieron a aproximadamente 850 °F (454,4 °C) durante aproximadamente 10 horas y se enfriaron al aire.

Ejemplo 3

Las barras y cables del elemento de fijación del Ejemplo 2 se analizaron para la tracción a temperatura ambiente. Las resistencias a la tracción máximas de las barras y cables del elemento de fijación se presentan gráficamente en la Fig. 3. Los límites elásticos de las barras y cables del elemento de fijación se presentan gráficamente en la Fig. 4, y el porcentaje de alargamiento de las barras y cables del elemento de fijación se presentan gráficamente en la Fig. 5. La resistencia mínima a la tracción máxima, el límite elástico y el porcentaje de alargamiento requeridos para la aleación envejecida y tratada con una solución de Ti-6Al-4V en aplicaciones de fijación aeroespacial (AMS 4965) también se ilustran en las Figs. 3-5, respectivamente. En la Fig. 3 se ve que las resistencias a la tracción máximas medidas para la barra y el cable del elemento de fijación fabricados según esta divulgación excedieron las especificaciones de la aleación de Ti-6Al-4V ilustradas en una cantidad significativa de aproximadamente 20 ksi (138 MPa) en todos los tamaños de diámetro medidos. Además, en la Fig. 5 se ve que el elemento de fijación que tiene composiciones químicas de acuerdo con esta divulgación exhibió alargamientos porcentuales en el intervalo de al menos el 10 por ciento a aproximadamente el 19 por ciento.

Ejemplo 4

El elemento de fijación que tiene un diámetro de aproximadamente 0,25 pulgadas (6,35 mm), con la composición química del Ejemplo 1, y la solución tratada y envejecida como en el Ejemplo 2, se sometió a ensayo para la tracción. Los resultados de las pruebas de tracción se enumeran en la Tabla 3.

Tabla 3

Resistencia a la tracción máxima (ksi)	Límite elástico (ksi)	Alargamiento porcentual	Reducción en el área	Resistencia al doble cizallamiento (ksi)
199,9	175,1	13,0	45	123,3
199,9	176,2	13,0	44	120,0
196,3	169,4	10,0	39	117,4
196,9	171,4	11,0	39	117,2

Las resistencias a la tracción máximas variaron de aproximadamente 196 ksi a aproximadamente 200 ksi (1351 MPa a 1379 MPa), que es más alta que los requisitos mínimos para el elemento de fijación Ti-6Al-4V de 170 ksi (1172 MPa) para la UTS y 103 ksi (710 MPa) para la DSS. También se observa que las propiedades concuerdan con la relación empírica aceptada que $DSS = 0,6 \times UTS$.

Ejemplo 5

El elemento de fijación que tiene un diámetro de aproximadamente 0,75 pulgadas (1,91 cm), con una composición química del Ejemplo 1, y tratado térmicamente de acuerdo con el Ejemplo 2 se sometió a ensayo para la tracción. Los resultados de las pruebas de tracción se enumeran en la Tabla 4.

Tabla 4

Diámetro (pulgada)	Resistencia a la tracción máxima (ksi)	Límite elástico (ksi)	Alargamiento porcentual
0,75	185,9	160,3	12,3
0,75	185,8	160,1	12,8
0,75	185,4	159,7	12,9
0,75	186	159,5	12,7
0,75	186,1	160,3	12,4
0,75	186,1	160	12,4
0,75	186,3	160,6	12,4
0,75	186,1	160,3	12,8
Promedio	186,0	160,1	12,6
STD	0,3	0,4	0,2

La resistencia a la tracción máxima promedio de las barras del elemento de fijación de 0,75 pulgadas (1,91 cm) fue de 186 ksi (1,282 MPa), que satisface la especificación mínima para fijadores fabricados de la superaleación a base de hierro A286. Sobre la base de la relación empírica aceptada entre DSS y UTS presentada anteriormente, se espera que las barras de 0,75 pulgadas (1,91 cm) también cumplan con el requisito de DSS de 108 ksi (744 MPa) para fijadores fabricados a partir de la superaleación a base de hierro A286.

Ejemplo 6

El lingote que tiene la composición química como en el Ejemplo 1 se lamina en caliente, se temple y se mecaniza como en el Ejemplo 2 para formar un elemento de fijación que tiene un diámetro de aproximadamente 0,75 pulgadas (1,91 cm). El elemento de fijación es un control numérico computarizado mecanizado en un fijador que tiene forma de perno. El perno se trata en solución y se envejece como en el Ejemplo 2 para formar una realización no limitante de un fijador de esta divulgación.

Ejemplo 7

El lingote que tiene la composición química como en el Ejemplo 1 se lamina en caliente, se temple y se mecaniza como en el Ejemplo 2 para formar un elemento de fijación que tiene un diámetro de aproximadamente 1 pulgada (2,54 cm). El elemento de fijación se rosca y se corta en piezas con longitudes de aproximadamente 2 pulgadas (5,08 cm). Las piezas se forjan en frío para formar pernos de cabeza hexagonal. Los pernos de cabeza hexagonal se tratan en solución y se envejecen como en el Ejemplo 2 para formar una realización no limitante de un fijador de acuerdo con esta divulgación.

Ejemplo 8

El lingote que tiene la composición química como en el Ejemplo 1 se lamina en caliente, se temple y se mecaniza como en el Ejemplo 2 para formar un elemento de fijación que tiene un diámetro de aproximadamente 1 pulgada (2,54 cm). El centro del elemento de fijación se mecaniza para proporcionar un orificio de 0,5 pulgadas (1,27 cm) de diámetro. El elemento de fijación a continuación se corta en piezas que tienen un grosor de 0,125 pulgadas (0,318 cm). El elemento de fijación se trata en solución y se envejece como en el Ejemplo 2 para formar una realización no limitante de un elemento de fijación en forma de arandela de acuerdo con esta divulgación.

La presente divulgación se ha redactado con referencia a diversas realizaciones a modo de ejemplo, ilustrativas y no limitantes. Sin embargo, los expertos en la materia reconocerán que pueden realizarse diversas sustituciones, modificaciones o combinaciones de cualquiera de las realizaciones descritas (o partes de las mismas) sin apartarse del alcance de la invención tal como se define únicamente por las reivindicaciones. Por lo tanto, se contempla y se entiende que la presente divulgación abarca realizaciones adicionales no expuestas expresamente en este documento. Dichas realizaciones se pueden obtener, por ejemplo, combinando y/o modificando cualquiera de las etapas, ingredientes, constituyentes, componentes, elementos, características, aspectos y similares descritos, de las realizaciones descritas en este documento. Por lo tanto, esta divulgación no está limitada por la descripción de las diversas realizaciones a modo de ejemplo, ilustrativas, y no limitantes, sino únicamente por las reivindicaciones. De esta manera, se entenderá que las reivindicaciones pueden modificarse durante el procesamiento de la presente solicitud de patente para añadir características a la invención reivindicada tal como se describe de diversas formas en este documento.

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir un elemento de fijación de aleación de titanio que tiene un diámetro de 4,57 mm (0,18 pulgadas) a 31,8 mm (1,25 pulgadas), comprendiendo el método:

5 proporcionar una aleación de titanio alfa/beta que comprende, en porcentaje en peso:
 de 3,9 a 4,5 de aluminio;
 de 2,2 a 3,0 de vanadio;
 10 de 1,2 a 1,8 de hierro;
 de 0,24 a 0,3 de oxígeno;
 hasta 0,08 de carbono;
 hasta 0,05 de nitrógeno;
 15 hasta un total de 0,3 de otros elementos, en donde hasta un total del 0,3 % de otros elementos incluye uno o más de:

menos de 0,005 de cada uno de boro e itrio;
 no más de 0,1 de cada uno de estaño, circonio, molibdeno, cromo, níquel, silicio, cobre, niobio, tántalo,
 20 manganeso y cobalto; y
 el resto de titanio e impurezas inevitables;

laminar en caliente de la aleación de titanio en una fase alfa/beta de la aleación de titanio;
 recocer la aleación de titanio a una temperatura de recocido en un intervalo de 648,9 °C (1200 °F) a 760 °C
 (1400 °F) para un tiempo de recocido en un intervalo de 1 hora a 2 horas;
 25 enfriar al aire la aleación de titanio;
 mecanizar la aleación de titanio a una dimensión predeterminada de un diámetro de 4,57 mm (0,18 pulgadas)
 a 31,8 mm (1,25 pulgadas);
 tratar en solución la aleación de titanio mecanizada en un intervalo de tratamiento en solución de 815,6 °C
 (1500 °F) a 926,7 °C (1700 °F) durante un tiempo de tratamiento en solución en un intervalo de 0,5 horas a 2
 30 horas;
 enfriar la aleación de titanio a una velocidad de enfriamiento de al menos 555,6 °C (1000 °F) por minuto;
 envejecer la aleación de titanio a una temperatura de tratamiento de envejecimiento en un intervalo de
 426,7 °C (800 °F) a 537,8 °C (1000 °F) durante un tiempo de tratamiento en solución en un intervalo de 4
 35 horas a 16 horas; y
 enfriar al aire la aleación de titanio.

2. El método de la reivindicación 1, en el que la aleación de titanio se mecaniza a una dimensión de un diámetro de hasta 19,1 mm (0,75 pulgadas).

40 3. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el laminado en caliente se realiza a una temperatura en el intervalo de 27,8 °C (50 °F) por debajo de una temperatura de transición beta de la aleación de titanio a 333,3 °C (600 °F) por debajo de la temperatura de transición beta de la aleación de titanio.

45 4. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, que comprende además después del laminado en caliente y antes del recocido de la aleación de titanio, estirar en frío la aleación de titanio hasta una reducción en el área de sección transversal inferior al 10 % y recocer.

50 5. El método de la reivindicación 4, que comprende adicionalmente recubrir la aleación de titanio con un lubricante sólido antes del estiramiento.

6. El método de la reivindicación 5, en el que el lubricante sólido es disulfuro de molibdeno.

55 7. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la temperatura de recocido es de 690,6 °C (1275 °F) y el tiempo de recocido es de 1 hora.

8. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la aleación de titanio se recubre antes de mecanizar la aleación de titanio.

60 9. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el enfriamiento después de la etapa de tratamiento en solución comprende uno de enfriamiento con aire, enfriamiento con agua y enfriamiento rápido con agua.

10. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la temperatura de tratamiento en solución es de 876,7 °C (1610 °F) y el enfriamiento de la aleación de titanio comprende el enfriamiento rápido con agua.

65 11. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el envejecimiento de la aleación de titanio comprende el envejecimiento a 454,4 °C (850 °F) durante 10 horas.

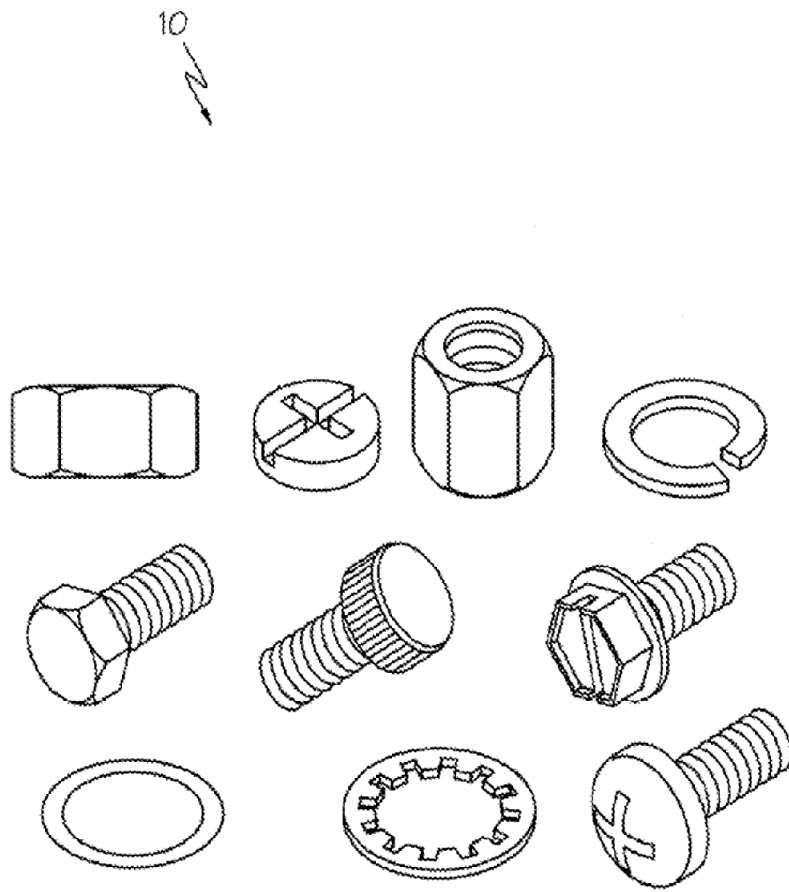


FIG. 1

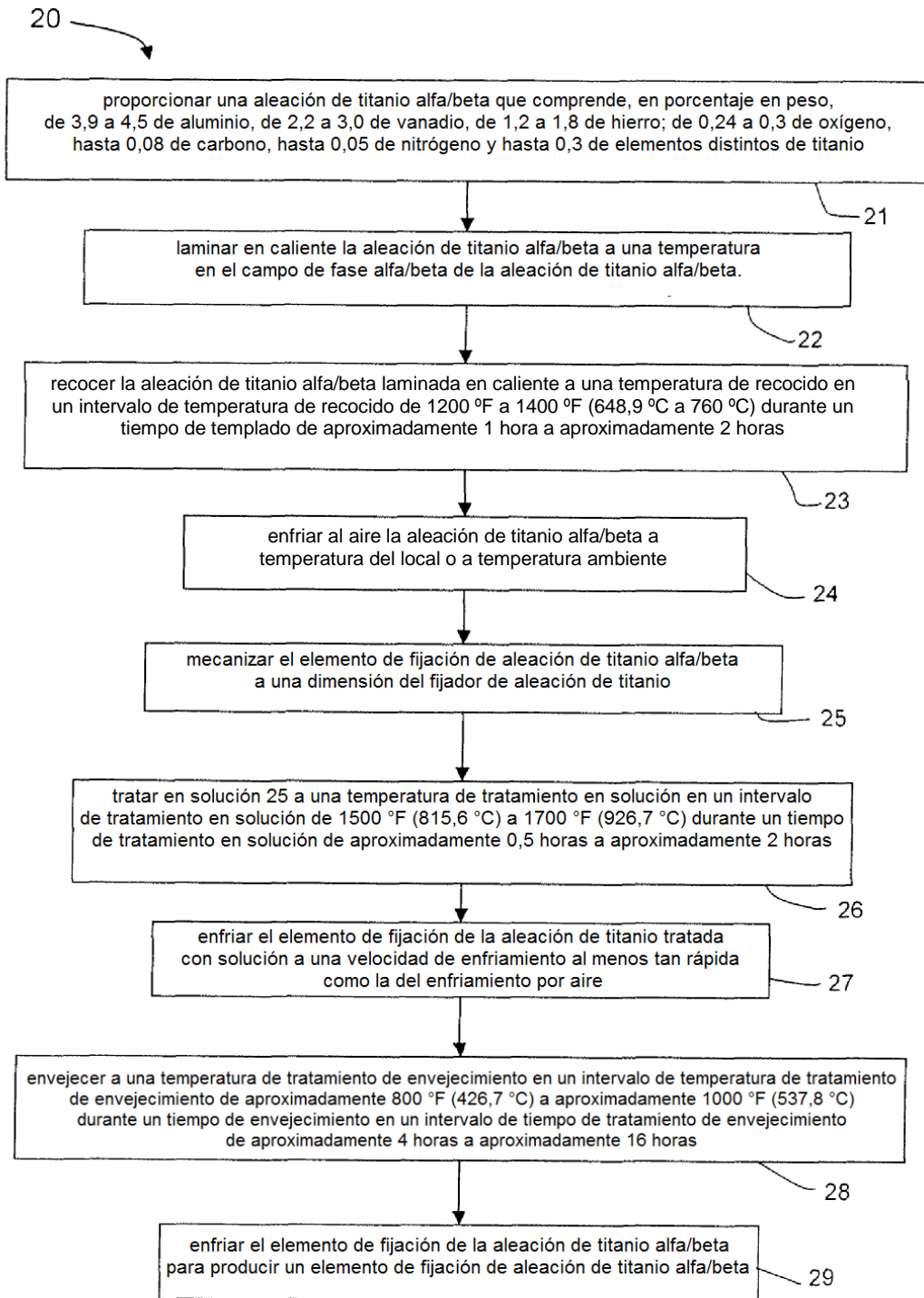


FIG. 2

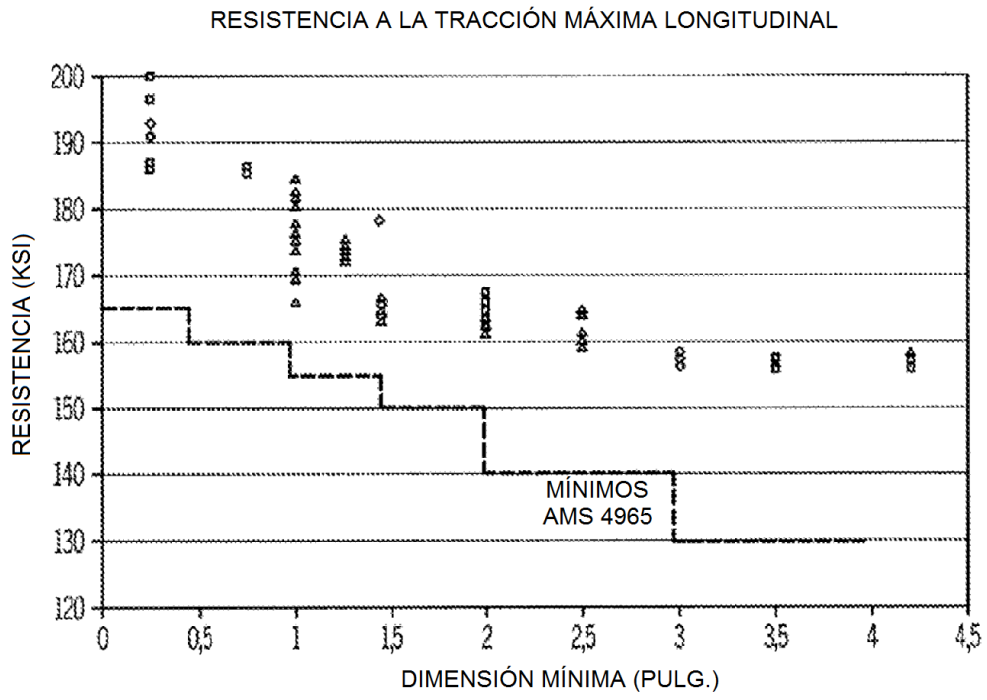


FIG. 3

LÍMITE ELÁSTICO LONGITUDINAL

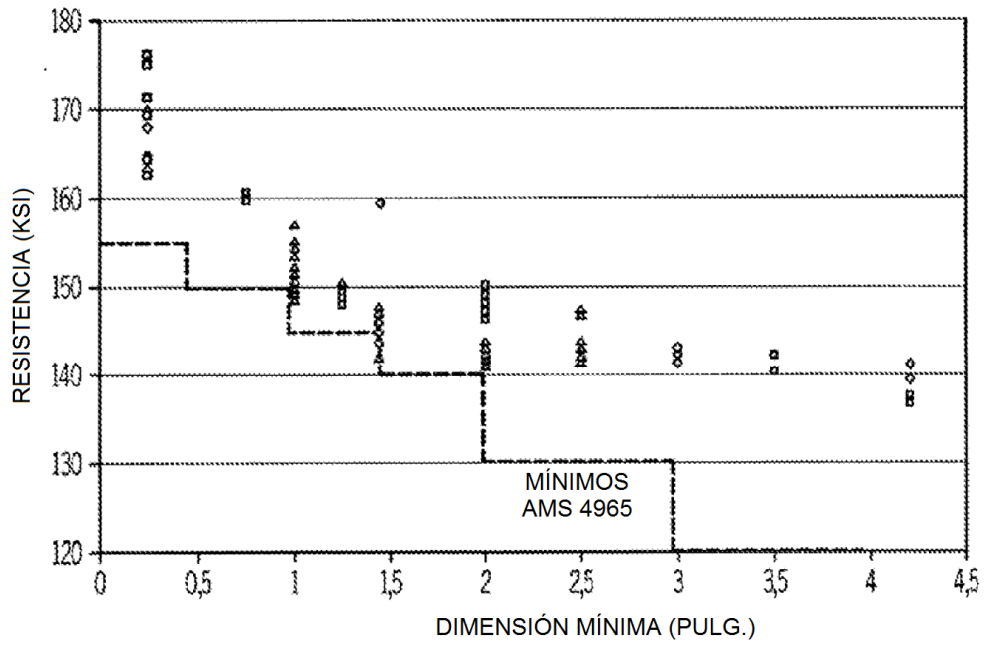


FIG. 4

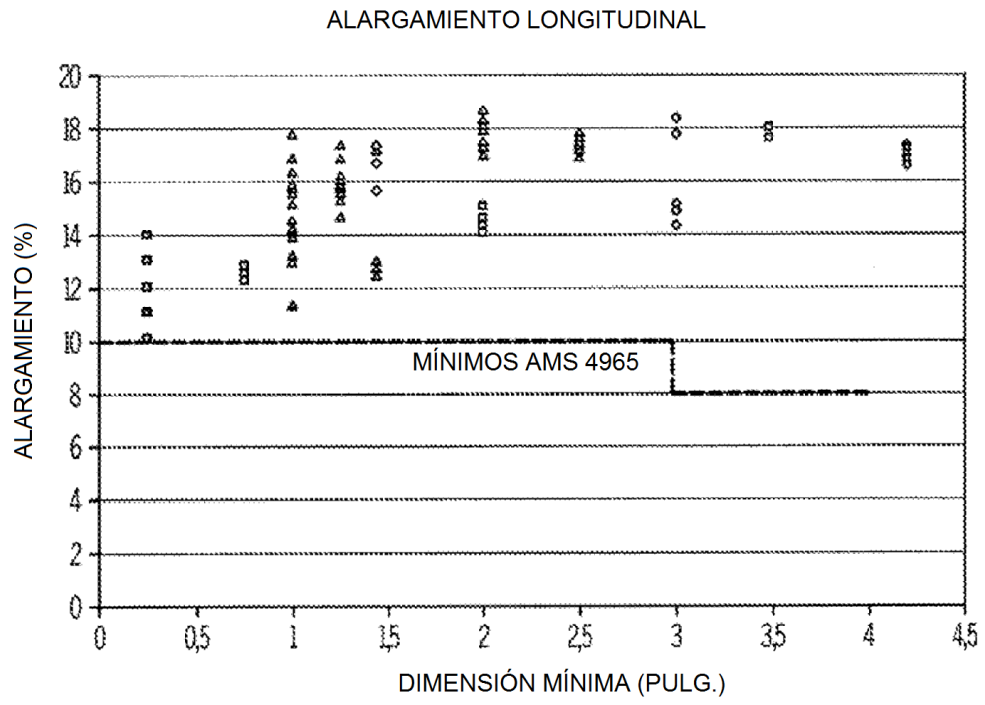


FIG. 5