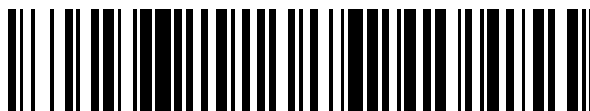


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 431 073**

51 Int. Cl.:

**C22C 14/00** (2006.01)

**B21B 1/16** (2006.01)

**B22F 3/02** (2006.01)

**B23K 35/32** (2006.01)

**C22F 1/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2010 E 10779344 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2013 EP 2491155**

54 Título: **Procedimiento para la producción de alambre de soldadura de titanio**

30 Prioridad:

**23.10.2009 GB 0918677**

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

**25.11.2013**

73 Titular/es:

**NORSK TITANIUM COMPONENTS AS (100.0%)  
Sommerrogaten 13-15  
0255 Oslo, NO**

72 Inventor/es:

**DRING, KEVIN**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

**ES 2 431 073 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

Procedimiento para la producción de alambre de soldadura de titanio.

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un procedimiento para producir un alambre de titanio soldable por compactación en frío, extrusión y laminación de esponja de titanio, caracterizado porque la consolidación y el conformado se llevan a cabo enteramente en estado sólido, sin fusión ni encapsulación de las partículas de esponja de titanio.

10

**Introducción**

El titanio y sus aleaciones presentan unas excelentes propiedades mecánicas y una resistencia a la corrosión incomparable. Actualmente, el titanio metálico se obtiene por el proceso de Kroll (patente US nº 2.205.854), en el que se hace reaccionar tetracloruro de titanio ( $\text{TiCl}_4$ ) con magnesio metálico fundido dentro de un gran retorta de acero. Una masa esponjosa de titanio poroso -denominada "esponja"- permanece en la retorta tras la posterior destilación al vacío a  $1.000^\circ\text{C}$  para eliminar el exceso de magnesio y el subproducto de cloruro de magnesio. Dicha masa esponjosa debe extraerse por la fuerza, ya que el titanio se adhiere a las paredes de la retorta. A continuación, la esponja se cizalla y tritura, y posteriormente se tamiza a fin de obtener la fracción granulométrica deseada, típicamente con un tamaño comprendido entre 3 mm y 25 mm.

Estas partículas de esponja se mezclan con adiciones de aleación, tales como Al, V, Fe,  $\text{TiO}_2$ , Mo, Cr, etc., a fin de obtener una mezcla de aleación de titanio. Estas mezclas se funden mediante un haz de electrones, una antorcha de plasma o en arco de vacío a fin de producir lingotes grandes de hasta 1,5 m de diámetro y un peso de hasta 25 toneladas. Esta etapa de procesamiento es costosa y además, debido a la segregación durante la solidificación, muchos elementos deben mantenerse dentro de límites estrictamente controlados. Los lingotes se calientan a temperatura elevada, a la que típicamente se forjan y se laminan en diversas operaciones de procesamiento a fin de refinar la microestructura y reducir el área de sección transversal a formas de productos habituales, tales como tochos, barras y placas. Se analizaron los costes asociados a la producción de una placa de Ti de 25,4 mm (1 ") de espesor, y se determinó que aproximadamente el 40% correspondía a la materia prima de esponja, pero el 60% correspondía a las operaciones posteriores de fusión y laminación.

Con frecuencia, el elevado coste de producción de los componentes acabados de titanio es consecuencia del intenso mecanizado que se suele aplicar a dichos productos laminados para obtener una geometría final compleja. Las técnicas de fabricación por adición minimizan los residuos de mecanizado mediante la conformación secuencial de un componente complejo a partir de un material de alimentación sencillo, tal como polvo de titanio o alambre de soldadura. El coste de las materias primas en polvo resulta prohibitivo excepto para las aplicaciones más extrañas debido a las dificultades que supone el manejo de un material reactivo finamente dividido y a la consiguiente contaminación por oxígeno. Por ello, el alambre de titanio ha atraído una atención significativa como la materia prima más prometedora.

Típicamente, para producir alambre de titanio convencional, las barras obtenidas del modo anterior se laminan hasta un diámetro inferior a 10 mm y se estiran hasta su tamaño final, que habitualmente está comprendido entre 1 mm y 3 mm para las aplicaciones automatizadas de soldadura. Teniendo en cuenta las pérdidas de rendimiento durante la manipulación posterior, el aumento del coste en la conversión de esponja de Ti en barras y posteriormente un alambre de soldadura representa la mayor parte del coste total de producción del alambre.

Los métodos alternativos para obtener un producto final de titanio soldable producido mediante un procesamiento en estado sólido, como la utilización de compactación de polvo y sinterización de la esponja de titanio antes del trabajo en caliente, tal como se describe en la solicitud de patente europea EP 1375690 A1 (sin fusión intermedia), no han solucionado los problemas de alimentación de los particulados de esponja porosos y de forma irregular. Por consiguiente, el procesamiento en estado no fundido ha exigido la sustitución de la esponja de titanio de Kroll fácilmente disponible por otros particulados de titanio.

La patente US nº 7 311 873 da a conocer un procedimiento para la producción de placas a partir de polvo fino o partículas a partir del proceso de Hunter (reducción de  $\text{TiCl}_4$  con sodio), aunque los costes de producción de los polvos de titanio y del proceso de Hunter son inferiores a los del proceso de Kroll y, para este último, únicamente el 4% de la esponja de titanio tiene el tamaño y la forma de partícula apropiados.

DuPont produjo titanio electrolíticamente [1], que posteriormente se laminaba en placas. La naturaleza dendrítica del producto obtenido electrolíticamente daba lugar a un elevado arrastre de sal, lo que hacía que el material no fuera soldable y presentara unas propiedades mecánicas escasas.

Más recientemente, se ha investigado la hidrogenación de esponja de titanio como medios sencillos para producir polvos de titanio. Aunque el material de partida es esponja de Kroll dúctil, el hidruro de titanio resultante es un material frágil que se puede triturar fácilmente hasta el tamaño de partícula deseado. El hidruro de titanio se ha

compactado con éxito y, tras una sinterización en vacío a temperatura elevada con el fin de densificar y eliminar el hidrógeno del titanio, se obtiene un tocho que posteriormente se puede trabajar del mismo modo que el titanio convencional [2]. El proceso de sinterización al vacío es económicamente prohibitivo y la contaminación residual de hidrógeno, el crecimiento de grano a cierta temperatura y la absorción de oxígeno limitan una mayor aplicación.

Se puso de manifiesto que la extrusión directa de titanio HDH (hidruro deshidrogenado) producía un producto de densidad de aproximadamente 100% [3] a la vez que se eliminaba la necesidad del prensado isostático en caliente, habitualmente necesario para los componentes metalúrgicos de polvo de titanio. Sin embargo, eran necesarios dos procesos de precompactación, uno de los cuales era un prensado isostático en frío, lo que plantea problemas con respecto a la escalabilidad de tales procesos, además del elevado contenido de oxígeno del material de partida.

Tal como se ha ilustrado anteriormente, los intentos de utilizar materias primas alternativas resultan obstaculizados por la limitada disponibilidad y los costes más elevados de estos materiales, y por las propiedades inaceptables de los productos finales.

En consecuencia, los beneficios intrínsecos de los procesos de fabricación por adición son anulados por la ausencia de un material de partida económico.

### Objetivo de la invención

El objetivo principal de la presente invención consiste en proporcionar un procedimiento para la producción de materia prima de alambre de titanio o aleación de titanio de una manera que requiera sustancialmente menos etapas de procesamiento y proporcione mayor flexibilidad a la composición de alambre final.

Otro objetivo de la presente invención consiste en proporcionar un procedimiento para la producción de alambre soldable de titanio o aleación de titanio que, cuando se funde y se integre en un componente aplicando fabricación por adición, presente una composición química y unas propiedades mecánicas comparables al alambre de soldadura convencional.

### Descripción de la invención

La presente invención se basa en la comprensión de que los problemas anteriores se pueden reducir mediante la formación de un alambre soldable de titanio producido a partir de esponja de titanio mediante su procesamiento únicamente en estado sólido, sin que ninguno de los constituyentes experimente ninguna fusión en ningún momento del procesamiento.

Así, en un primer aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento para producir un alambre o tira soldables de titanio o aleación de titanio, en el que dicho procedimiento comprende:

- colocar una o más partículas de esponja de titanio en la cámara de una prensa uniaxial,
- compactar en frío la muestra de material en partículas en atmósfera de aire ambiente para formar un tocho,
- calentar el tocho hasta una temperatura comprendida dentro del intervalo 400°C - 1.000°C,
- colocar el tocho caliente dentro de la matriz de una prensa de extrusión en caliente precalentada y extrudir una barra o perfil del tocho a una temperatura comprendida dentro del intervalo de 400°C - 1.000°C,
- eliminar los contaminantes de la superficie de la barra o perfil extrudidos, y
- colocar la barra o perfil extrudidos en un tren de laminación con uno o más rodillos dispuestos en serie a fin de formar la tira o alambre soldable con el diámetro deseado.

La presente invención describe un procedimiento y un producto derivado de la utilización de esponja de titanio disponible comercialmente, es decir, esponja de titanio de Kroll, sin ninguna modificación previa de las partículas de esponja, para producir materia prima de alambre de titanio de una manera que requiere sustancialmente menos etapas de procesamiento y proporciona mayor flexibilidad a la composición final de alambre. Además, la presente invención produce un alambre soldable que, cuando se funde y se integra en un componente aplicando la fabricación por adición, presenta una composición química y unas propiedades mecánicas comparables a las del alambre de soldadura convencional.

La presente invención puede utilizar cualquier esponja de titanio conocida, y las partículas de esponja de titanio pueden obtenerse ventajosamente por trituración y cizallamiento de trozos más grandes de esponja de titanio. Las partículas pueden presentar una fracción granulométrica en cualquier intervalo, empezando por una de 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm y 5 mm y terminando con una de 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm, 65 mm, 70 mm, 75 mm, 80 mm, 85 mm, 90 mm, 95 mm y 100 mm. Los intervalos preferentes

son una fracción granulométrica de 1 mm - 100 mm, de 2 mm - 50 mm y de 3 mm - 25 mm. El término "fracción granulométrica" de un intervalo especificado, tal como se utiliza en la presente memoria, se refiere al tamaño de malla de una rejilla que se utiliza para clasificar las partículas, de tal modo que una fracción granulométrica con un intervalo de entre 1 mm y 100 mm debe apreciarse como partículas con un tamaño lo suficientemente grande como para no pasar a través de una rejilla con un tamaño de malla de 1 mm, pero lo suficientemente pequeño como para pasar a través de una rejilla con un tamaño de malla de 100 mm. Un ejemplo de esponja adecuada es una esponja de titanio baja en magnesio, destilada al vacío, que cumple con las especificaciones de la norma ASTM B299 - 07 [4]. Dicha esponja tiene la ventaja de presentar una elevada disponibilidad comercial y niveles bajos de impurezas residuales. Con esponja de titanio de esta calidad disponible comercialmente, el procedimiento según la presente invención puede obtener alambres de titanio que contienen menos de 2.500 ppm de oxígeno, 300 ppm de N, 800 ppm de C y 150 ppm de H.

La compactación en frío de la esponja de titanio se puede llevar a cabo ventajosamente del siguiente modo: Se vierten partículas de esponja de titanio, sin ningún procesamiento o tratamiento adicional, tal como tamizado, rectificado, esferoidización o lavado, y a temperatura ambiente, en la cámara de una prensa uniaxial con la parte inferior del recipiente cerrado herméticamente para evitar que las partículas caigan a través de la prensa. El llenado de la cámara se lleva a cabo en presencia de una atmósfera ambiente, dado que la utilización de gas o gases de purga inertes, no oxidantes, durante la compactación en frío provoca el atrapamiento del gas entre las partículas de esponja en el tocho compactado. Dichos gases inertes encapsulados provocan porosidad en el producto final, dado que los mismos presentan una solubilidad nula en titanio. No es necesaria ninguna encapsulación del tocho de esponja de titanio, ya que los constituyentes de partida tienen niveles bajos de magnesio, cloruro de magnesio y oxígeno, y la compactación se lleva a cabo a baja temperatura, tal como a temperatura ambiente. De este modo, se eliminan las costosas operaciones de enlatado y desgasificación, y el tocho compactado se puede manejar de forma idéntica al titanio convencional producido a partir de la elaboración mecánica de lingotes de fundición. El pistón de la prensa se baja lentamente para permitir que el aire se desprenda del tocho poroso a medida que se compacta y densifica lentamente. De este modo, se puede producir un tocho de esponja de titanio de alta densidad y con una porosidad abierta, de ruptura de superficie, insignificante. La densidad más elevada es deseable, ya que hay menos huecos internos y defectos de superficie, aunque la capacidad de la prensa limita el grado en que se puede alcanzar plenamente la densificación. A continuación, el tocho compactado (en adelante denominado "tocho") se expulsa de la prensa. La presente invención no se limita a este ejemplo específico de compactación en frío, y puede emplear cualquier proceso conocido o concebible para la compactación en frío de esponja de titanio para obtener un tocho de alta densidad y una porosidad abierta, de rotura de superficie, insignificante.

El tocho se puede recubrir ventajosamente con un lubricante tras la compresión a fin de facilitar el proceso de extrusión. Se puede aplicar cualquier lubricante conocido en la actualidad o en el futuro por el experto en la materia como adecuado para la extrusión de tochos de titanio. Un ejemplo de lubricante adecuado es el vidrio.

El calentamiento del tocho se puede llevar a cabo ventajosamente en una atmósfera inerte, lo que puede incluir todas las etapas del proceso en las que el tocho se encuentre a una temperatura mayor de 400°C. El calentamiento del tocho se puede llevar a cabo a cualquier temperatura comprendida entre 400°C y 1.000°C, pero ventajosamente se puede llevar a cabo a una temperatura comprendida dentro de un margen de 100°C con respecto a la temperatura de transición beta del titanio.

La extrusión en caliente del tocho de titanio compactado se puede llevar a cabo del siguiente modo. El tocho se puede recubrir ventajosamente con un lubricante de vidrio a fin de minimizar el desgaste de la matriz de extrusión y la absorción de contaminantes atmosféricos. El tocho se calienta, preferentemente en una atmósfera inerte o al vacío, de modo que el oxígeno y el nitrógeno atrapados originados en el proceso de compactación en frío se absorben en la matriz de titanio. Esto provoca la disolución de la porosidad interna y finalmente al cierre y la fusión de los poros internos.

A partir del contenido intersticial permisible máximo del producto de alambre final y del análisis químico de la esponja de titanio, se puede calcular aproximadamente un tamaño de poro máximo utilizando las difusividades del elemento del aire atrapado (nitrógeno, oxígeno) a diferentes temperaturas y tiempos de retención. Dado un tiempo de retención de una hora a 900°C, un poro lleno de aire de aproximadamente 2 mm de diámetro será absorbido por el tocho de titanio durante el calentamiento posterior antes de la extrusión. La tabla 1 presenta un conjunto de cálculos para un intervalo de temperaturas y tiempos de retención, y dicha tabla a se muestra gráficamente en la figura 1.

Tabla 1. Tamaño máximo de poros llenos de aire (en metros) que serán absorbidos durante el calentamiento para diferentes temperaturas y períodos de calentamiento.

T (°C)	T (K)	D (m <sup>2</sup> /s)	1800 s	3600 s	5400 s	7200 s	18 000 s
500	773	1,93E-17	4,6E-07	6,5E-07	7,9E-07	9,1E-07	1,4E-06
550	823	1,15E-16	1,1E-06	1,6E-06	1,9E-06	2,2E-06	3,5E-06
600	873	5,63E-16	2,5E-06	3,5E-06	4,3E-06	4,9E-06	7,8E-06
650	923	2,31E-15	5,0E-06	7,1E-06	8,7E-06	1,0E-05	1,6E-05
700	973	8,22E-15	9,4E-06	1,3E-05	1,6E-05	1,9E-05	3,0E-05
750	1023	2,58E-14	1,7E-05	2,4E-05	2,9E-05	3,3E-05	5,3E-05
800	1073	7,28E-14	2,8E-05	4,0E-05	4,9E-05	5,6E-05	8,9E-05
850	1123	1,87E-13	4,5E-05	6,4E-05	7,8E-05	9,0E-05	0,0001
900	1173	1,76E-10	1,4E-03	0,0020	0,0024	0,0028	0,0044
950	1223	3,19E-10	1,9E-03	0,0026	0,0032	0,0037	0,0059
1000	1273	5,51E-10	2,4E-03	0,0034	0,0042	0,0049	0,0077
1050	1323	9,13E-10	3,1E-03	0,0044	0,0054	0,0063	0,0099
1100	1373	1,46E-09	4,0E-03	0,0056	0,0069	0,0079	0,0125
1150	1423	2,25E-09	4,9E-03	0,0070	0,0085	0,0099	0,0156
1200	1473	3,38E-09	6,0E-03	0,0085	0,0105	0,0121	0,0191
1250	1523	4,94E-09	7,3E-03	0,0103	0,0126	0,0146	0,0231
1300	1573	7,04E-09	8,7E-03	0,0123	0,0151	0,0174	0,0276
1350	1623	9,83E-09	1,0E-02	0,0146	0,0178	0,0206	0,0326
1400	1673	1,34E-08	1,2E-02	0,0170	0,0209	0,0241	0,0381

5 Los tamaños de poro de la tabla 1 se calculan del siguiente modo:

$$P = \sqrt{6Dt}$$

10 P es el tamaño de poro en metros, D es el coeficiente de difusión de masa en m<sup>2</sup>/s, y t es el tiempo en segundos. A una temperatura inferior a la temperatura de transición beta (882°C), el coeficiente de difusión de masa se establece en:  $D_{\alpha} = 1,2 \cdot 10^{-4} e^{(-189326/RT)}$ , y por encima de la temperatura de transición beta, el coeficiente de difusión de masa se establece en:  $D_{\beta} = 3,5 \cdot 10^{-4} e^{(-141419/RT)}$ . Los coeficientes de difusión de masa se obtienen a partir de R. J. Wasilewski y G. L. Kehl (1954), "DIFFUSION OF NITROGEN AND OXYGEN IN TITANIUM", J. Inst. Metals, vol. 83, y se ajusta al coeficiente de difusión de masa de nitrógeno, ya que el nitrógeno es el gas más abundante en el aire y se sabe que se difunde más lentamente que el oxígeno en titanio.

20 El calentamiento del tocho compactado en una atmósfera inerte es deseable para minimizar la contaminación atmosférica, pero no es absolutamente necesario si se aplican recubrimientos de vidrio apropiados. La temperatura de precalentamiento del tocho es preferentemente de aproximadamente la temperatura de transición beta del tocho de titanio, ya que la difusión del oxígeno y el nitrógeno aumentan en casi un orden de magnitud en la fase beta de temperatura más elevada en comparación con la forma alotrópica alfa de temperatura más baja. Además, el aumento de la densidad del tocho compactado en comparación con las partículas de esponja de partida presenta una barrera de difusión significativa para el transporte de masas de impurezas gaseosas. En la práctica, esto implica que ni la temperatura de partida ni la temperatura de salida del tocho durante la extrusión debe exceder de 1.000°C.

25 La densidad de la barra extrudida puede ser mayor del 98%.

30 El tocho debe ser transferido inmediatamente a una cámara de prensa de extrusión precalentada. El calentamiento de la cámara de extrusión y de la matriz es necesario para evitar el enfriamiento rápido del tocho de titanio, lo que exigiría presiones de extrusión innecesariamente elevadas. El pistón de extrusión aplica una fuerza creciente en el extremo posterior del tocho, lo que provoca una densificación casi completa. Con el aumento de la presión, el tocho empieza a fluir a través de la matriz de extrusión, formándose una forma extrudida, tal como una barra o perfil. La velocidad de la forma de extrusión emergente es proporcional a las áreas relativas de las secciones transversales del tocho y la barra, también conocida como relación de extrusión, y a la velocidad de la prensa de extrusión. La matriz de extrusión también debe tener las geometrías de entrada y salida correctas para asegurar que el acabado de superficie del titanio extrudido no presenta defectos. Ventajosamente, el titanio extrudido puede lavarse de contaminantes de superficie y arrollarse en caliente para facilitar su manipulación y almacenamiento posteriores.

35

5 A continuación, el material extrudido se transfiere a un tren de laminación para la reducción del diámetro de la pieza extrudida. Cada pase a través de los rodillos debe proporcionar ventajosamente una reducción de área del 5-35%. El proceso de laminación se repite hasta que se obtienen el tamaño y la forma finales del alambre. El proceso de laminación se puede llevar a cabo ventajosamente en un tren de laminación continuo con diversos rodillos colocados en serie, de tal modo que la alimentación de entrada se reduce de forma continua y significativa en su área de sección transversal.

10 El perfil de sección transversal del alambre está determinado por el tamaño y la forma de las ranuras del tren de laminación y puede variar durante el curso de la laminación, por ejemplo, se puede hacer pasar una varilla de cuatro, seis u ocho caras a través de rodillos con un semicírculo a fin de obtener un cable circular, y viceversa. Se lleva a cabo una atenuación de tensiones intermedia manteniendo el cable en un horno caliente, preferentemente lleno de gas inerte, en condiciones que facilitan que se produzca una recristalización suficiente y un ablandamiento posterior.

15 Es deseable que se produzca por lo menos un pase de laminación tras este tratamiento térmico antes de arrollar el alambre, a fin de obtener una rigidez suficiente en el producto de alambre para que pueda ser suministrado a través de alimentadores de alambre de soldadura automáticos comerciales.

### Listado de figuras

20 La figura 1 muestra el tamaño máximo de poros llenos de aire (en metros) que serán absorbidos durante el calentamiento para diferentes temperaturas y períodos de calentamiento.

25 La figura 2 muestra fotografías de la macroestructura del tocho. La fotografía a) muestra la macroestructura antes del precalentamiento, y la fotografía b) después del mismo.

### Verificación de la invención

La invención se describe con mayor detalle mediante formas de realización ejemplificativas de la invención.

### Ejemplo

35 Se transfirieron, en aire, 3,5 kg de partículas de esponja de titanio a un recipiente de 100 mm de una prensa hidráulica uniaxial. Se aplicaron aproximadamente 1.000 MPa para compactar las partículas de esponja de titanio hasta obtener un tocho con un tamaño de aproximadamente 100 mm de altura, lo que correspondía a una densidad del 95%. A continuación, dicho tocho se revistió con lubricante de vidrio y se colocó en un horno con atmósfera de argón a 900°C durante 60 minutos. Las figuras 2 a) y b) muestran la microestructura del tocho antes y después del tratamiento térmico.

40 El tocho caliente se transfirió a una prensa de extrusión uniaxial y se extruyó a través de una abertura de 18 mm, obteniéndose una relación de extrusión de 22, a una velocidad constante de compresión de 12 mm/s. A continuación, la barra extrudida se hizo pasar a través de una serie de trenes de laminación, con lo que el diámetro se redujo en un tren de laminación primario a través de los siguientes diámetros intermedios: 7, 6,5, 5,7 5,1, 4,5 4,1 3,7, 3,4, 3 mm antes de la laminación secundaria a través de los siguientes diámetros: 2,83, 2,71, 2,52, 2,35, 2,15, 2,00, 1,83, 1,70, 1,61 y 1,50 mm hasta un diámetro final de 1,6 mm. Se llevó a cabo una atenuación de tensiones entre 4,1 y 3,7 mm a 540°C durante 30 minutos.

45

50 Se analizó la composición química del alambre producido de este modo, y los niveles de impurezas se indican en la tabla 2. Para evaluar la capacidad de soldadura de este alambre, a continuación se fundió mediante un soplete de soldadura TIG provisto de un recubrimiento de gas inerte con flujo de argón (22 l/min). Se depositaron diversos cordones de soldadura para construir una forma sólida, que a continuación se seccionó para su análisis químico y su sometimiento a ensayos mecánicos. La consolidación no de fusión de las partículas de esponja de titanio produjo un alambre de titanio no aleado soldable con una composición química aceptable en comparación con el alambre de titanio convencional de pureza comercial (CP) de grado 2, antes de la soldadura y como material de relleno de la misma, tal como se muestra en la tabla 2.

55

Tabla 2. Composición química de alambre sin alear consolidado y correspondiente composición del cordón de soldadura y propiedades mecánicas.

Composición química Elemento (% en peso)	Alambre no fundido, sin alear	Forma depositada	Alambre de Ti convencional de CP de grado 2
Nitrógeno	0,011	0,027	0,03 máx
Carbono	0,025	0,013	0,08 máx
Hidrógeno	0,0056	0,0039	0,015 máx
Hierro	<0,005	0,005	0,30 máx
Oxígeno	0,12	0,12	0,25 máx
Magnesio	0,006	No detectable	0,10 máx
Titanio	Resto	Resto	Resto
<b>Propiedades Mecánicas</b>			
Resistencia a la tracción (MPa)	-	454	345 mín
0,2% Rendimiento Offset	-	370	275 mín
Alargamiento (%)	-	25,3	20 mín
Composición química Elemento (% en peso)	Alambre no fundido, sin alear	Forma depositada	Alambre de Ti convencional de CP de grado 2
Nitrógeno			0,03 máx
Carbono			0,08 máx
Hidrógeno			0,015 máx
Hierro			0,30 máx
Oxígeno			0,25 máx
Titanio	Resto	Resto	Resto
<b>Propiedades Mecánicas</b>			
Resistencia a la tracción (MPa)	-		345 mín
0,2% Rendimiento Offset	-		275 mín
Alargamiento (%)	-		20 mín

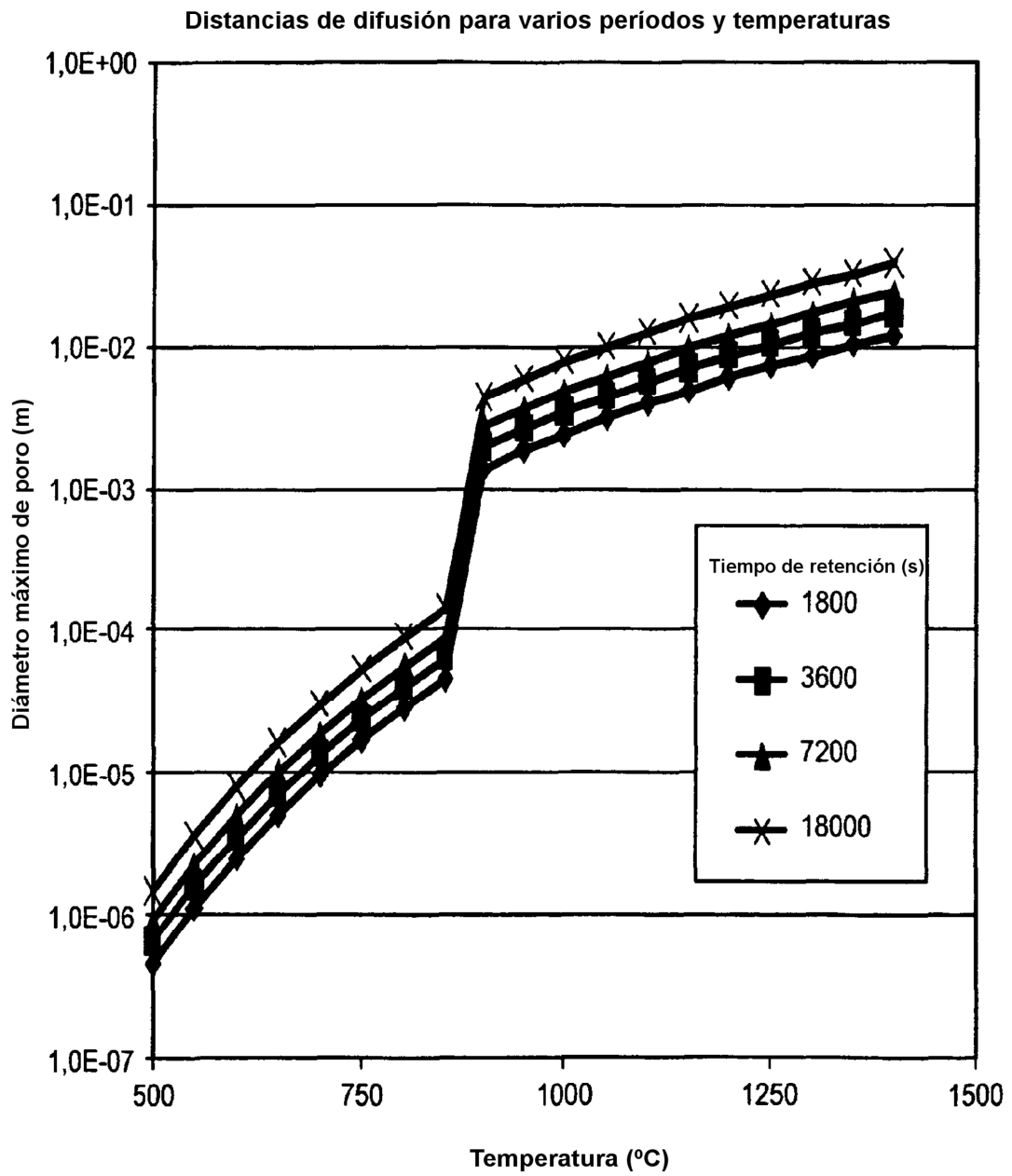
5 **Referencias**

1. "Titanium: Past, Present and Future", Publication NMAB-392, National Academy Press, Washington D.C., 1983.
2. O. M. Ivasishin, "Cost-Effective Manufacturing of Titanium Parts with Powder Metallurgy Approach", Materials Forum, vol. 29 (2005), p. 1-8.
3. R. Wilson, N. Stone y M. Gibson, "Extrusion of CP Grade Titanium Powders Eliminating the Need for Hot Pre-Compaction Via Hot Isostatic Pressing", Materials Science Forum, vol. 534-536 (2007), p. 801-804.
4. Norma ASTM B299 - 07, 2007, "Standard Specification for Titanium Sponge", ASTM International, West Conshohocken, Pensilvania, 2007, DOI: 10.1520/B0299-07.

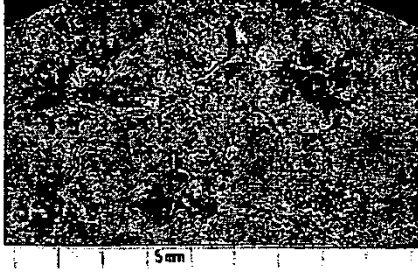
**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para producir un alambre o tira de titanio soldable, en el que dicho procedimiento consiste en:
- 5       - colocar una o más partículas de esponja de titanio en la cámara de una prensa uniaxial,
- compactar en frío la muestra de material en partículas en una atmósfera de aire ambiente para formar un tocho,
- calentar el tocho hasta una temperatura comprendida dentro del intervalo de 400°C a 1.000°C,
- 10       - colocar el tocho calentado dentro de la matriz de una prensa de extrusión en caliente precalentada y extrudir una barra o perfil del tocho a una temperatura comprendida dentro del intervalo de 400°C a 1.000°C,
- eliminar los contaminantes de la superficie de la barra o perfil extrudidos, y
- 15       - colocar la barra o perfil extrudidos en un tren de laminación con uno o más rodillos dispuestos en serie a fin de formar la tira o alambre soldable con el diámetro deseado.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que las partículas de esponja de titanio son esponja de titanio triturada y cizallada de esponja de titanio baja en magnesio, destilada al vacío, que cumple la norma ASTM B299 - 07.
- 20
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que la esponja de titanio triturada y cizallada presenta una fracción granulométrica entre 1 mm - 100 mm, preferentemente entre 2 mm - 50 mm y más preferentemente entre 3 mm - 25 mm.
- 25
4. Procedimiento según la reivindicación 1, 2 o 3, en el que la compactación en frío de la muestra de material en partículas se lleva a cabo a temperatura ambiente con una presión de compactación aplicada a la muestra comprendida de 200 MPa a 600 MPa.
- 30
5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la compactación se prosigue hasta que la muestra en partículas se consolida en forma de tocho compacto sólido con una densidad mayor del 80% y sustancialmente desprovisto de porosidades interconectadas, de rotura de superficie, y que tiene poros internos llenos de aire.
- 35
6. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que el tocho comprimido se recubre con un lubricante.
7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que el recubrimiento de lubricante es vidrio y el calentamiento del tocho se lleva a cabo en una atmósfera inerte.
- 40
8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que el calentamiento del tocho se regula para proporcionar una temperatura comprendida dentro de 100°C a partir de la temperatura de transición beta del titanio.
9. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que cada pase a través de los rodillos del tren de laminación reduce el diámetro de la tira o alambre soldables laminados de 5% a 35%.
- 45
10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que el procedimiento comprende asimismo calentar el alambre laminado en una atmósfera inerte a fin de obtener una atenuación de tensiones a la temperatura a la que el titanio o la aleación de titanio se ablandan.
- 50
11. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la temperatura de inicio del tocho durante la extrusión no supera los 1.000°C.
12. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la temperatura de salida de la barra extrudida no supera los 1.000°C.
- 55
13. Procedimiento según la reivindicación 11 o 12, en el que la barra extrudida presenta una densidad superior a 98%.





**FIG. 1**



a)



b)

FIG. 2