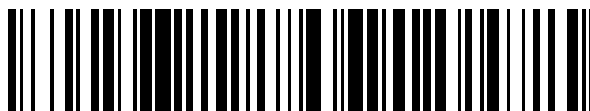


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 961**

51 Int. Cl.:

C22C 14/00 (2006.01)

C22C 1/02 (2006.01)

C22B 9/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.12.2010 PCT/RU2010/000816**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.07.2011 WO11090402**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.12.2010 E 10844080 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.11.2018 EP 2527478**

54 Título: **Aleación secundaria de titanio y el método de su fabricación**

30 Prioridad:

20.01.2010 RU 2010101764

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.05.2019

73 Titular/es:

**PUBLIC STOCK COMPANY "VSMPO-AVISMA CORPORATION" (100.0%)
Ul. Parkovaya 1, Verkhnyaya Salda
Sverdlovskaya obl. 624760, RU**

72 Inventor/es:

**TETYUKHIN, VLADISLAV VALENTINOVICH;
LEVIN, IGOR VASILIEVICH;
PUZAKOV, IGOR JURIEVICH y
TARENKOVA ,NATALIA JURIEVNA**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 711 961 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 secundaria de titanio y el método de su fabricación

Campo de la invención

5 Esta invención se refiere a la producción de aleaciones de titanio α , casi α , y $\alpha + \beta$ con propiedades mecánicas controladas, a saber, resistencia a la rotura (resistencia a la tracción), a partir de materias primas secundarias. Estas aleaciones se utilizan principalmente en la fabricación de material laminado, piezas estructurales y armaduras estructurales para los sectores de defensa y civil.

Estado de la técnica

10 El alto coste del titanio y sus aleaciones, en primer lugar, la esponja de titanio, es un obstáculo importante para la amplia aplicación del titanio. La tendencia futura en cuanto a la eficacia de costes de las aleaciones de titanio se basa en la introducción de residuos reciclables, lo que ayuda a reducir el coste de las aleaciones secundarias en un 30 por ciento y más, al tiempo que se conservan las principales propiedades estructurales inherentes a las aleaciones de titanio.

15 Es un hecho conocido que los costes relacionados con la adquisición de materiales de carga costosos promedian hasta el 90 % de todos los gastos en el coste principal de las aleaciones de titanio. Cada 10 % de residuos introducidos ayuda a reducir el coste de los materiales de carga en un 5-8 %. Cuando se introduce el 10 % de residuos en los materiales de carga por tonelada de lingotes de titanio fundido, se ahorran en promedio 100 kg de esponja y 10 kg de aleaciones maestras (*Titanium*, V. A. Garmata et al., M., *Metallurgy*, 1983 p. 526).

20 El titanio y sus aleaciones se utilizan para fabricar productos semiacabados similares a los fabricados a partir de otros metales y aleaciones comerciales (láminas, tiras, bandas, planchas, forjas, barras, etc.). En consecuencia, todos los tipos de residuos convencionales (sólidos, virutas, recortes de láminas) se generan durante la fabricación de artículos semiacabados y partes terminadas de aleaciones de titanio. La cantidad total de residuos generados anualmente en el curso de la fabricación y aplicación de las aleaciones de titanio es bastante alta y equivale a aproximadamente el 70 % de los materiales de carga utilizados para la fusión, y esta cifra no varía mucho con el tiempo (*Melting and Casting of Titanium Alloys*, A. L. Andreyev, N. F. Anoshkin y otros, M., *Metallurgia*, 1994, pp. 128-135). A diferencia de la mayoría de los metales, la actual introducción de residuos reciclables de titanio en la producción está La patente rusa Ru 2 269 584 describe una aleación de titanio destinada a la fabricación de artículos de alta resistencia y de alta eficacia que adopta la forma de piezas forjadas y estampadas, laminación de plancha delgada y hoja, etc. La aleación descrita contiene 3,5-4,4% Al, 2-4% V, 0,1-0,8% Mo, Fe max. 0,4, O max. 0,25% con el equilibrio siendo Ti.

30 Esta invención toma en consideración el hecho de que las aleaciones de titanio se producen generalmente mediante la aleación de titanio con los siguientes elementos (los valores entre paréntesis son las concentraciones porcentuales en peso máximas de un elemento aleante en las aleaciones comerciales): Al (8), V (16), Mo (30), Mn (8), Sn (13), Zr (10), Cr (10), Cu (3), Fe (5), W (5), Ni (32), Si (0,5); la aleación con Nb (2) y Ta (5) es menos común. La variedad de aleaciones de titanio y las diferentes cantidades producidas hacen que la fusión de aleaciones de titanio secundarias de bajo coste con propiedades de resistencia controladas sea difícil, porque es una práctica común controlar el comportamiento de las aleaciones de titanio, incluidas las propiedades de resistencia por la composición química con estrechos intervalos de elementos de aleación específicos.

Los elementos aleantes se dividen en tres grupos según su influencia en las propiedades de las aleaciones de titanio:

40 - estabilizadores α (Al, O, N y otros) que aumentan la temperatura de transformación $\alpha \leftrightarrow \beta$ y extienden el intervalo de las disoluciones sólidas basadas en titanio α ;

- estabilizadores β : isomorfos (Mo, V, Ni, Ta y otros) que disminuyen la temperatura de transformación $\alpha \leftrightarrow \beta$ y extienden el intervalo de las disoluciones sólidas basadas en titanio β ; y los elementos generadores de eutectoides (Cr, Mn, Cu y otros) que tienden a formar compuestos intermetálicos con el titanio;

45 -elementos neutros (reforzadores) (Zr y Sn) que no tienen influencia significativa sobre la temperatura de beta-transus y no cambian la composición de fase de las aleaciones de titanio.

Un efecto complejo de estos grupos durante la fusión de una aleación con propiedades de diseño está controlado no sólo por la composición cualitativa y cuantitativa de los propios grupos, sino también por la influencia mutua de estos grupos.

50 Para las aleaciones de titanio aleado complejo (con intervalos porcentuales en peso considerables de elementos aleantes), no es correcta la afirmación de que el resultado técnico detrás de la fusión de una aleación con un nivel diseñado de resistencia, ductilidad y estructura está garantizado por la composición cualitativa y cuantitativa de la aleación y que se puede lograr "automáticamente" utilizando una composición similar.

Un conocido prototipo de aleación a base de titanio (JP2006034414A, 09, 02, 2006) se caracteriza por la siguiente composición química, porcentaje en peso:

	Aluminio	1-6,0
	Vanadio	0,1-15,0
	Molibdeno	0,1-11,0
	Cromo	0,1-7,0
5	Hierro	0,1-4,0
	Níquel	0,1-9,0
	Circonio	0,1-10,0
	Nitrógeno, oxígeno, carbono	Impurezas
	Titanio	- Resto

10 Esta aleación es un metal aleado complejo y sus propiedades están controladas por el efecto de aproximadamente 7
 elementos aleantes pertenecientes a tres grupos que influyen en la polimorfia del titanio. El contenido de elementos
 de aleación en esta aleación oscila entre el 0,1% y el 15,0 %. Este prototipo, así como las aleaciones actualmente
 15 conocidas, carecen del control cuantitativo exacto de la composición química de la aleación de titanio en el curso de
 la fusión, es por eso que las combinaciones aleatorias de elementos aleantes con grandes variaciones en las
 cantidades dan lugar a una gran dispersión en el comportamiento de tracción, plástico y estructural dentro de los
 límites de esta aleación. En consecuencia, su aplicación de ingeniería real está limitada a partes no críticas y se
 caracteriza por el uso irracional de elementos de aleación caros. Esto se convierte en un inconveniente crítico, ya que
 la relación del contenido requerido de elementos aleantes en una aleación secundaria y su presencia en los residuos
 reales entran en conflicto. Es por eso que la cantidad máxima de residuos actualmente introducidos en las aleaciones
 20 críticas no excede el 30 %.

Existe un método conocido de fusión de lingotes que incluye la preparación de la carga, es decir, la primera fusión se
 realiza en un horno de autocrisol con formación de charco líquido y la posterior generación de electrodo lingote
 cilíndrico en el molde. Luego de esto, este electrodo lingote se vuelve a fundir en un horno de arco a vacío (patente
 de RF No. 2263721, IPC C22B9/20, publicada el 11 de octubre de 2005)- prototipo. Este método permite la producción
 25 estable de lingotes de calidad. La fusión en autocrisol se utiliza para formar un charco de líquido donde el metal se
 mantiene en una etapa líquida durante bastante tiempo. Esto facilita el mezclamiento de la composición química del
 metal, el refinado de gas y las inclusiones volátiles, al tiempo que las partículas de alta densidad se disuelven o, al
 tener una mayor densidad, se congelan en el fondo del crisol y no llegan a formar parte del lingote fundido. La segunda
 fusión en el horno VAR da como resultado la fusión de lingotes con una estructura densa, de grano fino y homogénea.

30 Este método tiene un inconveniente: la fusión de aleaciones de titanio aleado complejo con un comportamiento de
 resistencia fuertemente controlado es bastante difícil debido a la mezcla impredecible de residuos introducidos en la
 masa fundida que da lugar a una amplia extensión de las características mecánicas y de procesamiento del material.

Descripción de la invención

35 La tarea de esta invención es producir una aleación secundaria de titanio con propiedades de resistencia controladas
 que difieran de las propiedades diseñadas en un 10 % como máximo y con la introducción de hasta un 100 % de
 residuos reciclables de aleaciones de titanio que tienen una composición química arbitraria.

40 Un resultado técnico será la obtención de una aleación secundaria de titanio con resistencia y comportamiento de
 procesamiento estables controlados al tiempo que se usa una amplia gama de residuos de titanio reciclables con
 diferentes composiciones químicas; ahorro de elementos químicos costosos; incremento de la flexibilidad del
 procedimiento para las aleaciones secundarias de titanio.

Dicho resultado para la aleación secundaria de titanio que contiene aluminio, vanadio, molibdeno, cromo, hierro,
 níquel, circonio, nitrógeno, oxígeno, carbono y titanio, y que se utiliza para la producción de material en plancha,
 piezas estructurales y armaduras estructurales, se puede lograr mediante una adición especial de silicio con los
 siguientes porcentajes en peso de los componentes de la aleación:

45	Aluminio	0,01-6,5
	Vanadio	0,01-5,5
	Molibdeno	0,05-2,0
	Cromo	0,01-1,5
	Hierro	0,1-2,5

ES 2 711 961 T3

	Níquel	0,01-0,5
	Circonio	0,01-0,5
	Nitrógeno	≤ 0,07
	Oxígeno	≤ 0,3
5	Carbono	≤ 0,1
	Silicio	0,01-0,25
	Titanio	- resto

Además de eso, se calculan los valores de equivalentes de resistencia de molibdeno $[Mo]_{equiv. resist.}$ y de aluminio $[Al]_{equiv. resist.}$ según las fórmulas:

10
$$[Al]_{equiv. resist.} = Al + Zr/3 + 20 \cdot O + 33 \cdot N + 12 \cdot C + 3,3 \cdot Si, \text{ \% en peso, (1)}$$

$$[Mo]_{equiv. resist.} = Mo + V/1,7 + Ni + Cr/0,8 + Fe/0,7, \text{ \% en peso, (2)}$$

igual a:

- $[Mo]_{equiv. resist.} = 2,1-5,6$; $[Al]_{equiv. resist.} = 6,1-8,83$ para material en plancha;

- $[Mo]_{equiv. resist.} = 2,1-5,6$; $[Al]_{equiv. resist.} = 8,84-12,1$ para piezas estructurales; y

15 - $[Mo]_{equiv. resist.} = 5,7-11$; $[Al]_{equiv. resist.} = 6,1-12,1$ para armadura estructural.

El resultado técnico obtenido se garantiza mediante el procedimiento de fabricación de una aleación secundaria de titanio utilizada para la producción de material en plancha, piezas estructurales y armaduras estructurales. Este procedimiento incluye la preparación de la carga, la fabricación del electrodo consumible seguido de la fusión del electrodo en el horno de arco a vacío. La carga se formula principalmente a partir de residuos reciclables de aleaciones de titanio y se mezcla en función del valor diseñado de la resistencia a la rotura calculado según la siguiente fórmula:

20
$$\sigma^d_B - 235 \leq 60 [Al]_{equiv. resist.} + 50 [Mo]_{equiv. resist.} \text{ [MPa] (3)}$$

en la que

σ^d_B es un valor diseñado de la resistencia a la rotura de la aleación, al tiempo que los equivalentes de resistencia del molibdeno $[Mo]_{equiv. resist.}$ y del aluminio $[Al]_{equiv. resist.}$ se calculan en función de la composición química de los residuos según las siguientes fórmulas:

25
$$[Al]_{equiv. resist.} = Al + Zr/3 + 20 \cdot O + 33 \cdot N + 12 \cdot C + 3,3 \cdot Si, \text{ \% en peso, (1)}$$

$$[Mo]_{equiv. resist.} = Mo + V/1,7 + Ni + Cr/0,8 + Fe/0,7, \text{ \% en peso, (2)}$$

La fusión se realiza para producir la aleación según par. 1.

30 La naturaleza de esta invención se basa en la viabilidad de la producción de aleaciones de titanio con un comportamiento de resistencia estrechamente controlado a partir de una gran variedad de residuos reciclables de titanio que tienen diferentes composiciones químicas de múltiples componentes. La fusión de aleaciones críticas con propiedades controladas requiere estrechos límites en la variedad de elementos aleantes, lo que inevitablemente da lugar a una introducción limitada de residuos en la producción de dichas aleaciones. La discrepancia técnica producida puede ser eliminada por una herramienta que controla la relación de los elementos aleantes dentro de la aleación reivindicada además de la selección óptima de los elementos aleantes.

35 La aleación reivindicada que tiene un equivalente de resistencia de molibdeno casi idéntico (basado en las características económicas, de resistencia y de procesamiento) para el material en plancha y las aleaciones estructurales, se caracteriza por un equivalente de resistencia de aluminio que se sitúa en el intervalo de 6,1 a 8,83 para el material en plancha y en el intervalo de 8,84 a 12,1 para las aleaciones estructurales. La causa de esta limitación radica en el aumento de la aleación de disolución sólida como resultado del aumento de $[Al]_{equiv. resist.}$ que provoca el endurecimiento de la disolución sólida que, a su vez, deteriora la ductilidad de procesamiento. El equivalente de resistencia de aluminio por encima de 8,83 preconditiona el agrietamiento durante la laminación.

Por el contrario, $[Al]_{equiv. resist.}$ en un intervalo de 8,84-12,1 es la herramienta de fortalecimiento más eficaz en aleaciones estructurales que mantiene el nivel aceptable de características de procesamiento.

45 El equivalente de molibdeno de las aleaciones que se usan principalmente para armaduras estructurales es mucho mayor y se sitúa dentro de $[Mo]_{equiv. resist.} = 5,7-11$. Esto se debe a que las aleaciones de titanio con dureza controlada

por aleación tienen una resistencia a las balas mayor y una susceptibilidad a desconchamientos traseros menor que las aleaciones tratadas térmicamente para producir la misma dureza.

5 Para la aplicación de armaduras a prueba de balas, es conveniente utilizar aleaciones de titanio con estructura $\alpha + \beta$ después del recocido, en donde el nivel de propiedades mecánicas se rige por las características de las fases α y β , la heterogeneidad y el tipo de la estructura.

El tratamiento de temple y endurecimiento deteriora el comportamiento antibalas y provoca la susceptibilidad al cizallamiento de tapón de las aleaciones de titanio, lo que se asocia con el endurecimiento máximo de las aleaciones de titanio $\alpha + \beta$ y la disminución brusca de las propiedades plásticas.

10 La química de las aleaciones se selecciona teniendo en cuenta los elementos aleantes disponibles en los residuos reciclables de titanio.

Grupo de α -estabilizadores

15 El aluminio que es el elemento que se usa casi en todas las aleaciones comerciales es el reforzador más eficaz que mejora la resistencia y el comportamiento a alta temperatura del titanio. El contenido convencional de aluminio en la aleación está entre 0,01 y 6,5 %. El aumento de aluminio por encima del 6,5 % conduce a una disminución indeseable de la ductilidad.

20 El nitrógeno, el oxígeno y el carbono aumentan la temperatura de transformación alotrópica del titanio y están presentes principalmente como impurezas en las aleaciones comerciales de titanio. El impacto de estas impurezas en el comportamiento de la aleación de titanio es tan sustancial que se debe tener en cuenta específicamente durante el cálculo de la fórmula de mezcla con el fin de obtener propiedades mecánicas dentro de los límites requeridos. La presencia de nitrógeno $\leq 0,07$ %, oxígeno $\leq 0,3$ % y carbono $\leq 0,1$ % no tiene un efecto significativo en la disminución de la estabilidad térmica, la resistencia a la fluencia y la resistencia al impacto de la aleación.

Grupo de fortalecedores neutros

25 El circonio se está utilizando como elemento aleante últimamente. El circonio forma una amplia gama de disoluciones sólidas con titanio α , tiene un punto de fusión y densidad similares, y potencia la resistencia a la corrosión. La microaleación con circonio en un intervalo de 0,01-0,5 % da como resultado una buena combinación de alta resistencia y ductilidad en piezas forjadas pesadas y troqueladas, y también en productos semiacabados ligeros (barra, plancha, placa) y permite trabajar en frío y en caliente con la relación desconcertante de hasta el 60 %.

Grupo de β -estabilizadores que se utilizan ampliamente en aleaciones comerciales (V, Mo, Cr, Fe, Ni y Si)

30 El vanadio y el hierro son elementos β -estabilizadores que aumentan la resistencia de la aleación al tiempo que mantienen su ductilidad casi al mismo nivel. El contenido de vanadio en la aleación reivindicada en comparación con el prototipo se desplaza hacia abajo en el intervalo de concentraciones más pequeñas entre 0,01 y 5,5 %. Eso permite la introducción de diferentes mezclas de residuos de titanio. El contenido de vanadio por encima del 5,5 % deteriora indeseablemente la ductilidad.

35 Cuando el contenido de hierro es inferior al 0,1 %, su efecto no es suficiente, mientras que un aumento de su contenido superior al 2,5 % da lugar a una disminución indeseable de la ductilidad de la aleación.

La aleación reivindicada tiene una pequeña cantidad de cromo β -estabilizador que también contribuye al aumento de la resistencia de la aleación. Cuando el contenido de cromo es inferior al 0,01 %, su efecto no es suficiente, mientras que su límite superior del 1,5 % está precondicionado por el contenido de cromo en los residuos de titanio.

40 La adición de molibdeno dentro del intervalo 0,05-2,0 % garantiza su solubilidad total en la fase α , lo que ayuda a obtener el comportamiento de resistencia requerido sin el deterioro de las propiedades plásticas. Cuando el molibdeno supera el 2,0 %, la densidad específica de la aleación aumenta porque el molibdeno es un metal pesado y esto da lugar a la disminución de las propiedades plásticas de la aleación.

45 La aleación reivindicada contiene adición de níquel. Un mayor contenido de aluminio y vanadio potencia la resistencia a la corrosión y erosión de la aleación en un ambiente con un flujo dirigido de gas corrosivo. La presencia de níquel también aumenta la resistencia a la corrosión. Cuando el níquel está por debajo del 0,01 %, su efecto no es suficiente, mientras que el límite superior del 0,5 % está determinado por el contenido de níquel en una esponja de titanio de baja calidad.

50 A diferencia del prototipo, esta aleación se añade con un β -estabilizador más: el silicio, que en sus límites descritos es completamente soluble en la fase α y garantiza el endurecimiento de la disolución sólida α y la generación de una pequeña cantidad (hasta del 5 %) de fase β en la aleación. Además, las adiciones de silicio aumentan la resistencia al calor de esta aleación.

La principal diferencia con el prototipo radica en el hecho de que la invención propuesta permite obtener características de resistencia controlada de aleaciones secundarias de titanio con alta precisión mediante la selección flexible de

cantidades de elementos aleantes en función de su presencia en residuos de diferentes calidades de aleaciones de titanio.

5 Esta invención se basa en la posibilidad de dividir los efectos del endurecimiento de la aleación de titanio mediante la aleación con estabilizadores α y reforzadores neutros y mediante la adición de estabilizadores β . Esta posibilidad está justificada por las siguientes consideraciones. Los elementos equivalentes al aluminio endurecen las aleaciones de titanio principalmente mediante el fortalecimiento de la disolución, mientras que los estabilizadores β endurecen las aleaciones de titanio por el aumento de la cantidad de la fase β que es más fuerte.

10 El cálculo del equivalente de resistencia de aluminio se basó en la eficacia del 1 % (en peso) añadido de α -estabilizadores y reforzadores neutros disueltos. Las adiciones de silicio también se tienen en cuenta en la presente memoria porque, aunque tienen poco impacto en la cantidad de fase β , la hacen bastante fuerte. El aumento de la resistencia a la rotura de las aleaciones de titanio producida por la adición del 1 % (peso) de elementos aleantes se consideró igual a: Al-60, Zr-20, Si-200, O-1.250, N-2.000 y C-700 MPa/%.

15 Por consiguiente, el equivalente de resistencia de molibdeno se calculó en función de la eficacia del 1 % (en peso) añadido de los β -estabilizadores disueltos. El aumento de la resistencia a la rotura de las aleaciones de titanio producida por la adición del 1% (peso) de elementos aleantes se consideró igual a: Mo-50, V-30, Cr-65, Fe-70 y Ni-50 MPa/%.

Ahora los equivalentes de resistencia de aluminio y molibdeno se pueden presentar como fórmulas (1) y (2) de manera correspondiente.

20 La selección de la composición química de los materiales de carga para la fusión de lingotes se basa en el valor requerido de resistencia a la rotura de la aleación y es definida por la relación (3). Después de eso, los equivalentes de molibdeno y aluminio se calculan en función de la composición química de los residuos, seguido de un cálculo de fórmula mezclada dentro de $[Al]_{\text{equiv. resist.}}$ y $[Mo]_{\text{equiv. resist.}}$ y la fusión de los lingotes.

El cambio de la relación de equivalentes de resistencia de aluminio y molibdeno facilita el control flexible de la resistencia y del comportamiento de procesamiento de la aleación dentro de los límites de su composición química.

25 Ejercicio de la invención

Ejemplo 1, artículos para aplicación estructural (placa, forja, troquelado)

30 Se fundieron 16 aleaciones de diferentes composiciones químicas mediante arco doble a vacío para ensayos de la aleación reivindicada (lingotes de 23 kg). Las propiedades de tracción predecibles en la condición de recocido que corresponden a las propiedades de tracción de las aleaciones estructurales más comúnmente utilizadas del grupo Ti-6Al-4V se utilizaron como base para los cálculos de fórmulas de mezcla. Los lingotes se fundieron doblemente con la introducción de residuos disponibles que alcanzaron el 50 %. Estos lingotes se sometieron a forja y laminación para producir barras de 30-32 mm de diámetro. La composición química de las aleaciones se proporciona en la Tabla 1,

Tabla 1

Nº. de composición química	C	N	O	Al	V	Fe	Mo	Ni	Si	Zr	Cr
1	0,017	0,003	0,21	5,83	4,08	0,46	0,1	0,019	0,013	0,01	0,072
2	0,037	0,003	0,21	5,81	4,03	0,47	0,11	0,017	0,012	0,06	0,07
3	0,017	0,004	0,23	6,46	4,14	0,48	0,1	0,018	0,012	0,01	0,073
4	0,017	0,004	0,21	5,2	4,15	0,51	0,1	0,019	0,013	0,01	0,073
5	0,016	0,004	0,22	5,96	4,75	0,51	0,1	0,019	0,012	0,01	0,073
6	0,017	0,004	0,22	5,82	3,58	0,49	0,1	0,019	0,011	0,01	0,072
7	0,015	0,004	0,22	5,82	4,04	0,81	0,1	0,019	0,012	0,01	0,069
8	0,015	0,004	0,186	5,84	3,98	0,2	0,11	0,017	0,0096	0,01	0,07
9	0,017	0,004	0,22	5,92	4,1	0,45	0,53	0,017	0,01	0,01	0,07
10	0,014	0,004	0,193	5,86	3,98	0,46	0,059	0,017	0,0072	0,01	0,072
11	0,014	0,004	0,178	6	3,87	0,56	0,097	0,016	0,01	0,01	0,15

ES 2 711 961 T3

12	0,016	0,004	0,22	6	4,02	0,54	0,11	0,018	0,01	0,01	0,026
13	0,014	0,004	0,2	5,2	4,02	0,48	0,11	0,016	0,013	0,01	0,078
14	0,015	0,004	0,164	5,82	4,08	0,49	0,11	0,016	0,012	0,01	0,074
15	0,018	0,004	0,174	6,06	4,22	0,57	0,1	0,016	0,013	0,01	0,08
16	0,008	0,006	0,179	6,05	4,11	0,54	0,098	0,016	0,012	0,01	0,075

Las barras se sometieron a ensayo de tracción después del recocido (730 °C, remojo 1 h, enfriamiento por aire). Los equivalentes de resistencia, la resistencia a la rotura real y calculada, así como el alargamiento se proporcionan en la Tabla 2.

5

Tabla 2

Nº. de composición química	[Al] _{equiv. resist.}	[Mo] _{equiv. resist.}	Resistencia [MPa]		Alargamiento δ, %	Reducción de área ψ, %
			Real σ _B	Calculada σ _B ^c		
1	10,178	3,266	1002,0	1009,0	21,1	54,3
2	10,613	3,257	1028,7	1034,6	21,9	55,7
3	11,738	3,332	1076,3	1105,8	20,8	51,8
4	9,781	3,380	979,0	990,9	20,9	53,4
5	10,726	3,732	1002,0	1065,2	22,0	58,6
6	10,595	3,015	995,0	1021,4	22,3	57,0
7	10,574	3,739	1015,0	1056,4	21,6	55,5
8	9,906	2,841	1002,0	971,4	19,1	47,3
9	10,691	3,689	996,0	1060,9	21,1	55,0
10	10,054	3,164	976,7	996,5	20,5	56,2
11	9,895	3,377	969,3	997,5	20,4	56,7
12	10,759	3,297	1013,3	1045,4	21,7	51,0
13	9,545	3,276	1013,3	971,5	21,1	51,4
14	9,454	3,320	971,0	968,2	21,2	50,6
15	9,933	3,513	984,0	1006,6	21,1	54,7
16	9,966	3,397	995,7	1002,8	22,5	51,3
Requisitos VT6ch (BT6u) (bares)			900 – 1.050		≥ 10	≥ 30

Como se muestra en la Tabla 2, la aleación rentable desarrollada se caracteriza por el nivel de resistencia, el alargamiento y la reducción de área similares a la de la aleación Ti-6Al-4V.

Ejemplo 2, Material de plancha

Se seleccionaron varias composiciones químicas basadas en los residuos disponibles para los valores de resistencia diseñados. Las aleaciones se fundieron dos veces: una vez en un horno de autocrisol por arco a vacío, la segunda en un horno por arco a vacío, y luego se sometió a laminación para formar una plancha de 2 mm de espesor con recocido posterior.

5

Los valores de resistencia requeridos en tres aplicaciones diferentes fueron 860, 880 y 980 MPa, de manera correspondiente.

La carga fue formulada según el esquema anterior; los resultados se proporcionan en la Tabla 3.

Tabla 3

Nº. de composición química	Nivel de resistencia requerido, MPa	Equivalentes seleccionados	Mezcla de materiales de carga que mantiene la relación requerida de equivalentes
1	860	[Al] _{equiv. resist.} = 7,72 [Mo] _{equiv. resist.} = 3,28	Esponja de titanio, TG-90 30,4 % Residuos de aleación Ti-6Al-4V 45,6 % Residuos de aleación Ti-10V-2Fe-3Al 22,8 % Residuos de aleación VST5553 0,9 % Al 0,2 %
2	880	[Al] _{equiv. resist.} = 7,94 [Mo] _{equiv. resist.} = 3,38	Esponja de titanio, TG-90 35,9 % Residuos de aleación Ti-6Al-4V 36,0 % Residuos de aleación Ti-10V-2Fe-3Al 26,9 % Residuos de aleación VST5553 1,1 % Al 0,3 %
3	980	[Al] _{equiv. resist.} = 8,28 [Mo] _{equiv. resist.} = 4,5	Esponja de titanio, TG-TV 48,3 % Residuos de aleación Ti-6Al-4V 43,3 % Residuos de aleación Ti-10V-2Fe-3Al 3,6 % Residuos de aleación VST5553 1,4 % Aleación maestra V-Al 2,8 % Al 0,4 %

ES 2 711 961 T3

La composición química de aleación se proporciona en la Tabla 4.

Tabla 4

Nº. de composición química	C	N	O	Al	V	Fe	Mo	Ni	Si	Zr	Cr
1	0,014	0,006	0,17	3,9	4,1	0,6	0,07	0,02	0,015	0,02	0,05
2	0,015	0,012	0,19	3,5	4,1	0,5	0,06	0,015	0,013	0,05	0,14
3	0,013	0,006	0,2	4,2	4,3	1,1	0,08	0,07	0,012	0,05	0,20

Las propiedades mecánicas de las muestras obtenidas se proporcionan en la Tabla 5.

5

Tabla 5

Resistencia a la tracción, σ_B [MPa]	Resistencia a la fluencia, $\sigma_{0,2}$ [MPa]	Alargamiento δ , %	Reducción de área Ψ , %
871,5	824,0	23,8	57,9
890,1	838,2	24,5	56,2
975,2	906,1	21,7	54,5

Ejemplo 3, Armadura estructural (placas de armadura articuladas para protección de vehículos)

10

Los lingotes de ensayo que pesaban 23 kg cada uno se fundieron para producir material en plancha para su aplicación en armaduras. Los lingotes fueron producidos por doble fusión. Los siguientes materiales se utilizaron como materiales de carga para la fusión de los lingotes: esponja de titanio de calidad TG-TV, residuos de aleación VST5553, residuos de aleación Ti-10V-2Fe-3Al. La relación de los materiales de carga utilizados para la fusión de lingotes se proporciona en la Tabla 6.

Tabla 6

Nº. de composición química	Nivel de resistencia requerido, MPa	Equivalentes seleccionados	Mezcla de materiales de carga que mantiene la relación requerida de equivalentes
1	1.160	$[Mo]_{\text{equiv. resist.}} = 8,6$ $[Al]_{\text{equiv. resist.}} = 8,3$	Esponja de titanio, TG-TV 35 % Residuos de aleación VST5553 40 % Residuos de aleación Ti-10V-2Fe-3Al 25 %
2	1.060	$[Mo]_{\text{equiv. resist.}} = 5,7$ $[Al]_{\text{equiv. resist.}} = 9,3$	Esponja de titanio, TG-TV 60 % Residuos de aleación VST5553 10 % Residuos de aleación Ti-10V-2Fe-3Al 30 %

ES 2 711 961 T3

La composición química de aleación se proporciona en la Tabla 7.

Tabla 7

Nº. de composición química	Porcentaje en peso de elementos, %										
	C	N	O	Al	V	Fe	Mo	Ni	Si	Cr	Zr
1	0,013	0,012	0,21	3,5	4,11	1,16	2,0	0,70	0,024	1,42	0,015
2	0,015	0,008	0,24	4,0	3,55	1,74	0,39	0,11	0,026	0,50	0,020

5 Las propiedades mecánicas de las aleaciones nº. 1 y nº. 2 sometidas a ensayo en una lámina de 6 mm de espesor se indican en la Tabla 8.

Tabla 8

Nº. de composición química	Resistencia a la fluencia, σ_B , MPa	Resistencia a la tracción, $\sigma_{0,2}$, MPa	Resistencia a la tracción, $\sigma_{0,2}$, MPa	Resistencia a la fluencia, σ_B , MPa	Alargamiento, δ , %	Reducción de área, Ψ , %	KCU $\text{Kg}^2\text{m}/\text{Sm}^2$
1	1147	1077	1077	1147	16,19	48,32	5,2
2	1.068	1.012	1012	1068	15,19	44,02	5,7

10 Como se puede observar en los ejemplos anteriores, la fabricación de aleaciones secundarias de bajo coste frente a esta invención ayuda a resolver el problema de la introducción de una amplia gama de residuos reciclables de aleaciones de titanio en la producción, caracterizándose el producto terminado por el procesamiento y el comportamiento estructural diseñados. Por lo tanto, esta invención proporciona una alta eficacia del uso industrial.

15 Cabe señalar que esta descripción contiene sólo aquellos aspectos de la invención que son necesarios para su clara comprensión. Algunos aspectos que son obvios para los destinatarios en esta técnica y, por lo tanto, de ninguna ayuda en la comprensión de esta invención, no se describieron en la presente memoria con el fin de abreviar la descripción. A pesar del hecho de que varias opciones de realización para esta invención se describieron en la presente memoria, quedaría claro para un destinatario después del estudio de esta descripción que podría haber muchas modificaciones y enmiendas a la misma. Todas las modificaciones y enmiendas a esta invención se considerarán incluidas dentro del alcance de la descripción anterior y la reivindicación anexa.

REIVINDICACIONES

1. Una aleación secundaria de titanio que contiene aluminio, vanadio, molibdeno, cromo, hierro, níquel, circonio, nitrógeno, oxígeno, carbono y titanio, y que se utiliza para la producción de material en plancha, piezas estructurales y armaduras estructurales, es también destacable por las adiciones de silicio. A continuación, los porcentajes en peso de sus componentes:

5	Aluminio	0,01-6,5
	Vanadio	0,01-5,5
	Molibdeno	0,05-2,0
	Cromo	0,01-1,5
10	Hierro	0,1-2,5
	Níquel	0,01-0,5
	Circonio	0,01-0,5
	Nitrógeno	≤ 0,07
	Oxígeno	≤ 0,3
15	Carbono	≤ 0,1
	Silicio	0,01-0,25
	Titanio	- resto

Al mismo tiempo se calculan los valores de equivalentes de resistencia de molibdeno $[Mo]_{equiv. resist.}$ y de aluminio $[Al]_{equiv. resist.}$ según las fórmulas:

20
$$[Al]_{equiv. resist.} = Al + Zr/3 + 20 \cdot O + 33 \cdot N + 12 \cdot C + 3,3 \cdot Si, \% \text{ en peso, (1)}$$

$$[Mo]_{equiv. resist.} = Mo + V/1,7 + Ni + Cr/0,8 + Fe/0,7, \% \text{ en peso, (2)}$$

igual a:

- $[Mo]_{equiv. resist.} = 2,1-5,6$; $[Al]_{equiv. resist.} = 6,1-8,83$ para material en plancha;
- $[Mo]_{equiv. resist.} = 2,1-5,6$; $[Al]_{equiv. resist.} = 8,84-12,1$ para piezas estructurales; y
- 25 - $[Mo]_{equiv. resist.} = 5,7-11$; $[Al]_{equiv. resist.} = 6,1-12,1$ para armadura estructural.

2. Un procedimiento de fabricación de una aleación secundaria de titanio de acuerdo con la reivindicación 1, para la posterior producción de material en plancha, piezas estructurales y armaduras estructurales, que consiste en la preparación de la carga, la fabricación del electrodo consumible con su posterior fusión en un horno de arco a vacío, y se distingue por el hecho de que los material de carga están hechos a partir de residuos de aleaciones de titanio y formulados en función del valor diseñado de la resistencia a la tracción última calculada según la siguiente fórmula:

30
$$\sigma^d_B - 235 \leq 60 [Al]_{equiv. resist.} + 50 [Mo]_{equiv. resist.} \text{ [MPa] (3),}$$

en la que

σ^d_B es un valor diseñado de la resistencia a la rotura de la aleación, calculándose los equivalentes de resistencia de molibdeno $[Mo]_{equiv. resist.}$ y de aluminio $[Al]_{equiv. resist.}$ en función de la composición química de los residuos según las siguientes fórmulas:

35
$$[Al]_{equiv. resist.} = Al + Zr/3 + 20 \cdot O + 33 \cdot N + 12 \cdot C + 3,3 \cdot Si, \% \text{ en peso,}$$

$$[Mo]_{equiv. resist.} = Mo + V/1,7 + Ni + Cr/0,8 + Fe/0,7, \% \text{ en peso.}$$