

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 756 850**

51 Int. Cl.:

**B23K 1/00** (2006.01)

**B23K 1/19** (2006.01)

**B23K 1/20** (2006.01)

**B23K 20/02** (2006.01)

**B23K 20/16** (2006.01)

**F28F 3/02** (2006.01)

**F28D 9/00** (2006.01)

**B23K 1/008** (2006.01)

**B23K 35/365** (2006.01)

**B23K 35/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.09.2013** **E 13186257 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2019** **EP 2853333**

54 Título: **Método para unir partes de metal utilizando una capa depresora del punto de fusión**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**27.04.2020**

73 Titular/es:

**ALFA LAVAL CORPORATE AB (100.0%)**  
**Box 73**  
**221 00 Lund, SE**

72 Inventor/es:

**SJÖDIN, PER y**  
**WALTER, KRISTIAN**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 756 850 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 unir partes de metal utilizando una capa depresora del punto de fusión

5 **Campo técnico**

La invención se refiere a un método de unir una primera parte de metal con una segunda parte de metal usando una composición depresora del punto de fusión, de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 (véase por ejemplo el documento US 2009/305078 A1).

10

**Antecedentes de la técnica**

Hoy en día existen diferentes métodos de unión para unir partes de metal (objetos de metal o piezas de trabajo de metal) que se fabrican de elementos metálicos, elementos metálicos que incluyen diversos metales elementales así como diversas aleaciones metálicas. Las partes de metal en cuestión tienen, gracias a los elementos metálicos o aleaciones de las que se fabrican, una temperatura de fusión de al menos 1000 °C, lo que significa que las partes de metal no pueden hacerse de por ejemplo aluminio puro o diversas aleaciones basadas en aluminio. Según los ejemplos de metal, las partes de metal pueden hacerse normalmente de aleaciones basadas en hierro, níquel y cobalto.

15

20

Un método común de unir tales partes de metal es la soldadura que es un método donde el metal en la parte de metal con o sin material adicional se funde, es decir un producto de colada se forma por la fusión y la posterior resolidificación.

25

Otro método de unión es la soldadura fuerte que es un proceso de unión de metal donde un metal de carga se aplica primero en al menos una de dos partes de metal a unir y luego se calienta sobre su punto de fusión y se distribuye entre las partes de metal por acción capilar. El metal de carga se lleva normalmente por encima de su temperatura de fusión bajo protección mediante una atmósfera adecuada. El metal de carga fluye sobre las partes de metal hacia los puntos de contacto donde forma juntas.

30

Por lo general, hacer soldadura fuerte implica aplicar un metal de carga en contacto con un hueco o un espacio entre las partes de metal que se van a unir. Durante el proceso de calentamiento, el metal de carga se funde y llena el hueco que se va a unir. En el proceso de soldadura fuerte hay tres etapas principales, donde la primera etapa se denomina la etapa física. La etapa física incluye humectar y hacer fluir el metal de carga. La segunda etapa se produce normalmente a una temperatura de unión dada. Durante esta etapa hay una interacción sólido-líquido, que se acompaña de la transferencia de masa sustancial. Un volumen pequeño de las partes de metal que está inmediatamente próximo al metal de carga líquido se disuelve o bien se hace reaccionar con el metal de carga en esta etapa. Al mismo tiempo, una pequeña cantidad de elementos de la fase líquida penetra en las partes de metal sólidas. Esta redistribución de los componentes en el área de unión da lugar a cambios en la composición del metal de carga, y, a veces, el inicio de la solidificación del metal de carga. La última etapa, que se superpone a la segunda, se caracteriza por la formación de la microestructura de junta final y progresa durante la solidificación y enfriamiento de la junta. El volumen de las partes de metal que es adjunto al metal de carga líquido es muy pequeño, es decir la junta se forma en la extensión mayor por el metal de carga. En general, cuando se hace soldadura fuerte, al menos el 95 % del metal en la junta llega desde el metal de carga.

35

40

45

Otro método para unir dos partes de metal (materiales padres) es la unión por difusión en fase líquida transitoria (unión TLP) donde se produce la difusión cuando un elemento depresor del punto de fusión de una capa intermedia se mueve en los límites de celosía y de grano de las partes de metal a la temperatura de unión. Los procesos de difusión en estado sólido conducen, a continuación, a un cambio de composición en la interfaz de unión y la capa intermedia diferente se funde a una temperatura más baja que los materiales padres. Por tanto, una fina capa de líquido se extiende a lo largo de la interfaz para formar una unión a una temperatura menor que el punto de fusión de cualquiera de las partes de metal. Una reducción en la temperatura de unión conduce a la solidificación de la masa fundida, y esta fase se puede difundir, posteriormente, en las partes de metal manteniéndose a una temperatura de unión durante un período de tiempo.

50

55

Los métodos de unión tales como soldadura, soldadura fuerte y unión TLP unen con éxito partes de metal. Sin embargo, la soldadura tiene sus limitaciones, ya que puede ser muy costoso o incluso imposible crear un gran número de juntas cuando son de difícil acceso. La soldadura fuerte tiene también sus limitaciones, por ejemplo, en que puede ser difícil de aplicar correctamente o incluso determinar un metal de carga más adecuado. La unión TLP es ventajosa cuando se trata de unir un material diferente, pero tiene sus limitaciones. Por ejemplo, a menudo es difícil encontrar una capa intermedia adecuada y el método no es realmente adecuado para la creación de una junta donde se tienen que llenar grandes huecos o cuando se va a formar una junta relativamente grande.

60

Otros métodos para unir partes de metal se encuentran por ejemplo en los documentos de patente US2009/305078A1, US2006/060296A1, US6264761B1, US2007/164088A1 y US2012/183807A1.

65

Por tanto, muchos factores se ven implicados en la selección de un cierto método de unión. Los factores que son también cruciales son el coste, productividad, seguridad, velocidad de proceso y las propiedades de la junta que une

las partes de metal, así como las propiedades de las propias partes de metal después de la unión. A pesar de que los métodos mencionados anteriormente tienen sus ventajas, todavía existe la necesidad de un método de unión a ser utilizado como un complemento a los métodos actuales, en particular, si factores tales como el coste, productividad, seguridad y velocidad de proceso se tienen en cuenta.

5

**Sumario**

Es un objetivo de la invención mejorar las técnicas anteriores y la técnica anterior. En particular, es un objeto proporcionar un método para unir partes de metal (piezas de trabajo de metal, es decir piezas de trabajo u objetos que se realizan de metal) de forma sencilla y fiable y seguir produciendo una fuerte junta entre las partes de metal.

10

Para conseguir estos objetivos un método para unir una primera parte de metal con una segunda parte de metal según la presente invención se define en la reivindicación 1.

El método se usa para partes de metal que tienen una temperatura de solidus por encima de 1000 °C. El método comprende:

15

aplicar una composición depresora del punto de fusión en una superficie de la primera parte de metal, comprendiendo la composición depresora del punto de fusión un componente depresor del punto de fusión que comprende fósforo y silicio para disminuir una temperatura del punto de fusión de la primera parte de metal, y opcionalmente, un componente aglutinante para facilitar la aplicación de la composición depresora del punto de fusión en la superficie;

20

llevar la segunda parte de metal en contacto con la composición depresora del punto de fusión en un punto de contacto en dicha superficie;

25

calentar la primera y segunda parte de metal a una temperatura superior a 1000 °C, fundiéndose así dicha superficie de la primera parte de metal de tal manera que una capa superficial de la primera parte de metal se funde y, junto con el componente depresor del punto de fusión, forma una capa de metal fundida (derretida) que está en contacto con la segunda parte de metal en el punto de contacto, y

30

permitir que la capa de metal fundida se solidifique, de manera que se obtiene una junta en el punto de contacto, comprendiendo la junta al menos 50 % en peso de metal que, antes del calentamiento, era parte de cualquiera de la primera parte de metal y la segunda parte de metal.

En una realización, la junta comprende al menos 85 % en peso de metal que, antes del calentamiento, era parte de cualquiera de la primera parte de metal y la segunda parte de metal. Esto se logra permitiendo que el metal de las partes de metal fluya al punto de contacto y forme la junta. Una junta que se forma de esta manera es muy diferente de las juntas que se forman por soldadura fuerte, ya que tales juntas comprenden en general al menos 90 % en peso de metal que, antes de la soldadura fuerte, era parte de un metal de carga de una sustancia de soldadura fuerte que se usó para formar la junta.

35

El componente depresor del punto de fusión puede incluir otros componentes, tales como pequeñas cantidades de metal de carga. Sin embargo, tal metal de carga no puede representar más del 75 % en peso del componente depresor del punto de fusión, puesto que de acuerdo con la presente invención, al menos 25 % en peso del componente depresor del punto de fusión comprende fósforo y silicio. Si un metal de carga se incluye en la composición depresora del punto de fusión, siempre es parte del componente depresor del punto de fusión.

40

En este contexto, "fósforo y silicio" se refiere a la suma de fósforo y silicio en el componente depresor del punto de fusión, tal como se calcula en % en peso. Aquí, % en peso significa el porcentaje en peso que se determina multiplicando la fracción de masa por 100. Como es conocido, la fracción de masa de una sustancia en un componente es la relación de la concentración en masa de dicha sustancia (densidad de la sustancia en el componente) con respecto a la densidad del componente. Por tanto, por ejemplo, al menos el 25 % en peso de fósforo y silicio significa que el peso total de fósforo y silicio es de al menos 25 g en una muestra de componente depresor del punto de fusión de 100 g. Obviamente, si un componente aglutinante está comprendido en la composición depresora del punto de fusión, entonces el % en peso de fósforo y de silicio en la composición depresora del punto de fusión puede ser inferior al 25 % en peso. Sin embargo, al menos el 25 % en peso de fósforo y silicio está siempre presente en el componente depresor del punto de fusión, que como se indica, incluye también cualquier metal de carga que se pueda incluir, es decir, el metal de carga se ve siempre como parte de la composición depresora del punto de fusión.

50

55

El "fósforo" incluye todo el fósforo en el componente depresor del punto de fusión, incluyendo el fósforo elemental, así como fósforo en un compuesto de fósforo. Correspondientemente, el "silicio" incluye todo el silicio en el componente depresor del punto de fusión, incluyendo silicio elemental, así como silicio en un compuesto de silicio. Por tanto, tanto el fósforo como silicio pueden, en el componente depresor del punto de fusión, representarse por el fósforo y silicio en diversos compuestos de fósforo y de silicio.

60

Obviamente, la composición depresora del punto de fusión es muy diferente de las sustancias de soldadura fuerte convencionales puesto que tienen mucho más metal de carga en relación con las sustancias depresoras del punto de fusión como el fósforo y el silicio. Por lo general, las sustancias de soldadura fuerte tienen menos del 18 % en peso

65

de fósforo y silicio.

El método es ventajoso en que el metal de carga se puede reducir o incluso excluir y en que se puede aplicar en partes de metal que se fabrican a partir de diferentes materiales. También puede usarse dentro un amplio intervalo de aplicaciones, por ejemplo para unir placas de transferencia de calor o cualquier objeto de metal adecuado que de lo contrario se uniría por ejemplo mediante soldadura o soldadura fuerte convencional.

Por supuesto, la composición depresora del punto de fusión se puede aplicar sobre la segunda parte de metal también.

El fósforo puede originarse a partir de cualquiera de fósforo elemental y fósforo de un compuesto de fósforo seleccionado de al menos cualquiera de los siguientes compuestos: fosfuro de manganeso, fosfuro de hierro y fosfuro de níquel. El silicio puede proceder de cualquiera de silicio elemental y silicio de un compuesto de silicio seleccionado de al menos cualquiera de los siguientes compuestos: carburo de silicio, boruro de silicio y ferrosilicio.

El componente depresor del punto de fusión comprende, según la presente invención, al menos el 25 % en peso, y más preferentemente, al menos el 35 % en peso y al menos el 55 % en peso de fósforo y silicio. Esto significa que si hay cualquier metal de carga presente, el mismo está presente en cantidades de menos del 75 % en peso, menos del 65 % en peso, menos del 45 % en peso, respectivamente.

El fósforo puede constituir al menos el 10 % en peso del contenido de fósforo y silicio del compuesto depresor del punto de fusión. Esto significa que, cuando el componente depresor del punto de fusión comprende al menos el 25 % en peso de fósforo y de silicio, entonces el componente depresor del punto de fusión comprende al menos al menos el 2,5 % en peso de fósforo. El silicio puede constituir al menos el 55 % en peso del contenido de fósforo y silicio del compuesto depresor del punto de fusión.

El componente depresor del punto de fusión puede comprender menos del 50 % en peso de elementos metálicos, o menos del 10 % en peso de elementos metálicos. Tales elementos metálicos corresponden a la "carga de metal" que se ha descrito anteriormente. Tales pequeñas cantidades de elementos metálicos o metal de carga diferencian la composición depresora del punto de fusión claramente de, por ejemplo, las composiciones de soldadura fuerte conocidas puesto que comprenden al menos el 60 % en peso de elementos metálicos. Aquí, "elementos metálicos" incluyen, por ejemplo, todos los metales de transición, que son los elementos en el bloque d de la tabla periódica, que incluye los grupos 3 a 12 en la tabla periódica. Esto significa que, por ejemplo, hierro (Fe), níquel (Ni), cobalto (Co), cromo (Cr) y molibdeno (Mo) son "elementos metálicos". Elementos que no son "elementos metálicos" son los gases nobles, los halógenos y los siguientes elementos: boro (B), carbono (C), silicio (Si), nitrógeno (N), fósforo (P), arsénico (As), oxígeno (O), azufre (S), selenio (Se) y telurio (Tu). Cabe señalar que, por ejemplo, si el fósforo proviene del compuesto de fosfuro de manganeso, entonces, la parte de manganeso de este compuesto es un elemento metálico que se incluye en los elementos metálicos que, en una realización deben ser inferiores al 50 % en peso y, en la otra realización, inferiores al 10 % en peso.

La primera parte de metal puede comprender un espesor de 0,3-0,6 mm y la aplicación de la composición depresora del punto de fusión puede comprender después la aplicación de una media de 0,02 -1,00 mg de fósforo y silicio por mm<sup>2</sup> en la superficie de la primera parte de metal. La aplicación de una media de 0,02 -1,00 mg de fósforo y silicio por mm<sup>2</sup> en la superficie de la primera parte de metal incluye cualquier aplicación indirecta a través de, por ejemplo, la segunda parte de metal, por ejemplo, fósforo y silicio que se transfiere de la segunda parte de metal a la primera parte de metal. Por tanto, el fósforo y el silicio referidos en la presente memoria no deben necesariamente aplicarse directamente sobre la primera parte de metal, siempre que sigan contribuyendo a la fusión de la capa superficial de la primera parte de metal.

La primera parte de metal puede comprender un espesor de 0,6-1,0 mm y la aplicación de la composición depresora del punto de fusión puede comprender después la aplicación de una media de 0,02-1,0 mg de fósforo y silicio por mm<sup>2</sup> en la superficie de la primera parte de metal. Como antes, la aplicación incluye también la "aplicación" indirecta a través de la segunda parte de metal.

La primera parte de metal puede comprender un espesor de más de 1,0 mm y la aplicación de la composición depresora del punto de fusión puede comprender después la aplicación de una media de 0,02-5,0 mg de fósforo y silicio por mm<sup>2</sup> en la superficie de la primera parte de metal.

La superficie puede tener un área que es más grande que un área definida por el punto de contacto sobre dicha parte superficial, de manera que el metal en la capa de metal fundido fluye al punto de contacto cuando se permite la formación de la junta. Tal flujo es causado normalmente por acción capilar.

El área de la superficie puede ser al menos 3 veces más grande que el área definida por el punto de contacto. El área de la superficie puede ser incluso más grande (o el punto de contacto relativamente más pequeño), tal como al menos 10, 20 o 30 veces más grande que el área definida por el punto de contacto. El área de la superficie se refiere al área de la superficie desde donde el metal fundido de hace fluir para formar la junta.

El área de la superficie puede ser de al menos 3 o al menos 10 veces más grande que un área de sección transversal de la junta. El área de la superficie puede ser incluso más grande (o el área de sección transversal de la junta relativamente más pequeña), tal como es al menos 6 o 10 veces más grande que el área definida por el punto de contacto. El área en sección transversal de la junta se puede definir como el área de sección transversal que la junta tiene a través de un plano que es paralelo a la superficie donde se encuentra el punto de contacto, en un lugar donde la junta tiene su extensión más pequeña (área de sección transversal).

Cualquiera de la primera parte de metal y la segunda parte de metal puede comprender una pluralidad de protuberancias que se extienden hacia la otra parte de metal, de manera que cuando se lleva la segunda parte de metal en contacto con esta superficie, una pluralidad de puntos de contacto se forma en dicha superficie. Este es normalmente el caso cuando las partes de metal tienen la forma de placas corrugadas que se apilan y unen para formar intercambiadores de calor.

La primera parte de metal puede comprender cualquiera de:

- i) >50 % en peso de Fe, <13 % en peso de Cr, <1 % en peso de Mo, <1 % en peso de Ni y <3 % en peso de Mn;
- ii) >90 % en peso de Fe;
- iii) >65 % en peso de Fe y >13% en peso de Cr;
- iv) >50 % en peso Fe, >15,5 % en peso % de Cr y >6 en peso de Ni;
- v) >50 % en peso Fe, >15,5 % en peso de Cr, 1-10 % en peso de Mo y >8 % en peso de Ni;
- vi) >97 % en peso de Ni;
- vii) >10 % en peso de Cr y >60 % en peso de Ni;
- viii) >15 % en peso de Cr, >10 % en peso de Mo y >50 % en peso de Ni;
- ix) >70 % en peso de Co; y
- x) >10 % en peso de Fe, 0,1-30 % en peso de Mo, 0,1-30 % en peso de Ni y >50 % en peso de Co.

Lo anterior significa que la primera parte de metal, y la segunda parte de metal también, pueden, por tanto, realizarse de un gran número de diferentes aleaciones. Obviamente, los ejemplos anteriores están equilibrados con otros metales o elementos comunes dentro de la industria.

Diferentes objetivos, características, aspectos y ventajas del método, los productos y la composición depresora del punto de fusión aparecerán a partir de la siguiente descripción detallada así como los dibujos.

### Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la invención se describen ahora a modo de ejemplo en referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos en los que

la Figura 1 es una vista en sección transversal de una primera y segunda parte de metal donde una composición depresora del punto de fusión se aplica entre las partes,  
 la Figura 2 muestra las partes de metal de la Figura 1 durante el calentamiento,  
 la Figura 3 muestra las partes de metal de la Figura 1 cuando se forma una junta,  
 la Figura 4 es una vista en sección transversal de una primera y segunda parte de metal donde una composición depresora del punto de fusión se aplica entre los componentes y cuando la segunda parte de metal contacta con la primera parte de metal,  
 la Figura 5 muestra las partes de metal de la Figura 4 durante el calentamiento,  
 la figura 6 muestra las partes de metal de la Figura 4 cuando se forma la junta,  
 la Figura 7 muestra las partes de metal cuando se forma una junta y donde las partes se han prensado una hacia la otra durante la formación de la junta,  
 la Figura 8 es una vista correspondiente a la Figura 7 donde el material de ambas partes de metal se ha fundido y ha formado la junta,  
 la Figura 9 corresponde a la Figura 1 y muestra la distribución de un punto de contacto entre las partes de metal,  
 la Figura 10 muestra un área del punto de contacto entre las partes de metal,  
 la Figura 11 corresponde a la Figura 3 y muestra la distribución de una junta entre las partes de metal,  
 la Figura 12 muestra un área en sección transversal de la junta,  
 la Figura 13 muestra una placa prensada que se usa en un número de ejemplos que describen cómo dos partes de metal pueden unirse,  
 la Figura 14 es una foto de una sección transversal de una junta entre la placa mostrada en la Figura 13 y una placa plana,  
 la Figura 15 muestra un diagrama donde una anchura de junta medida se traza como una función de una cantidad aplicada de composición depresora del punto de fusión, incluyendo líneas de tendencia,  
 las Figuras 16 a 20 muestran una sección transversal de una junta investigada en un SEM (microscopio de electrones de escaneo) y ubicaciones de escaneo de electrones, y  
 la Figura 21 es un diagrama de flujo de un método para unir una primera y segunda parte de metal.

### Descripción detallada

La Figura 1 muestra una primera parte de metal 11 y una segunda parte de metal 12 donde una composición depresora del punto de fusión 14 se dispone en una superficie 15 de la primera parte de metal 11. La segunda parte de metal 12 está, en el punto de contacto 16, en contacto con la composición depresora del punto de fusión 14 en la superficie 15. Para la segunda parte de metal 12 ilustrada, una primera protuberancia 28 está en contacto con la composición depresora del punto de fusión 14 en el punto de contacto 16 mientras una segunda protuberancia 29 está en contacto con la composición depresora del punto de fusión 14 en otro punto de contacto 116. La primera parte de metal 11 se hace de un elemento metálico, tal como una aleación basada en hierro. Más ejemplos de elementos metálicos adecuados de los que puede hacerse la primera parte de metal 11 se proporcionan a continuación. La segunda parte de metal 12 también se realiza de un elemento metálico, que puede ser el mismo elemento metálico del que se realiza la primera parte de metal 11. En la Figura 1 la primera parte de metal 11 y la segunda parte de metal 12 aún no están unidas.

Cinco planos P1 a P5 se usan para describir cómo la primera parte de metal 11 y la segunda parte de metal 12 se unen. El primer plano P1 define la superficie de la composición depresora del punto de fusión 14. El segundo plano P2 define la superficie 15 de la primera parte de metal 11 que es una superficie "superior" 15 de la primera parte de metal 11. Esto significa que la composición depresora del punto de fusión 14 tiene un espesor que corresponde a la distancia entre el primer plano P1 y el segundo plano P2 (la superficie 15). Debería apreciarse que el espesor de la composición depresora del punto de fusión 14 se exagera en gran medida en las figuras ilustradas. El espesor real, es decir la cantidad de la composición depresora del punto de fusión 14 en la superficie 15 así como la composición de la composición depresora del punto de fusión 14, se analiza en detalle a continuación.

El tercer plano P3 define una capa superficial 21 de la primera parte de metal 11, donde la capa superficial 21 se extiende desde la superficie 15 y al tercer plano P3 que se ubica en la primera parte de metal 11. Así, el espesor de la capa superficial 21 corresponde a la distancia entre el segundo plano P2 (la superficie 15) y el tercer plano P3. El cuarto plano P4 define una superficie inferior de la primera parte de metal 11. El espesor de la primera parte de metal 11 corresponde a la distancia entre el segundo plano P2 y el cuarto plano P4. La primera parte de metal 11 tiene además una capa inferior 22 que es una parte de la primera parte de metal 11 que no incluye la capa superficial 21 y que se extiende desde el tercer plano P3 al cuarto plano P4. El quinto plano P5 define una línea de base de la segunda parte de metal 12, donde la primera protuberancia 28 y la segunda protuberancia 29 sobresalen desde la línea de base en una dirección hacia la primera parte de metal 11.

Las formas ilustradas de la primera parte de metal 11 y la segunda parte de metal 12 son solo ejemplos de formas y otras formas también son concebibles. Por ejemplo las partes de metal 11, 12 pueden tener formas curvadas, de manera que los planos P1-P5 no tienen la forma de superficies bidimensionales planas, pero en su lugar la forma de superficies curvadas. En particular, los planos P2 y P3 no deben ser líneas agudas, sino que pueden representar transiciones graduales.

La Figura 2 muestra los componentes de metal 11, 12 cuando se calientan a una temperatura por encima de la que la composición depresora del punto de fusión 14 provoca que la capa superficial 21 se funda y forme una capa de metal fundida 210. La temperatura todavía permanece bajo una temperatura de fusión de los materiales en la primera parte de metal 11 y en la segunda parte de metal 12. En resumen, cuando el calentamiento de las partes de metal 11, 12, el fósforo y opcionalmente el silicio que se comprende en la composición depresora del punto de fusión 14 se difunde en la primera parte de metal 11 y provoca que se funda en una temperatura inferior a la temperatura de fusión del material en la primera parte de metal 11 (y en la segunda parte de metal 12). La composición depresora del punto de fusión 14 se aplica en la superficie 15 en cantidades que provocan que la capa superficial 21 se funda y forme la capa de metal fundida 210. Así, la cantidad de composición depresora del punto de fusión 14 se elige por lo que el fósforo se difunde solo en la capa superficial 21 (demasiado fósforo puede fundir toda la primera parte de metal 11). Unas composiciones y cantidades adecuadas de la composición depresora del punto de fusión 14 se describen en los ejemplos a continuación. El metal en la capa de metal fundido 210 fluye entonces, normalmente por acción capilar, hacia el punto de contacto 16 (y a otros puntos de contacto similares tal como el punto de contacto 116).

La Figura 3 muestra los componentes metálicos 11,12 cuando toda la composición depresora del punto de fusión 14 se ha difundido en la primera parte de metal 11 y cuando el metal en la capa metálica fundida 210 ha fluido hacia el punto de contacto 16 donde una junta 25 se forma ahora. La junta ahora comprende metal que previamente era parte de la primera parte de metal 11. Como puede verse, la composición depresora del punto de fusión 14 ya no está presente en la superficie 15 de la primera parte de metal 11, ya que se ha difundido en la primera parte de metal 11, y normalmente hasta cierto punto en la segunda parte de metal 12. Ya que la junta 25 se forma de metal desde la primera parte de metal 11, la primera parte de metal 11 está ahora al menos localmente y ligeramente más fina que antes del calentamiento. Como puede verse, la primera parte de metal 11 tiene ahora una superficie superior 15' que no se ubica en el segundo plano P2. En su lugar, la superficie superior está ahora más cerca del cuarto plano P4. En general, no todo el metal en la capa metálica fundida 210 fluye hacia el punto de contacto 16 para formar la junta 25, sino que algo permanece como una superficie superior de la primera parte de metal 11 y se solidifica allí simultáneamente con la solidificación de la junta 25. La solidificación ocurre cuando la temperatura disminuye pero también antes de una disminución de la temperatura, por ejemplo ya que el fósforo en la composición depresora del punto de fusión gradualmente se difunde en y se mezcla con el material de la primera parte de metal 11. El proceso

físico detrás de la fusión del metal en la primera parte de metal 11 así como la solidificación posterior es similar con el proceso de fusión y solidificación que ocurre durante la soldadura fuerte. Sin embargo, en comparación con la soldadura fuerte convencional, existe una gran diferencia en que la composición depresora del punto de fusión 14 no comprende ninguna o muy pocas cantidades de metal de carga; en lugar de usar un metal de carga para crear la junta 25, el metal de la primera parte de metal 11 se usa para crear la junta 25. Opcionalmente, como se describirá, el metal de la segunda parte de metal 12 puede usarse para crear la junta 25.

Las Figuras 4-6 corresponden a las Figuras 1 a 3 con la diferencia de que la segunda parte de metal 12 se prensa en la composición depresora del punto de fusión 14 hasta tal punto que está básicamente en contacto con o se empalma con la primera parte de metal 11 (algunas pequeñas cantidades de la composición depresora del punto de fusión 14 todavía están normalmente presentes entre las partes de metal 11, 12).

La Figura 7 corresponde a las Figuras 3 y 6 con la diferencia de que la primera parte de metal 11 y la segunda parte de metal 12 se han prensado una hacia la otra durante la formación de la junta 25. Como resultado, la segunda parte de metal 12 tiene en la ubicación de la junta 25 un "hundimiento" en la capa metálica fundida 210 de la primera parte de metal 11.

La Figura 8 corresponde a la Figura 7 donde el material tanto de la primera parte de metal 11 como la segunda parte de metal 12 se ha fundido y formado la junta 25. En la práctica, esto es normalmente lo que ocurre durante la formación de la junta 25, especialmente si la primera parte de metal 11 y la segunda parte de metal 12 se hacen del mismo material, ya que la segunda parte de metal 12 también está en contacto con la composición depresora del punto de fusión.

Antes del calentamiento, la segunda parte de metal 12 tiene un contorno exterior definido por la línea L2. Durante el calentamiento, una capa superficial de la segunda parte de metal 12 forma una capa superficial fundida, donde el metal de esta capa fluye al punto de contacto 16 y forma una junta 25 allí. La capa superficial fundida de la segunda parte de metal 12 se representa por la capa entre la línea L2 y la línea L1, donde la línea L1 define un límite donde el metal de la segunda parte de metal 12 no se ha fundido.

Debería apreciarse que el límite real agudo entre el metal de la primera parte de metal 11 y la segunda parte de metal 12, que se funde respectivamente, no se funde. En su lugar existe una transición gradual de "fundido" a "no fundido".

La Figura 9 corresponde a la Figura 1 y muestra una distribución del punto de contacto 16 entre la primera parte de metal 11 y la segunda parte de metal 12. La Figura 10 muestra las mismas partes de metal 11, 12 pero desde arriba y en el primer plano P1. La Figura 9 es una vista en sección transversal como se ve a lo largo de la línea A-A en la figura 10.

Tal como puede verse, el punto de contacto 16 tiene una distribución sobre la composición depresora del punto de fusión 14 en la primera parte de metal 11 que es significativamente mayor que una distribución de la composición depresora del punto de fusión 14 en la superficie 15. La distribución del punto de contacto 16 tiene un área A2 que es ligeramente menor que un área A1 de la composición depresora del punto de fusión 14 en la superficie 15. El área A1 comprende el área A2. El área A1 se extiende entre dos líneas L3, L4 que se ubican en un lado respectivo del punto de contacto 16. La línea L3 se ubica entre el punto de contacto 16 y el otro punto de contacto 116, ya que el metal fundido de la primera parte de metal 11 generalmente fluye hacia el punto de contacto más cercano. El área A1 de la superficie 15 en la que se aplica la composición depresora del punto de fusión 14 es al menos 10 veces mayor que el área A2 definida por el punto de contacto 16. El área A1 puede definirse como un área de la superficie 15 en la que se aplica la composición depresora del punto de fusión 14 y área A1 desde la que el metal se extrae para formar la junta 25. El área A2 puede definirse como el área del punto de contacto 16, es decir el área de contacto entre la composición depresora del punto de fusión 14 y la segunda parte de metal 12, incluyendo opcionalmente un área de contacto (si existe) entre la primera parte de metal 11 y la segunda parte de metal 12 en el punto de contacto 16. El área A1 es generalmente al menos 10 veces mayor que el área A2.

La Figura 11 corresponde a la Figura 3 y muestra un área en sección transversal A3 de la junta 25. El área A1 de la superficie 15 en la que se aplica la composición depresora del punto de fusión 14 es al menos 3 veces mayor que el área en sección transversal A3 de la junta 25. La Figura 12 muestra las mismas partes de metal 11, 12 pero desde arriba y en el segundo plano P2. La Figura 11 es una vista en sección transversal como se ve a lo largo de la línea A-A en la Figura 12.

Como puede verse, la junta 25 tiene un área en sección transversal A3 que es significativamente menor que el área A1 de la composición depresora del punto de fusión 14 en la superficie 15. Como antes, el área A1 puede definirse como un área de la superficie 15 en la que se aplica la composición depresora del punto de fusión 14 y área A1 desde la que el metal se extrae para formar la junta 25. El área en sección transversal A3 de la junta 25 puede definirse como el área más pequeña que tiene la junta 25 entre la primera parte de metal 11 y la segunda parte de metal 12. El área en sección transversal A3 puede tener la forma de una superficie curvada. Obviamente, las áreas A1 y A2 pueden tener la forma de superficies curvadas, dependiendo de la forma respectiva de la primera parte de metal 11 y la segunda parte de metal 12.

Dependiendo de la forma de las partes de metal que se van a unir, el área en la que se aplica la composición depresora del punto de fusión puede ser sustancialmente igual al área de una junta que se forma posteriormente.

5 Un número de experimentos y ejemplos se presentan a continuación para describir los materiales adecuados para la primera parte de metal 11, la segunda parte de metal 12, la composición de la composición depresora del punto de fusión 14, cantidades de la composición depresora del punto de fusión 14 que se deben utilizar, las temperaturas adecuadas para el calentamiento, durante cuánto tiempo se deberá realizar el calentamiento etc. Por tanto, se utilizan los resultados de estos experimentos y ejemplos para las entidades descritas anteriormente como la primera parte de metal 11, la segunda parte de metal 12, la composición depresora del punto de fusión 14, el punto de contacto 16, la junta 25 etc., es decir, todas las entidades descritas anteriormente pueden incorporar las características respectivamente relacionadas descritas en relación con los siguientes experimentos y ejemplos. A continuación, la composición depresora del punto de fusión se refiere como una "mezcla". La parte de metal puede denominarse "metal padre".

15 Un número de composiciones depresoras del punto de fusión adecuadas, es decir, composiciones depresoras de la temperatura del punto de fusión, se han probado. El componente activo en la composición depresora del punto de fusión es el fósforo (P). Los compuestos de fósforo se han seleccionado como una fuente de fósforo. Los compuestos incluyen  $Fe_3P$ , NiP y  $Mn_3P_2$ , donde  $Mn_3P_2$  es una mezcla de MNP y  $Mn_2P$ . Otros compuestos que incluyen fósforo se pueden utilizar igualmente – solo tienen que verificarse con respecto a su utilidad y en relación con el resultado que proporcionan, de manera similar a como se hace para el para  $Fe_3P$ , NiP y  $Mn_3P_2$  y se describe a continuación.

20 El  $Fe_3P$ , también denominado fosfuro de hierro, es un compuesto convencional que se obtuvo de la empresa Alfa Aesar, con un número CAS (Chemical Abstracts Service) 12023-53-9 y número MDL (Molecular Design Limited) MFCD00799762.

25 El  $Mn_3P_2$ , también denominado fosfuro de manganeso, es un compuesto convencional que se obtuvo de la empresa Alfa Aesar, con un número CAS (Chemical Abstracts Service) 12263-33-1 y número MDL (Molecular Design Limited) MFCD00064736.

30 El NiP, también denominado fósforo níquel, es un compuesto convencional que se enchapó sobre una parte de metal que se va a unir. La parte de metal que se va a unir se conoce también como metal de base o material de base. El chapado se realizó mediante la realización de un método de chapado de fósforo níquel convencional, como hace, por ejemplo, la empresa Brink Förnickligngsfabriken AB en Norrköping, Suecia.

35 Para algunos de los ejemplos, Si, o silicio, se utilizó. El silicio es un compuesto convencional que se obtuvo de la empresa Alfa Aesar, conocido como "polvo de silicio, cristalino, -325 malla, 99,5 % (base de metal)", con CAS 7440-21-3 y MDL MFCD00085311.

40 Cuando se busca en las composiciones atómicas de compuestos, mediante la aplicación de los pesos atómicos y mediante el uso de técnicas de cálculo convencionales se puede determinar que  $Fe_3P$  comprende el 16 % en peso de P (fósforo) y  $Mn_3P_2$  comprende el 27 % en peso de P. Cuando se realiza el chapado de níquel, aproximadamente el 11-14 % en peso de P están comprendidos en la capa de NiP.

45 Un aglutinante se utilizó para aplicar el  $Fe_3P$  y el  $Mn_3P_2$  en las partes de metal que se van a unir. El aglutinante (polímero y disolvente) es un aglutinante comercializado por Wall Colmonoy bajo el nombre de Nicorobraz S-20 (S-20). Una muestra del aglutinante se colocó sobre una placa metálica y se secó a 22 °C durante 24 h. El peso de la muestra fue de 0,56 g antes del secado y de 0,02 g después del secado. Por lo tanto, el 3,57 % en peso del aglutinante son componentes que permanecieron después del secado. Se preparó una composición depresora del punto de fusión donde  $Mn_3P_2$  y Si formaron un componente depresor del punto de fusión (componente depresor de temperatura del punto de fusión) y dónde el aglutinante S-20 formaría un componente aglutinante. La preparación se realizó mezclando primero  $Mn_3P_2$  con Si y después añadiendo y mezclando el aglutinante S-20. Dos variantes de la composición depresora del punto de fusión con diferentes cantidades de Si se prepararon, referidas como A1  $Mn_3P_2$  (A1) y B1  $Mn_3P_2$  (B1), como se muestra en la Tabla 1.

55

Tabla 1

X:	A1 $Mn_3P_2$	B1 $Mn_3P_2$
X:	10,00 g	10,00 g
Si	4,07 g	6,15 g
Suma X y Si	14,07 g	16,15 g
X:Si	2,46 :1	1,63 :1
S-20	16,80 g	15,98 g
Suma total	30,87 g	32,13 g

## ES 2 756 850 T3

Las composiciones A1 y A2 se aplicaron con probetas planas, circulares de acero inoxidable de tipo 316 L (grado de acero SAE) y con un diámetro de 42 mm.

5 En cada pieza de prueba otra pieza de un material diferente, 254 SMO (grado de acero SAE), se colocó. Esta otra pieza se muestra en la Figura 13 y tiene la forma de una placa circular, prensada 150, que tiene 42 mm de diámetro y un espesor de 0,4 mm. La placa prensada 150 tiene dos vigas prensadas v y h, cada una de aproximadamente 20 mm largo. Cuando la pieza con las vigas se colocó en la pieza plana, se formaron puntos de contacto donde las vigas de la pieza 150 colindaron con la otra pieza plana.

10 Las piezas, es decir, esa pieza circular plana y la placa prensada, se denominan como una muestra, y varias muestras se trataron con calor durante 2 horas al vacío a diferentes temperaturas para cada muestra. La Tabla 2 muestra qué cantidades de composiciones que se utilizaron para las muestras.

15 Para las muestras A1:1 a A1:3 y las muestras B1:1 a B1:3 el tratamiento térmico comprendió mantener las muestras a una temperatura de 1120 °C durante 2 horas al vacío.

Para las muestras A1:4 a A1:6 y las muestras B1:4 a B1:6 el tratamiento térmico comprendió mantener las muestras a una temperatura de 1140 °C durante 2 horas al vacío.

20 A1 indica la composición A1 Mn<sub>3</sub>P<sub>2</sub>, mientras que B2 indica la composición B1 Mn<sub>3</sub>P<sub>2</sub>. Los números después de A1 respectivamente B2 indican diferentes muestras, tal como se presenta en la Tabla 2. En esta tabla es el peso de la muestra lo que se presenta, que incluye el peso del componente depresor del punto de fusión y el peso del componente de aglutinante seco.

25

Tabla 2

Muestra	aglutinante seco + componente depresor del punto de fusión (g)
A1:1	0,22
A1:2	0,13
A1:3	0,14
A1:4	0,33
A1:5	0,1
A1:6	0,16
B1:1	0,19
B1:2	0,09
B1:3	0,16
B1:4	0,16
B1:5	0,34
B1:6	0,14

30

Después del tratamiento térmico se permitió que las muestras se enfriaran a una temperatura ambiente (22 °C) y se observó que las dos piezas de la muestra se unieron a lo largo de las longitudes de las vigas de la placa prensada 150, es decir, la muestra tiene juntas a lo largo de las vigas. Las muestras se cortaron a través de las juntas en dos secciones y se midió cada junta en su sección más amplia X, lo que se ilustra en la Figura 14. Los resultados se presentan en la Tabla 3 y se ilustran en el diagrama de la Figura 15, donde la anchura de la unión se representa como una función de la cantidad aplicada de la composición depresora del punto de fusión.

Tabla 3

Muestra	cantidad aplicada (g)	anchura (m)
A1-2	0,13	1640
A1-2	0,13	1610
A1-3	0,14	2070
A1-3	0,14	2240
A1-1	0,22	2961
A1-1	0,22	3050
B1-2	0,09	1240
B1-2	0,09	1220
B1-3	0,16	2010

(continuación)

Muestra	cantidad aplicada (g)	anchura (m)
B1-3	0,16	1600
B1-1	0,19	2170
B1-1	0,19	2290
A1-5	0,1	1831,9
A1-5	0,1	1810,1
A1-6	0,16	2195,01
A1-6	0,16	2202,28
A1-4	0,33	3107,34
A1-4	0,33	2993,13
B1-6	0,14	1470,32
B1-6	0,14	1661,94
B1-4	0,16	1832,65
B1-4	0,16	1810,9
B1-5	0,34	3264,29
B1-5	0,34	3237,96

- 5 Las investigaciones metalúrgicas se realizaron después para las juntas. Esto se hizo mediante el análisis de las secciones transversales de corte de las juntas en un denominado SEM-EDX, que es un microscopio electrónico de barrido convencional y disponible comercialmente con el detector de rayos X. La Figura 16 ilustra las ubicaciones de tres mediciones para la muestra A1-6 y la Tabla 4 muestra los resultados de las mediciones.

Tabla 4

Etiqueta espectral (sustancia química)	Espectro 1	Espectro 2	Espectro 3
C	3,04	2,86	2,95
Si	0,40	2,40	1,52
P	-	1,43	0,76
Cr	16,11	18,00	17,33
Mn	1,50	1,63	1,35
Fe	62,90	50,54	51,15
Ni	13,88	18,00	20,76
Mo	2,17	5,16	4,17
Total	100,00	100,00	100,00

- 10 Las investigaciones muestran que las juntas comprenden al menos el 90 % en peso de metal que, antes del calentamiento, era parte de cualquiera de la primera parte de metal y la segunda parte de metal, es decir, las piezas de la muestra. Esto se determina fácilmente puesto que Mn y P representan, juntos, menos del 2,2 % en peso.

- 15 También se hicieron investigaciones similares para la muestra B1-6. La Figura 9 ilustra las ubicaciones de tres mediciones para la muestra B1-6 y la Tabla 5 muestra los resultados de las mediciones.

Tabla 5

Etiqueta espectral (sustancia química)	Espectro 1	Espectro 2	Espectro 3
C	2,87	2,86	2,77
Si	0,43	2,58	0,42
P	0,17	1,76	
Cr	18,75	16,72	16,61
Mn	0,00	2,41	1,46
Fe	50,56	50,18	63,19
Ni	21,70	18,90	13,63
Mo	5,53	4,58	1,91
Total	100,00	100,00	100,00

- 20 Las investigaciones muestran que las juntas comprenden al menos el 90 % en peso de metal que, antes del calentamiento, era parte de cualquiera de la primera parte de metal y la segunda parte de metal, es decir, las piezas de la muestra. Esto se determina fácilmente puesto que Mn y P representan juntos menos del 4,2 % en peso.

- 25 En las siguientes piezas de prueba de acero inoxidable tipo 316, referidas como 316, con un diámetro de 42 mm se aplicaron tres composiciones depresoras del punto de fusión diferentes (una composición sobre una pieza respectiva):  
i)  $Mn_3P_2$ , ii) NiP chapado en 316 y iii) NiP chapado en 316 junto con Si como depresores del punto de fusión. El espesor

de NiP chapado fue de 50  $\mu\text{m}$ . 0,15 g de Si se aplicó por pintura convencional. En cada pieza una pieza prensada similar a la de la Figura 13 de tipo 254 SMO se colocó. Las piezas formaron las muestras que se trataron térmicamente durante 2 horas al vacío a 1120 °C. Las juntas se formaron entre las piezas.

- 5 La Tabla 6 muestra un análisis de una sección transversal de corte de las juntas mediante el uso de SEM-EDX para la muestra con 50  $\mu\text{m}$  de NiP chapado. A partir del resultado, parece que la junta comprende al menos el 20 % en peso de metal que, antes del calentamiento, era parte de cualquiera de la pieza (primera parte de metal) o la segunda pieza (segunda parte de metal). La Figura 18 muestra la ubicación de las mediciones en la junta.

10

Tabla 6

Etiqueta espectral (sustancia química)	Espectro 10	Espectro 5	Espectro 6	Espectro 7	Espectro 8	Espectro 9
C	0,91	1,48	0,67	1,20	0,99	2,34
Si	0,32	0,26	0,29	-	0,18	-
P	1,07	9,60	0,95	14,41	1,06	10,84
Cr	7,42	8,83	7,64	17,99	7,78	13,27
Mn	-	0,61	-	0,51	-	0,43
Fe	33,22	23,11	33,69	20,17	33,60	23,03
Ni	56,01	54,25	55,61	40,95	55,06	46,83
Mo	1,06	1,86	1,16	4,77	1,33	3,25
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

15

La Tabla 7 muestra un análisis de una sección transversal de corte de las juntas mediante el uso de SEM-EDX para la muestra con 50  $\mu\text{m}$  de NiP chapado donde se ha aplicado una cantidad de 0,15 g de Si (pintado) en la superficie de placa. A partir del resultado, parece que la junta comprende más metal en comparación con la prueba donde no se utilizó Si. Una mayor cantidad de Si aumentaría más probablemente la cantidad de metal en la junta que proviene de las piezas de ensayo. La Figura 19 muestra la ubicación de las mediciones en la junta.

Tabla 7

Etiqueta espectral (sustancia química)	Espectro 11	Espectro 12	Espectro 13
C	7,44	6,41	6,34
Si	1,48	1,71	1,06
P	2,22	1,99	2,43
Cr	5,76	8,83	0,48
Mn	11,13	12,33	9,47
Fe	0,39	0,51	0,00
Ni	30,33	26,57	38,80
Mo	38,70	38,19	40,10
Total	2,54	3,46	1,33
C	100,00	100,00	100,00

20

La Tabla 8 muestra un análisis de una sección transversal de corte de las juntas mediante el uso de SEM-EDX para la muestra con  $\text{Mn}_3\text{P}_2$ . El  $\text{Mn}_3\text{P}_2$  se ha mezclado al 50 % en peso:50 % en peso con el aglutinante S-20 pero sin utilizar Si. Se aplicó una cantidad de 0,2 g (después del secado del componente aglutinante). A partir del resultado, parece que la junta comprende al menos el 80 % en peso de metal que antes de la unión era parte de los productos que se han unido. La Figura 12 muestra la ubicación de las mediciones del espectro 1 en la junta.

25

Tabla 8

Etiqueta espectral (sustancia química)	Espectro 1	Espectro 2
C	-	2,28
Si	0,29	0,31
P	6,33	7,23
Cr	-	0,54
Mn	21,70	22,65
Fe	1,08	1,40
Ni	51,93	46,63
Mo	12,02	12,19
Total	6,65	6,78
C	100,00	100,00

### Método

30

En referencia a la Figura 21, se ilustra un diagrama de flujo del método para unir una primera y segunda parte de metal. Las partes de metal pueden realizarse de diferentes materiales como se describió antes.

## ES 2 756 850 T3

5 En una primera etapa 201 la composición depresora del punto de fusión se aplica en la superficie de una de las partes de metal (en este caso la primera parte de metal). La aplicación per se puede realizarse por técnicas convencionales, por ejemplo pulverización o pintura en caso de que la composición depresora del punto de fusión comprenda un componente aglutinante, y por PVD o CVD en caso de que no se use componente aglutinante.

10 En la siguiente etapa 202 la segunda parte de metal se lleva en contacto con la composición depresora del punto de fusión en un punto de contacto en la superficie. Esto puede realizarse manual o automáticamente empleando sistemas de fabricación automatizados convencionales.

15 En la siguiente etapa 303 las partes de metal se calientan a una temperatura superior a 1000 °C. La temperatura exacta puede encontrarse en los ejemplos anteriores. Durante el calentamiento una superficie de al menos la primera parte de metal se funde y junto con el componente depresor del punto de fusión, forma una capa de metal fundida que está en contacto con la segunda parte de metal en el punto de contacto entre la primera parte de metal y la segunda parte de metal. Cuando esto ocurre, el metal de la capa metálica fundida fluye hacia el punto de contacto.

20 En la etapa final 204 la capa metálica fundida puede solidificarse, de manera que se obtiene una junta en el punto de contacto, es decir el metal que ha fluido al punto de contacto se solidifica. La solidificación incluye normalmente disminuir la temperatura a la temperatura ambiente normal. Sin embargo, la solidificación también ocurre durante el proceso físico de redistribución de componentes (fósforo y opcionalmente silicio) en el área de junta, antes de disminuir la temperatura.

25 Desde la descripción anterior sigue que, aunque diversas realizaciones de la invención se han descrito y mostrado, la invención no se limita a ello, sino que puede también incorporarse de otras maneras dentro del alcance de la materia objeto definida en las reivindicaciones siguientes.

## REIVINDICACIONES

1. Un método de unir una primera parte de metal (11) con una segunda parte de metal (12), teniendo las partes de metal (11, 12) una temperatura de solidus por encima de 1000 °C, **caracterizado** el método **por** comprender las siguientes etapas:
- aplicar (201) una composición depresora del punto de fusión (14) en una superficie (15) de la primera parte de metal (11), comprendiendo la composición depresora del punto de fusión (14)
    - un componente depresor del punto de fusión que comprende al menos el 25 % en peso de fósforo y silicio para disminuir una temperatura de fusión de la primera parte de metal (11), y
    - opcionalmente, un componente aglutinante para facilitar la aplicación (201) de la composición depresora del punto de fusión (14) en la superficie (15), y
    - opcionalmente, un metal de carga que está presente en cantidades de menos del 75 % en peso,
  - poner (202) la segunda parte de metal (12) en contacto con la composición depresora del punto de fusión (14) en un punto de contacto (16) en dicha superficie (15).
  - calentar (203) la primera y la segunda partes de metal (11, 12) a una temperatura superior a 1000 °C, fundiéndose así dicha superficie (15) de la primera parte de metal (11) de tal manera que una capa superficial (21) de la primera parte de metal (11) se funde y, junto con el componente depresor del punto de fusión, forma una capa de metal fundido (210) que está en contacto con la segunda parte de metal (12) en el punto de contacto (16) y
  - permitir (204) que la capa de metal fundido (210) se solidifique y forme una junta (25) en el punto de contacto (16), comprendiendo la junta (25) al menos el 50 % en peso de metal que, antes del calentamiento (203), era parte de cualquiera de la primera parte de metal (11) y la segunda parte de metal (12).
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el fósforo se origina a partir de un compuesto de fósforo seleccionado de al menos cualquiera de los siguientes compuestos:  $Mn_xP_y$ ,  $Fe_xP_y$  y  $Ni_xP_y$ .
3. Un método de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en donde el silicio se origina a partir cualquiera de silicio elemental y silicio de un compuesto de silicio seleccionado de al menos cualquiera de los siguientes compuestos: carburo de silicio, boruro de silicio y ferrosilicio.
4. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde el componente depresor del punto de fusión comprende cualquiera de al menos el 35 % en peso y al menos el 55 % en peso de fósforo y silicio.
5. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde el fósforo constituye al menos el 10 % en peso del contenido de fósforo y silicio del compuesto depresor del punto de fusión.
6. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde el silicio constituye al menos el 55 % en peso del contenido de fósforo y silicio del compuesto depresor del punto de fusión.
7. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde el componente depresor del punto de fusión comprende menos del 50 % en peso de elementos metálicos.
8. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en donde el componente depresor del punto de fusión comprende menos del 10 % en peso de elementos metálicos.
9. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en donde la primera parte de metal comprende un espesor de 0,3-0,6 mm y la aplicación (201) de la composición depresora del punto de fusión (14) comprende la aplicación de una media de 0,02-1,00 mg de fósforo y silicio por  $mm^2$  sobre la superficie (15) de la primera parte de metal (11).
10. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en donde la primera parte de metal comprende un espesor de 0,6-1,0 mm y la aplicación (201) de la composición depresora del punto de fusión (14) comprende la aplicación de una media de 0,02-2,0 mg de fósforo y silicio por  $mm^2$  sobre la superficie (15) de la primera parte de metal (11).
11. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en donde la superficie (15) tiene un área (A1) que es mayor que un área (A2) definida por el punto de contacto (16) sobre dicha superficie (15), de manera que el metal en la capa de metal fundido (21') fluye al punto de contacto (16) cuando se permite (204) la formación de la junta (25).
12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, en donde el área (A1) de la superficie (15) es al menos 3 veces más grande que el área (A2) definida por el punto de contacto (16).

## ES 2 756 850 T3

13. Un método de acuerdo con las reivindicaciones 11 o 12, en donde el área (A1) de la superficie (15) es al menos 10 veces mayor que un área de sección transversal (A3) de la junta (25).

5 14. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-13, en donde cualquiera de la primera parte de metal (11) y la segunda parte de metal (12) comprende una pluralidad de protuberancias (28, 29) que se extienden hacia la otra parte de metal, de manera que cuando se pone (202) la segunda parte de metal (12) en contacto con dicha superficie (15), una pluralidad de puntos de contacto (16, 116) se forman en dicha superficie (15).

10 15. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-14, en donde la primera parte de metal comprende uno de:

- >50 % en peso de Fe, <13 % en peso de Cr, <1 % en peso de Mo, <1 % en peso de Ni y <3 % en peso de Mn;
- >90 % en peso de Fe;
- >65 % en peso de Fe y >13 % en peso de Cr;
- 15 • >50 % en peso Fe, >15,5 % en peso % de Cr y >6 % en peso de Ni;
- >50 % en peso Fe, >15,5 % en peso de Cr, 1-10 % en peso de Mo y >8 % en peso de Ni;
- >97 % en peso de Ni;
- >10 % en peso de Cr y >60 % en peso de Ni;
- >15 % en peso de Cr, >10 % en peso de Mo y >50 % en peso de Ni;
- 20 • >70 % en peso de Co,
- >80 % en peso de Cu; y
- >10 % en peso de Fe, 0,1-30 % en peso de Mo, 0,1-30 % en peso de Ni y >50 % en peso de Co.

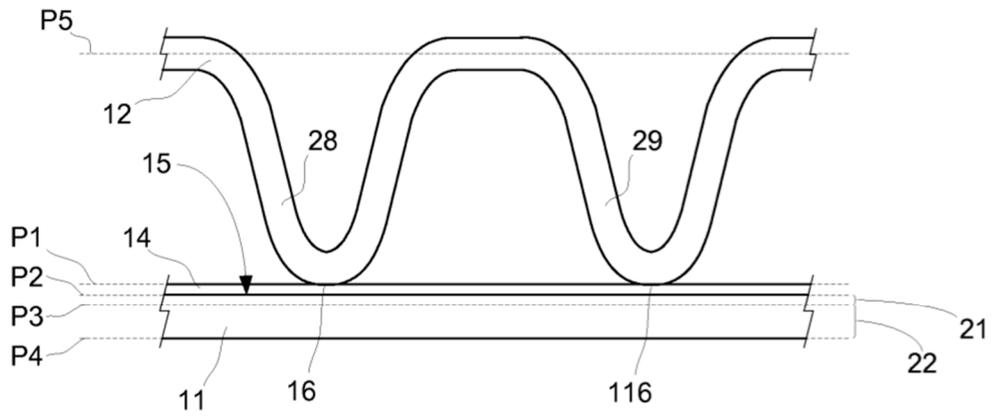


Fig. 1

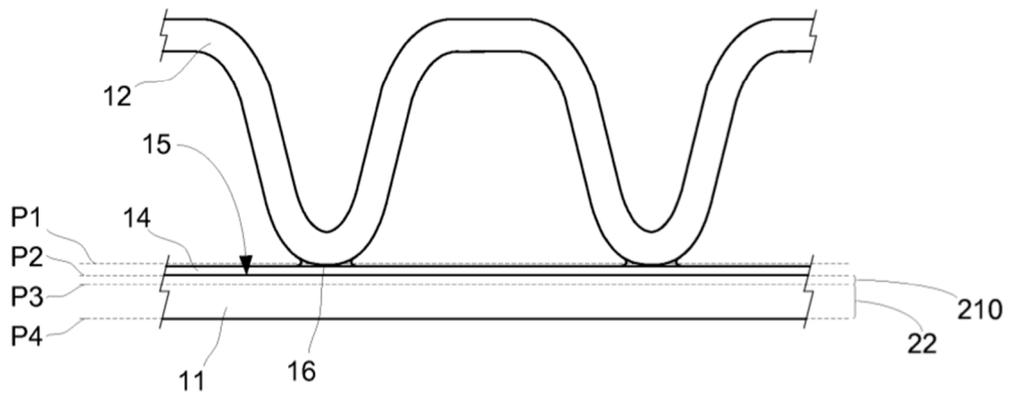


Fig. 2

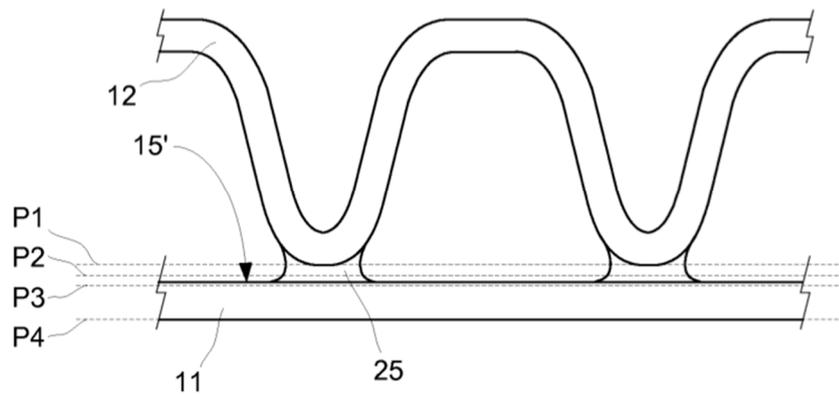


Fig. 3

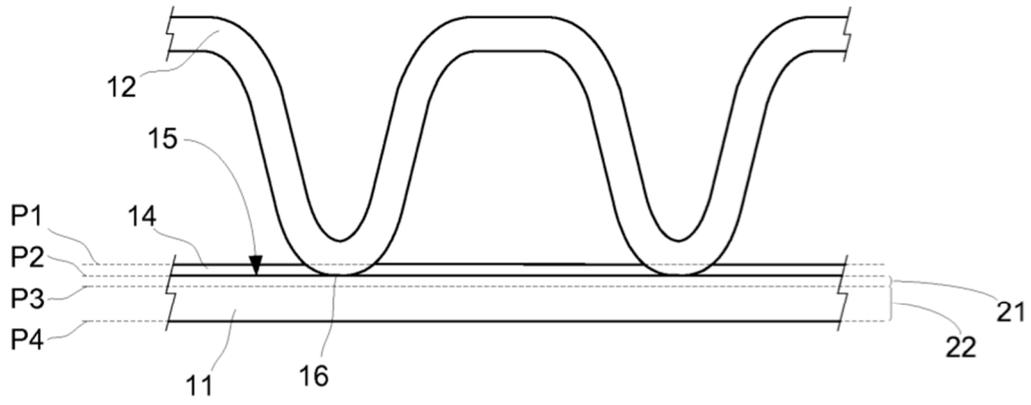


Fig. 4

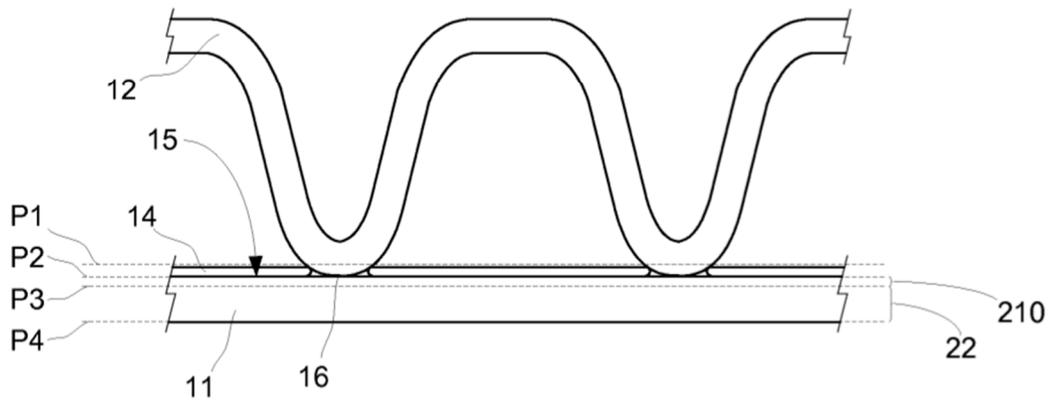


Fig. 5

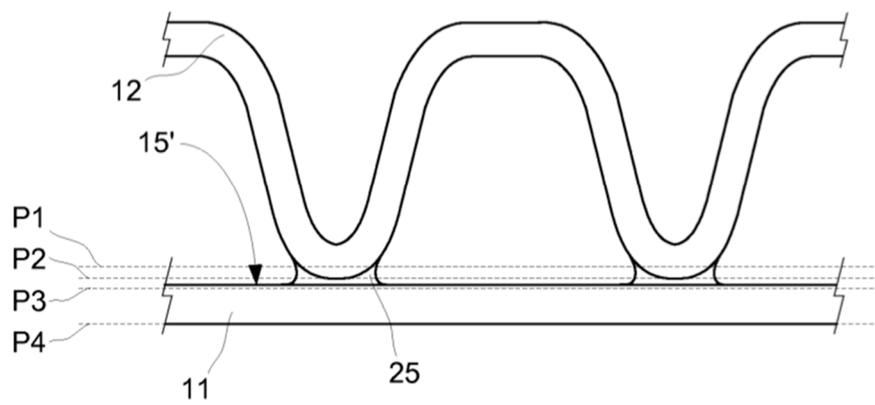


Fig. 6

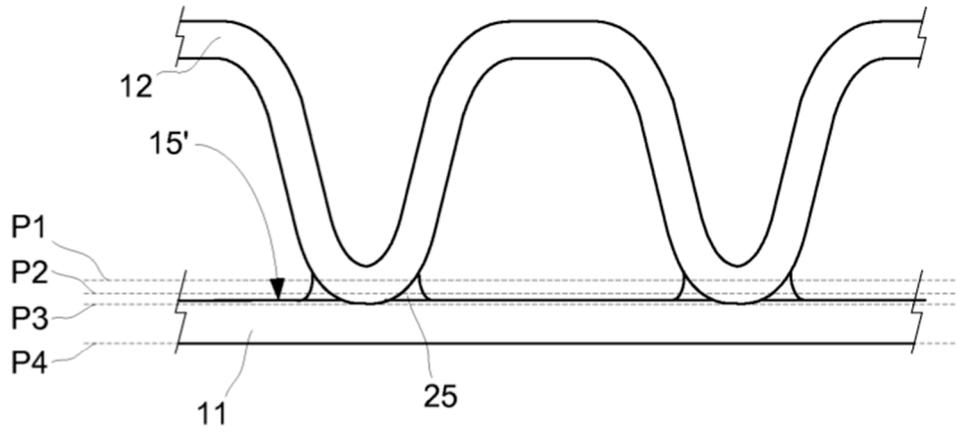


Fig. 7

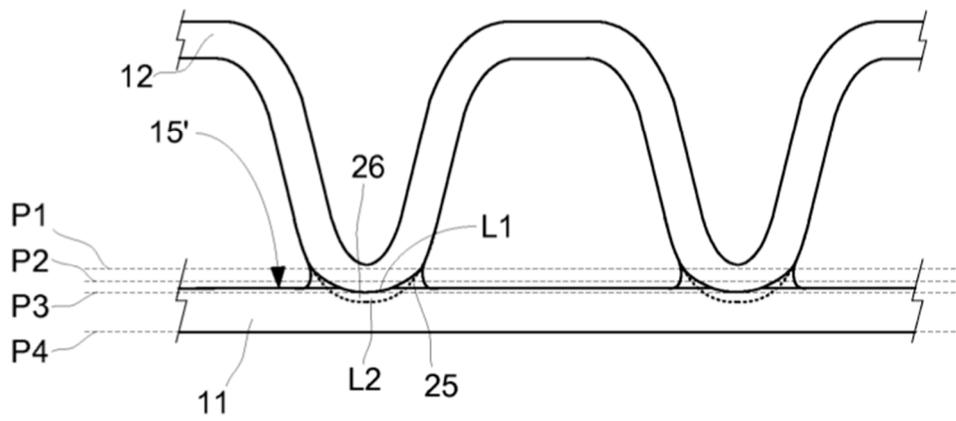


Fig. 8

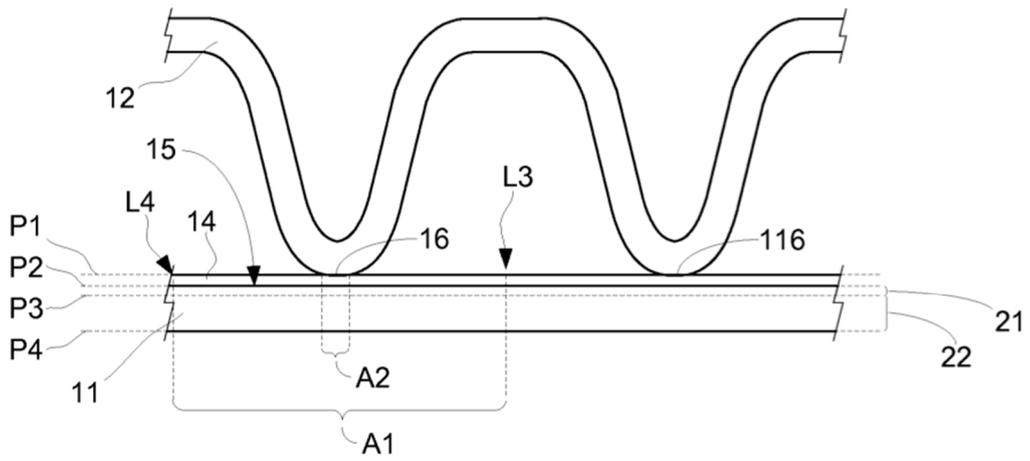


Fig. 9

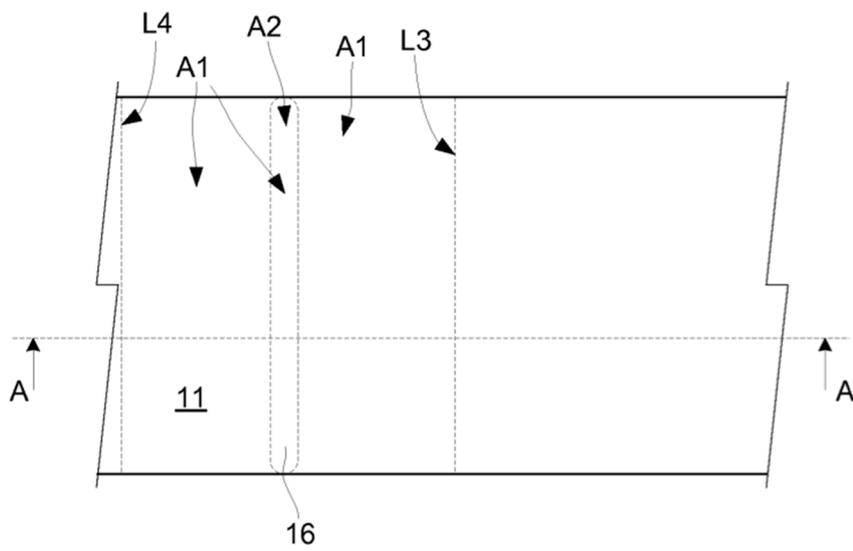
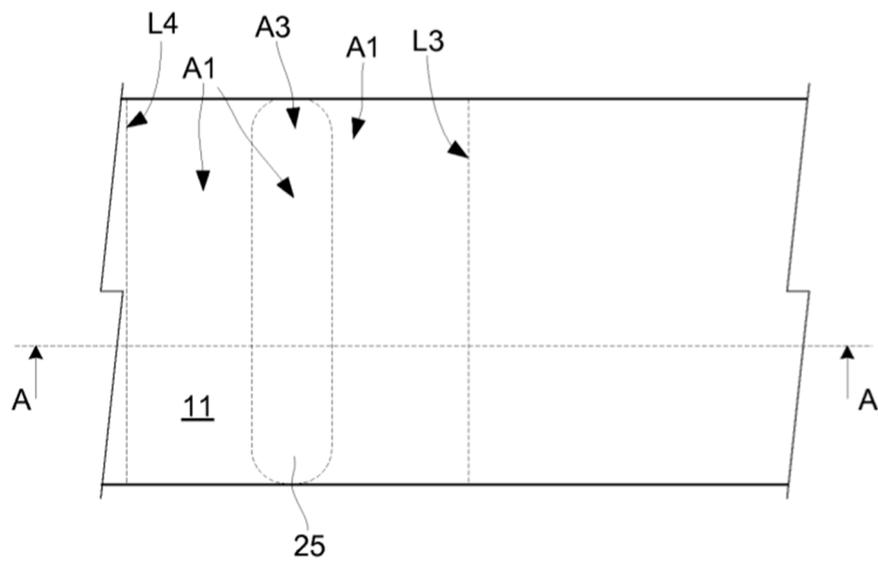
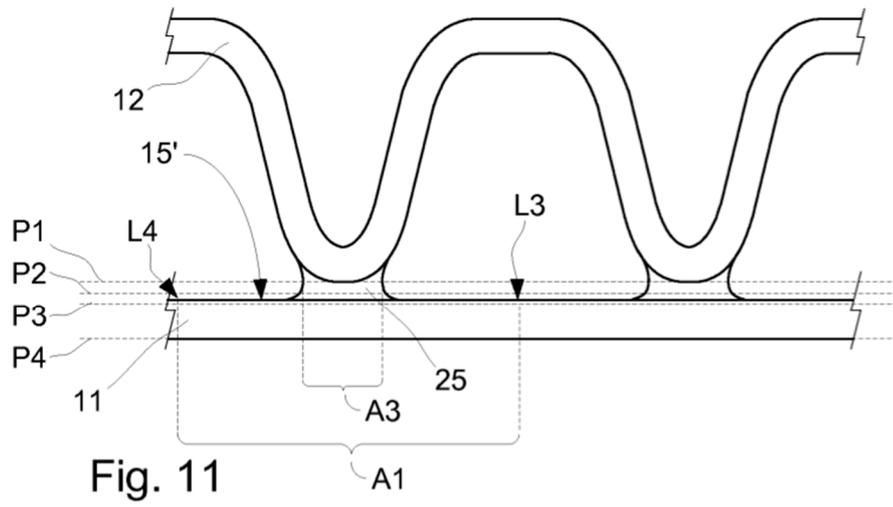


Fig. 10



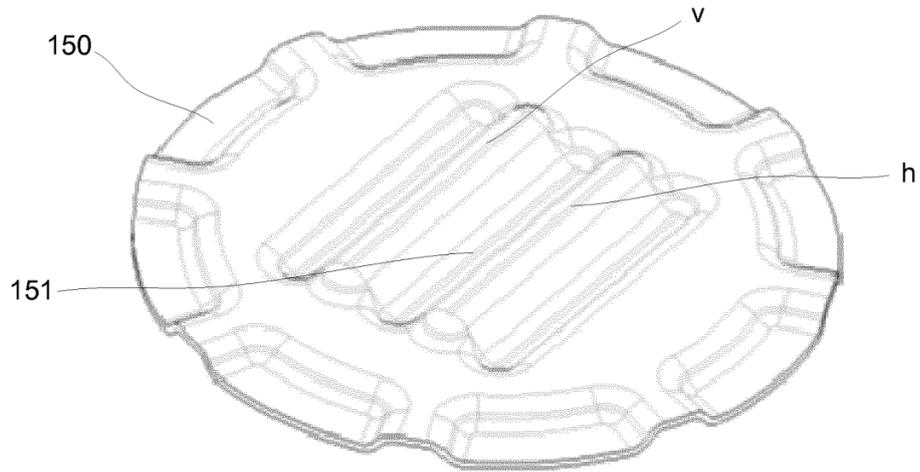


Fig. 13

v

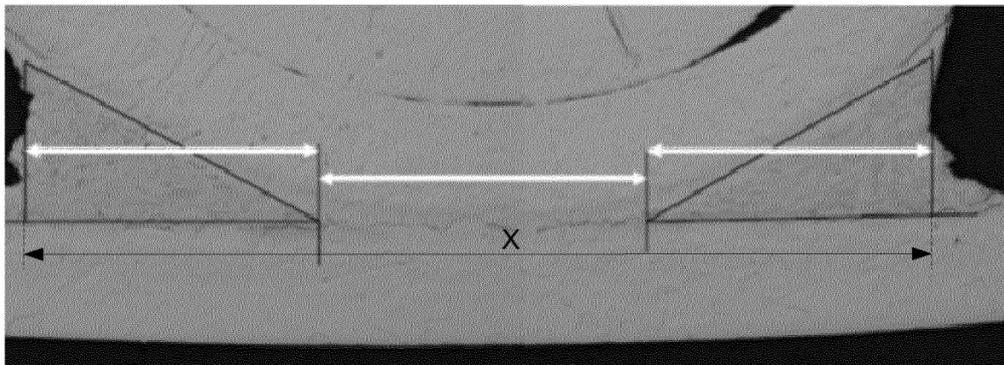


Fig. 14

Anchura ( $\mu\text{m}$ )

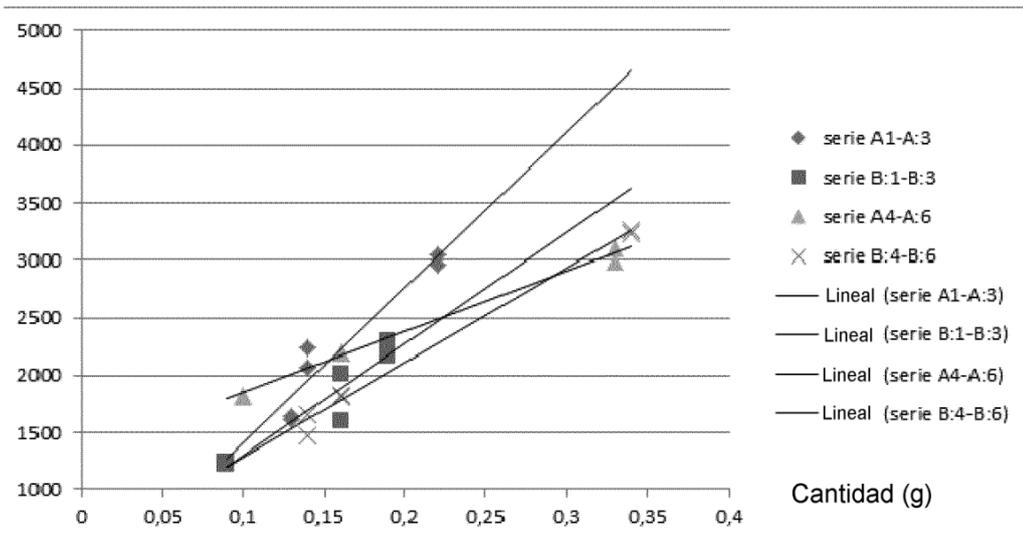


Fig. 15

Imagen electrónica 1

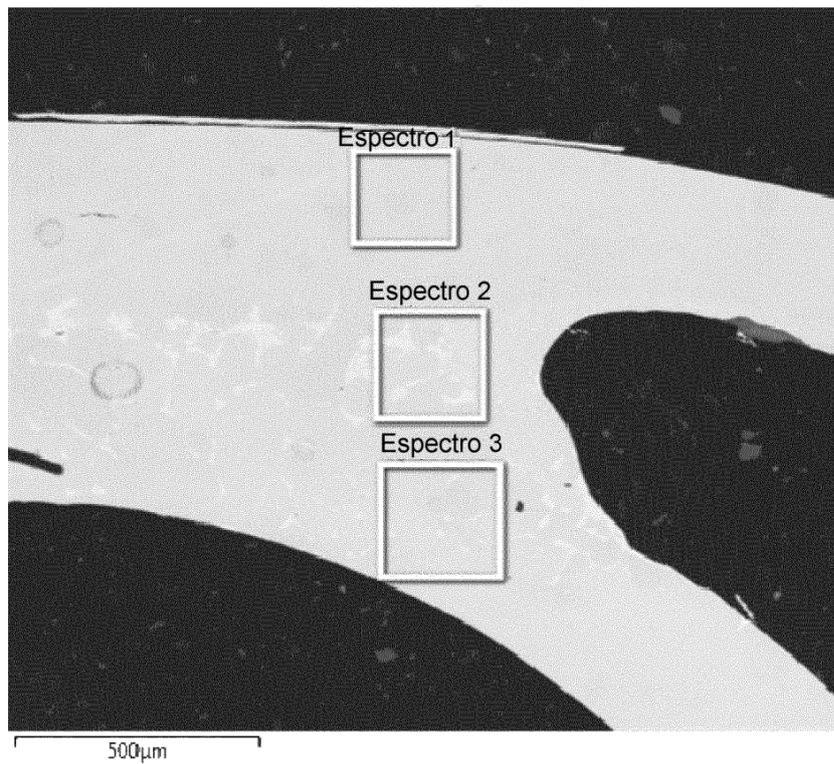


Fig. 16

Imagen electrónica 1

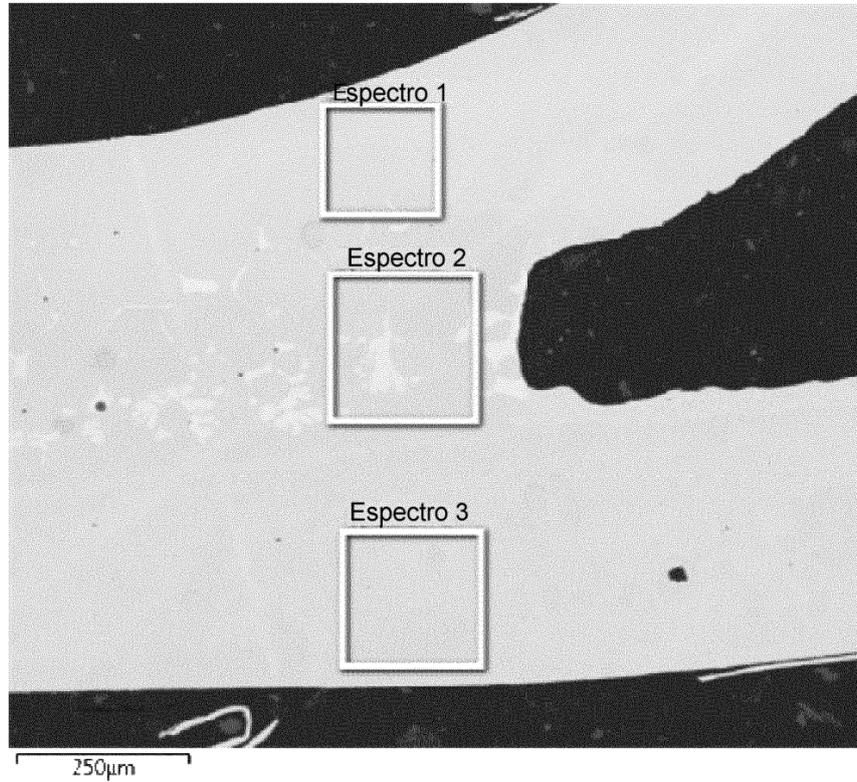


Fig. 17

Muestra 50

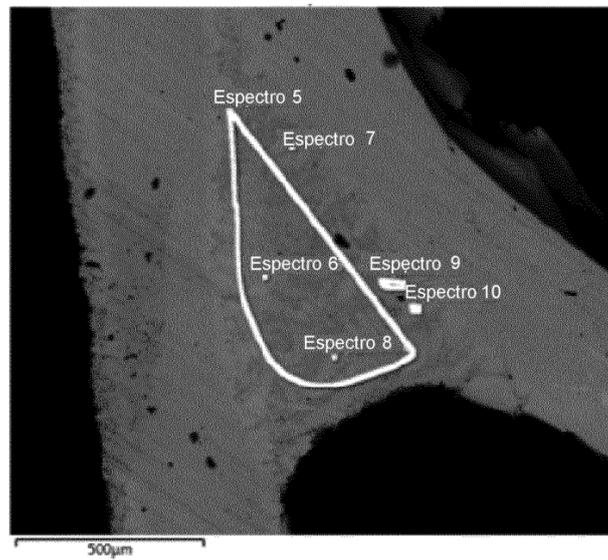


Fig. 18

Imagen electrónica 4

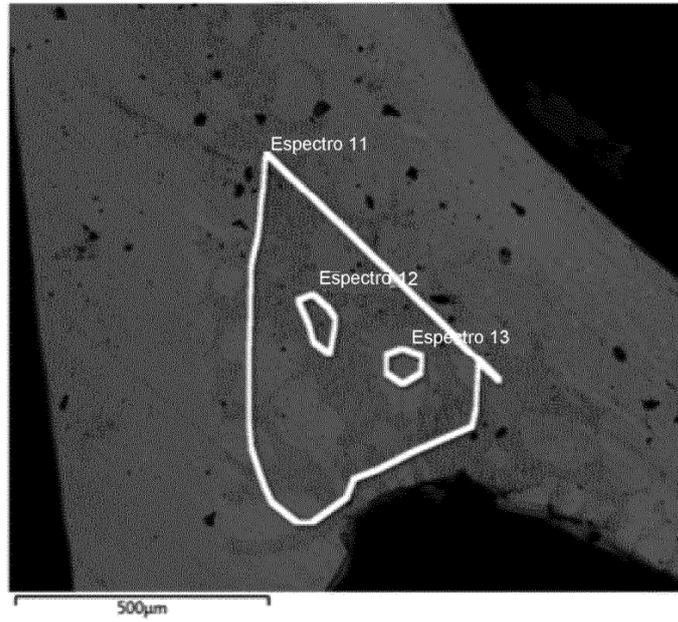


Fig. 19

Imagen electrónica 1

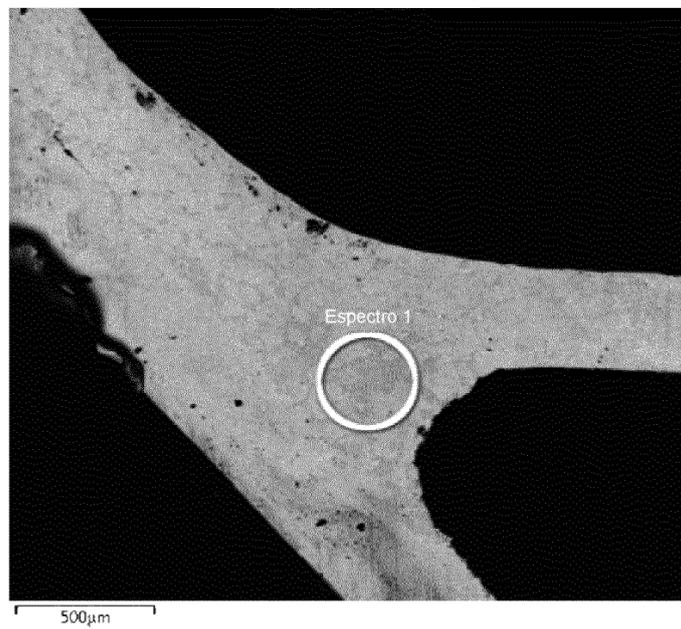


Fig. 20

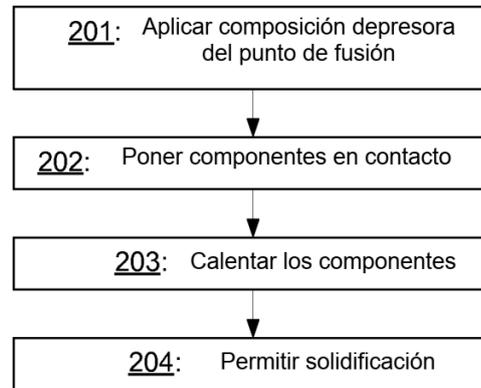


Fig. 21