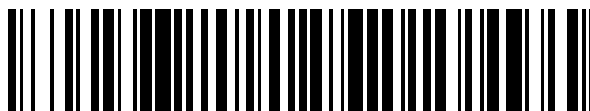


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 617 219**

51 Int. Cl.:

B23K 35/365	(2006.01)	B23K 20/00	(2006.01)
B23K 35/00	(2006.01)	B23K 20/24	(2006.01)
B23K 35/02	(2006.01)	B23K 35/24	(2006.01)
C22C 19/00	(2006.01)	B32B 15/01	(2006.01)
B23K 1/00	(2006.01)	C22C 1/02	(2006.01)
B23K 1/20	(2006.01)	C23C 24/10	(2006.01)
B21D 53/04	(2006.01)	C23C 30/00	(2006.01)
B23K 35/34	(2006.01)	F28F 3/04	(2006.01)
B23K 35/36	(2006.01)	F28F 21/08	(2006.01)
B23K 35/362	(2006.01)	F28D 9/00	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.03.2013 PCT/EP2013/056530**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **03.10.2013 WO2013144211**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.03.2013 E 13715637 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.12.2016 EP 2830821**

54 Título: **Método para unir partes metálicas**

30 Prioridad:

28.03.2012 EP 12161742

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

15.06.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SJÖDIN, PER y
WALTER, KRISTIAN**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 617 219 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 metálicas

5 **Campo técnico**

La invención se refiere a un método para unir una primera parte metálica a una segunda parte metálica usando una composición que disminuye el punto de fusión. La invención también se refiere a la composición que disminuye el punto de fusión y a productos que comprenden las partes metálicas unidas.

10

Antecedentes de la técnica

En la actualidad existen diferentes métodos de unión para la unión de partes metálicas (objetos metálicos o piezas de trabajo metálicas) que están fabricadas a partir de elementos metálicos, elementos metálicos que incluyen diversos metales elementales así como diversas aleaciones metálicas. Las partes metálicas en cuestión tienen, en virtud de los elementos metálicos o aleaciones a partir de las que se forman, una temperatura de fusión de al menos 1100 °C, lo que significa que las partes metálicas no pueden estar formadas por ejemplo de cobre puro, aluminio puro o diversas aleaciones basadas en aluminio. Algunos ejemplos de metal con el que se pueden preparar las partes metálicas por lo general son aleaciones basadas en hierro, níquel y cobalto.

15

Un método común para unir tales partes metálicas es la soldadura, que es un método en el que el metal en la parte metálica con o sin material adicional se funde, es decir, se forma un producto fundido mediante fusión y posterior re-solidificación.

20

Otro método de unión es la soldadura fuerte, que es un proceso de unión de metales en el que un primer metal de relleno se aplica en al menos una de las dos partes metálicas a unir y a continuación se calienta por encima de su punto de fusión y se distribuye entre las partes metálicas mediante acción capilar. El metal de relleno se lleva por encima de su temperatura de fusión, por lo general bajo protección en una atmósfera adecuada. A continuación, el metal de relleno fluye sobre las partes metálicas hacia los puntos de contacto en los que forma uniones.

25

Por lo general, cuando se realiza una soldadura fuerte, un metal de relleno se aplica en contacto con un hueco o un espacio libre entre las partes metálicas a unir. Durante el proceso de calentamiento, el metal de relleno se funde y rellena el hueco a unir. En el proceso de soldadura fuerte, hay tres etapas principales en el que la primera etapa se denomina etapa física. La etapa física incluye humectación y flujo del metal de relleno. La segunda etapa normalmente se produce a una temperatura de unión dada. Durante esta etapa, existe una interacción de sólido-líquido, que va acompañada por una transferencia de masa sustancial. Un pequeño volumen de las partes metálicas inmediatamente se une al metal de relleno líquido se disuelve o se hace reaccionar con el metal de relleno en esta etapa. Al mismo tiempo, una pequeña cantidad de elementos de las fases líquidas penetra en las partes metálicas sólidas. Esta redistribución de componentes en el área de unión da como resultado cambios en la composición del metal de relleno, y en ocasiones, el comienzo de la solidificación del metal de relleno. La última etapa, que se superpone con la segunda, se caracteriza por la formación de la microestructura de la unión final y evoluciona durante la solidificación y enfriamiento de la unión. El volumen de las partes metálicas que se une al metal de relleno líquido es muy pequeño, es decir, la unión se forma con su mayor alcance mediante el metal de relleno. Por lo general, cuando se realiza una soldadura fuerte, al menos un 95 % del metal en la unión proviene del metal de relleno. Un ejemplo de una técnica de soldadura fuerte se encuentra en el documento de patente WO2008/060225.

30

Otro método para unir dos partes metálicas (materiales precursores) es la unión por difusión de fase líquida transitoria (unión TLP) en la que la difusión se produce cuando un elemento que disminuye el punto de fusión de una intercapa se mueve en la red cristalina y en los límites del grano de las partes metálicas a la temperatura de unión. Los procesos de difusión de estado sólido a continuación conducen a un cambio de composición en la superficie de contacto de la unión y la intercapa desigual se funde a una temperatura inferior que los materiales precursores. De este modo, una capa fina de líquido se extiende a lo largo de la superficie de contacto para formar una unión a una temperatura menor que el punto de fusión de cualquiera de las partes metálicas. Una reducción de la temperatura de unión conduce a la solidificación del fundido, y esta fase se puede difundir posteriormente en las partes metálicas manteniéndola a la temperatura de unión durante un periodo de tiempo.

35

Los métodos de unión tales como soldadura, soldadura fuerte y unión TLP unen partes metálicas de manera satisfactoria. Sin embargo, la soldadura tiene sus limitaciones ya que puede ser muy caro o incluso imposible crear un gran número de uniones cuando es difícil acceder a ellas. La soldadura fuerte también tiene sus limitaciones, por ejemplo porque en ocasiones puede ser difícil aplicar de manera adecuada o incluso determinar un metal de relleno más adecuado. La unión TLP es ventajosa cuando va a unir materiales diferentes pero tiene sus limitaciones. Por ejemplo, a menudo es difícil encontrar una intercapa adecuada y el método no es realmente adecuado para crear una unión cuando se van a rellenar huecos grandes o cuando se va a formar una unión relativamente grande.

40

Por lo tanto, cuando se selecciona un cierto método de unión están implicados muchos factores. Los factores que también son fundamentales son el coste, productividad, seguridad, velocidad del proceso y propiedades de la unión

45

que une las partes metálicas así como propiedad desde las partes metálicas *per se* y después de la unión. Aunque los métodos mencionados anteriormente tienen sus ventajas, todavía existe la necesidad de un método de unión para su uso como un complemento para los presentes métodos, en particular si se tienen en cuenta factores tales como el coste, productividad, seguridad y velocidad del proceso.

5

Sumario

Un objetivo de la invención es mejorar las técnicas mencionadas anteriormente y la técnica anterior. En particular, un objetivo es proporcionar un método para unir partes metálicas (piezas de trabajo metálicas, es decir piezas de trabajo u objetos que están hechos de metal) de una manera sencilla y confiable a la vez que aún se produce una unión fuerte entre las partes metálicas.

10

Para conseguir estos objetivos se proporciona un método para unir una primera parte metálica a una segunda parte metálica. El método se usa para partes metálicas que tienen una temperatura de sólido superior a 1100 °C. El método comprende:

15

aplicar una composición que disminuye el punto de fusión en una superficie de la primera parte metálica, la composición que disminuye el punto de fusión comprendiendo un componente que disminuye el punto de fusión que comprende al menos un 25 % en peso de boro y silicio para disminuir la temperatura de fusión de la primera parte metálica, y opcionalmente, un componente aglutinante para facilitar la aplicación de la composición que disminuye el punto de fusión en la superficie;

20

poner la segunda parte metálica en contacto con la composición que disminuye el punto de fusión con un punto de contacto en dicha superficie; calentar la primera y segunda partes metálicas a una temperatura superior a 1100 °C, fundiéndose de ese modo dicha superficie de la primera parte metálica de modo que se funde una capa superficial de la primera parte metálica y, junto con el componente que disminuye el punto de fusión, forma una capa metálica fundida (en estado fundido) que está en contacto con la segunda parte metálica en el punto de contacto; y permitir que la capa metálica fundida se solidifique, de modo que se obtiene una unión en el punto de contacto.

25

El metal en las partes metálicas puede tener la forma por ejemplo de aleaciones basadas en hierro, níquel y cobalto, ya que por lo general tienen una temperatura de sólido superior a 1100 °C. Las partes metálicas pueden no ser cobre puro, aleaciones basadas en cobre, aluminio puro o aleaciones basadas en aluminio que no tengan una temperatura de sólido superior a 1100 °C. El metal en la parte metálica o, incluso la parte metálica *per se*, se pueden denominar "metal precursor" o "material precursor". En este contexto, una aleación "basada en hierro" es una aleación en la que el hierro tiene el porcentaje de peso más elevado de todos los elementos en la aleación (% en peso). La situación correspondiente también se aplica para aleaciones basadas en níquel, cobalto cromo y aluminio.

30

Como se ha indicado, la composición que disminuye el punto de fusión comprende al menos un componente, que es el componente que disminuye el punto de fusión. Opcionalmente, la composición que disminuye el punto de fusión comprende un componente aglutinante. Se considera que todas las sustancias o partes de la composición que disminuye el punto de fusión que contribuyen a disminuir la temperatura de fusión de al menos una primera parte metálica forman parte del componente que disminuye el punto de fusión. Se considera que las partes de la composición que disminuye el punto de fusión que no están implicadas en la disminución de una temperatura de fusión de al menos la primera parte metálica sino que en su lugar "se une a" la composición que disminuye el punto de fusión, de modo que forma por ejemplo una pasta, pintura o suspensión, forman parte del componente aglutinante. Por supuesto, el componente que disminuye el punto de fusión puede incluir otros componentes, tales como pequeñas cantidades de metal de relleno. Sin embargo, tal metal de relleno puede no representar más de un 75 % en peso del componente que disminuye el punto de fusión, ya que al menos un 25 % en peso del componente que disminuye el punto de fusión comprende boro y silicio. Si un metal de relleno se incluye en la composición que disminuye el punto de fusión, éste siempre forma parte del componente que disminuye el punto de fusión.

40

45

50

En este contexto, "boro y silicio" se refiere a la suma de boro y silicio en el componente que disminuye el punto de fusión, tal como se calcula en % en peso. En el presente documento, % en peso se refiere al porcentaje de peso que se determina multiplicando la fracción de masa por 100. Como se sabe, la fracción de masa de una sustancia en un componente es la proporción de la concentración de masa de esa sustancia (densidad de esa sustancia en el componente) con respecto a la densidad del componente. Por lo tanto, por ejemplo, al menos un 25 % en peso de boro y silicio significa que el peso total de boro y silicio es al menos 25 g en una muestra de 100 g de componente que disminuye el punto de fusión. Evidentemente, si un componente aglutinante está incluido en la composición que disminuye el punto de fusión, entonces el % en peso de boro y silicio en la composición que disminuye el punto de fusión puede ser inferior a un 25 % en peso. Sin embargo, al menos un 25 % en peso de boro y silicio siempre está presente en el componente que disminuye el punto de fusión, que, como se ha indicado, también incluye cualquier metal de relleno que pueda estar incluido, es decir el metal de relleno siempre se contempla como parte de la composición que disminuye el punto de fusión.

55

60

El "boro" incluye todo el boro en el componente que disminuye el punto de fusión, que incluye boro elemental así como boro en un compuesto de boro. De manera correspondiente, el "silicio" incluye todo el silicio en el componente

65

que disminuye el punto de fusión, que incluye silicio elemental así como silicio en un compuesto de silicio. Por lo tanto, tanto el boro como el silicio se pueden representar, en el componente que disminuye el punto de fusión, por el boro y silicio en diversos compuestos de boro y silicio.

- 5 Evidentemente, la composición que disminuye el punto de fusión es muy diferente de las sustancias de soldadura fuerte convencionales dado que tiene mucho más metal de relleno con respecto a la depresión de fundido como boro y silicio. Por lo general, las sustancias de soldadura fuerte tienen menos de un 18 % en peso de boro y silicio.

- 10 El método es ventajoso porque el metal de relleno se puede reducir o incluso excluir y porque se puede aplicar para partes metálicas que están formadas por materiales diferentes. También se puede usar dentro de una amplia gama de aplicaciones, por ejemplo para unir placas de transferencia de calor o cualquier objeto de metal adecuado que de otro modo se unen por ejemplo mediante soldadura o soldadura fuerte convencional.

- 15 Por supuesto, la composición que disminuye el punto de fusión también se puede aplicar en la segunda parte metálica.

- 20 El boro se puede a partir de cualquiera de boro elemental y boro de un compuesto de boro seleccionado entre al menos cualquiera de uno de los siguientes compuestos: carburo de boro, boruro de silicio, boruro de níquel y boruro de hierro. El silicio se puede originar a partir de cualquiera de silicio elemental y silicio de un compuesto de silicio seleccionado entre al menos cualquiera de uno de los siguientes compuestos: carburo de silicio, boruro de silicio y ferrosilicio.

- 25 El componente que disminuye el punto de fusión puede comprender al menos un 40 % en peso de boro y silicio, o puede incluso comprender al menos un 85 % en peso de boro y silicio. Esto significa que si cualquier metal de relleno está presente, éste está presente en cantidades inferiores a un 60 % en peso respectivamente menos de un 15 % en peso. El componente que disminuye el punto de fusión puede incluso comprender al menos un 95 % en peso de boro y silicio.

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

- 35 El componente que disminuye el punto de fusión puede comprender menos de un 50 % en peso de elementos metálicos, o menos de un 10 % en peso de elementos metálicos. Tales elementos metálicos se corresponden con el "relleno metálico" que se ha discutido anteriormente. Tales pequeñas cantidades de elementos metálicos o de relleno metálico diferencian la composición que disminuye el punto de fusión rigurosamente de, por ejemplo, composiciones de soldadura fuerte conocidas ya que comprenden al menos un 60 % en peso de elementos metálicos. En el presente documento, los "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, el hierro (Fe), níquel (Ni), cobalto (Co), cromo (Cr) y molibdeno (Mo) son "elementos metálicos". Los 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 (Te). Se debería indicar que, por ejemplo, si el boro proviene del compuesto boruro de níquel, entonces la parte de níquel de este compuesto es un elemento metálico que está incluido en los elementos metálicos que, en una realización, debería ser menos de un 50 % en peso y en la otra realización menos de un 10 % en peso.

- 50 La primera parte metálica puede comprender un grosor de 0,3 - 0,6 mm y la aplicación de la composición que disminuye el punto de fusión puede comprender a continuación la aplicación de un promedio de 0,02 - 0,12 mg de boro y silicio por mm² en la superficie de la primera parte metálica. La aplicación de un promedio de 0,02 - 0,12 mg de boro y silicio por mm² en la superficie de la primera parte metálica incluye cualquier explicación indirecta a través de, por ejemplo, la segunda parte metálica, por ejemplo boro y silicio que se transfiere desde la segunda parte metálica a la primera parte metálica. Por lo tanto, el boro y el silicio mencionados en el presente documento no se deben haber aplicado necesariamente de forma directa en la primera parte metálica, siempre y cuando todavía contribuya a la fusión de la capa superficial de la primera parte metálica.

- 60 La primera parte metálica puede comprender un grosor de 0,6 - 1,0 mm y la aplicación de la composición que disminuye el punto de fusión puede comprender a continuación la aplicación de un promedio de 0,02 - 1,0 mg de boro y silicio por mm² en la superficie de la primera parte metálica. Al igual que anteriormente, la aplicación también incluye la "aplicación" indirecta a través de la segunda parte metálica.

- 65 La primera parte metálica puede comprender un grosor superior a 1,0 mm y la aplicación de la composición que disminuye el punto de fusión puede comprender a continuación la aplicación de un promedio de 0,02 - 5,0 mg de boro y silicio por mm² en la superficie de la primera parte metálica.

La superficie puede tener un área que sea mayor que un área definida por el punto de contacto en dicha parte superficial, de modo que el metal en la capa metálica fundida fluya hacia el punto de contacto cuando se permita que se forme la unión. Por lo general un flujo de este tipo está causado por la acción capilar.

- 5 El área de la superficie puede ser al menos 10 veces mayor que el área definida por el punto de contacto. El área de la superficie puede ser incluso mayor (o el punto de contacto relativamente más pequeño), tal como al menos 20 o 30 veces mayor que el área definida por el punto de contacto. El área de la superficie se refiere al área de la superficie a partir de la que el metal fundido fluye para formar la unión.
- 10 El área de la superficie puede ser e al menos 3 veces mayor que un área transversal de la unión. El área de la superficie puede ser incluso mayor (o el área transversal de la unión relativamente más pequeño), de modo que ésta es al menos 6 o 10 veces mayor que el área definida por el punto de contacto. El área transversal de la unión se puede definir como el área transversal que tiene la unión a través de un plano que es paralelo a la superficie en la que se localiza el punto de contacto, en una localización en la que la unión tiene su extensión más pequeña (área transversal).

- 15 La unión puede comprender al menos un 50 % en peso o al menos un 85 % en peso o incluso un 100 % en peso de metal (elemento metálico) que, antes del calentamiento, era parte de cualquiera de la primera parte metálica y la segunda parte metálica. Esto se consigue permitiendo que el metal de las partes metálicas fluya hacia el punto de contacto informe la unión. Una unión que se informa de esta manera es muy diferente de las uniones que se forman mediante soldadura fuerte, ya que tales uniones por lo general comprenden al menos un 90 % en peso de metal que, antes de la soldadura fuerte, era parte de un a metal de relleno de una sustancia de soldadura fuerte que se usó para formar la unión.

- 25 Cualquiera de la primera parte metálica y la segunda parte metálica puede comprender una pluralidad de protuberancias que se extienden hacia la otra parte metálica, de modo que, cuando la segunda parte metálica se pone en contacto con dicha superficie, se forma una pluralidad de puntos de contacto en dicha superficie. Por lo general, este es el caso cuando las partes metálicas tienen la forma de placas corrugadas que se apilan y se unen para formar intercambiadores de calor.

- 30 La primera parte metálica 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;
- 35 ii) >90 % en peso de Fe;
- iii) >65 % en peso de Fe y >13 % en peso de Cr;
- iv) >50 % en peso de Fe, >15,5 % en peso de Cr y >6 % en peso de Ni;
- v) >50 % en peso de Fe, >15,5 % en peso de Cr, 1-10 % en peso de Mo y >8 % en peso de Ni;
- 40 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.

- 45 Lo mencionado anteriormente significa que la primera parte metálica, y también la segunda parte metálica, pueden estar formadas por un gran número de diferentes aleaciones. Como se puede observar, hay diez realizaciones diferentes i) a x) con las que se puede formar la primera parte metálica. Evidentemente, los ejemplos mencionados anteriormente se equilibran con otros metales como elementos, como es común dentro de la industria.

- 50 De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un producto que comprende una primera parte metálica que se une con una segunda parte metálica mediante una unión. Las partes metálicas tienen una temperatura de sólido superior a 1100 °C y la unión comprende al menos un 50 % en peso de elementos metálicos que se han dibujado a partir de un área que rodea la unión y cuya área era parte de cualquiera de la primera parte metálica y la segunda parte metálica.

- 55 De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un producto que comprende una primera parte metálica que se une con una segunda parte metálica de acuerdo con el método mencionado anteriormente o cualquiera de sus realizaciones.

- 60 De acuerdo con otro aspecto, se proporciona una composición que disminuye el punto de fusión, es decir, se desarrolle se configura de forma específica para unir una primera parte metálica a una segunda parte metálica de acuerdo con el método mencionado anteriormente o cualquiera de sus realizaciones, la composición que disminuye el punto de fusión comprendiendo i) un componente que disminuye el punto de fusión que comprende al menos un 25 % en peso de boro y silicio para disminuir la temperatura de fusión, y ii), opcionalmente, un componente aglutinante para facilitar la aplicación de la composición que disminuye el punto de fusión en la primera parte metálica.

A partir de la siguiente descripción detallada así como a partir de las figuras aparecerán diferentes objetos, características, aspectos y ventajas del método, los productos y la composición que disminuye el punto de fusión.

Breve descripción de las figuras

- 5 Las realizaciones de la invención se describirán a continuación, a modo de ejemplo, por referencia a las figuras esquemáticas adjuntas, en las que
- 10 Fig. 1 es una vista transversal de una primera y una segunda partes metálicas en la que se aplica una composición que disminuye el punto de fusión entre las partes,
- Fig. 2 muestra las partes metálicas de la Fig. 1 durante el calentamiento,
- Fig. 3 muestra las partes metálicas de la Fig. 1 cuando se forma una unión,
- Fig. 4 es una vista transversal de una primera y una segunda partes metálicas en la que se aplica una composición que disminuye el punto de fusión entre medias de los componentes y en la que la segunda parte
- 15 metálica es colindante con la primera parte metálica,
- Fig. 5 muestra las partes metálicas de la Fig. 4 durante el calentamiento,
- Fig. 6 muestra las partes metálicas de la Fig. 4 cuando se forma una unión,
- Fig. 7 muestra partes metálicas cuando se forma una unión y en la que las partes se han prensado entre sí durante la formación de la unión,
- 20 Fig. 8 es una vista que corresponde a la Fig. 7, en la que el material de ambas partes metálicas se ha fundido y ha formado la unión,
- Fig. 9, corresponde a la Fig. 1 y muestra la distribución de un punto de contacto entre las partes metálicas,
- Fig. 10 muestra un área del punto de contacto entre las partes metálicas,
- Fig. 11, corresponde a la Fig. 3 y muestra la distribución de una unión entre las partes metálicas,
- 25 Fig. 12 muestra un área transversal de la unión,
- Fig. 13 muestra una placa prensada que se usa en un número de ejemplos que describen cómo se pueden unir las dos partes metálicas,
- Fig. 14 es una fotografía de una sección transversal de una unión entre la placa que se muestra en la Fig. 13 una placa plana,
- 30 Fig. 15 muestra un diagrama en el que un ancho de unión medido se representa como una función de una cantidad aplicada ($g/3500\text{ mm}^2$) de composición que disminuye el punto de fusión, incluyendo líneas de tendencia,
- Fig. 16 muestra otro diagrama en el que un área rellena calculada de la unión basada en el ancho medio se representa como una función de la cantidad aplicada ($g/3500\text{ mm}^2$) de composición que disminuye el punto de fusión, incluyendo líneas de tendencia,
- 35 Fig. 17 muestra otro diagrama en el que el % de muestras sometidas a ensayo de tracción en las que la unión era más fuerte con la misma que en el material de la placa se representa como una función de la cantidad aplicada ($g/3500\text{ mm}^2$) de composición que disminuye el punto de fusión, incluyendo líneas de tendencia,
- Fig. 18 muestra una fotografía de otras muestras de ensayo que se han unido, y
- 40 Fig. 19 es un diagrama de flujo de un método para unir una primera y una segunda partes metálicas.

Descripción detallada

- 45 La Fig. 1 muestra una primera parte metálica 11 y una segunda parte metálica 12 en la que una composición que disminuye el punto de fusión 14 se coloca en una superficie 15 de la primera parte metálica 11. La segunda parte metálica 12 está, en un punto de contacto 16, en contacto con la composición que disminuye el punto de fusión 14 en la superficie 15. Para la segunda parte metálica 12 ilustrada, una primera protuberancia 28 está en contacto con la composición que disminuye el punto de fusión 14 en el punto de contacto 16 mientras que una segunda protuberancia 29 está en contacto con la composición que disminuye el punto de fusión 14 en otro punto de contacto
- 50 116. La primera parte metálica 11 está formada por un elemento metálico, tal como una aleación basada en hierro. A continuación se proporcionan más ejemplos de elementos metálicos adecuados que pueden formar la primera parte metálica 11. La segunda parte metálica 12 también está formada por un elemento metálico, que puede ser el mismo elemento metálico el que forma la primera parte metálica 11. En la Fig. 1 la primera parte metálica 11 y la segunda parte metálica 12 todavía no están unidas.
- 55 Para describir cómo se unen la primera parte metálica 11 y la segunda parte metálica 12 se usan cinco planos P1-P5. El primer plano P1 define la superficie de la composición que disminuye el punto de fusión 14. El segundo plano P2 define la superficie 15 de la primera parte metálica 11, que es una superficie "superior" 15 de la primera parte metálica 11. Esto significa que la composición que disminuye el punto de fusión 14 tiene un grosor que corresponde
- 60 a la distancia entre el primer plano P1 y el segundo plano P2 (la superficie 15). Se debería indicar que el grosor de la composición que disminuye el punto de fusión 14 está exagerado en gran medida en las figuras ilustradas. A continuación se discuten con detalle el grosor real, es decir, la cantidad de la composición que disminuye el punto de fusión 14 en la superficie 15 así como la composición de la composición que disminuye el punto de fusión 14.
- 65 El tercer plano P3 define una capa superficial 21 de la primera parte metálica 11, en el que la capa superficial 21 se extiende desde la superficie 15 y hacia el tercer plano P3 que está situado en la primera parte metálica 11, Por lo

tanto, el grosor 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 metálica 11. El grosor de la primera parte metálica 11 corresponde a la distancia entre el segundo plano P2 y el cuarto plano P4. La primera parte metálica 11 también tienen una capa más baja 22, que es la parte de la primera parte metálica 11 que no incluye la capa superficial 21 y que se extiende desde el tercer plano P3 hasta el cuarto plano P4. El quinto plano P5 define una línea de base de la segunda parte metálica 12, en la que la primera protuberancia 28 y la segunda protuberancia 29 sobresalen desde la línea de base en una dirección hacia la primera parte metálica 11.

Las formas ilustradas de la primera parte metálica 11 y la segunda parte metálica 12 son simplemente formas a modo de ejemplo y del mismo modo se pueden concebir otras formas. Por ejemplo, las partes metálicas 11, 12 pueden tener formas curvadas, de modo que los planos P1-P5 no tienen la forma de superficies bidimensionales, planas, sino que en su lugar tienen la forma de superficies curvadas.

La Fig. 2 muestra los componentes metálicos 11, 12 cuando se calientan a una temperatura por encima de la que la composición que disminuye el punto de fusión 14 hace que la capa superficial 21 se funda y forme una capa metálica fundida 210, pero a una temperatura inferior a una temperatura de fusión del material en la primera parte metálica 11 y en la segunda parte metálica 12. En resumen, cuando se calientan las partes metálicas 11, 12, el boro y el silicio en la composición que disminuye el punto de fusión 14 se difunden en la primera parte metálica 11 y hacen que se funda a una temperatura que es inferior a la temperatura de fusión del material en la primera parte metálica 11 (y de la segunda parte metálica 12). La composición que disminuye el punto de fusión 14 se aplica en la superficie 15 en cantidades que hacen que la capa superficial 21 se funda y forme la capa metálica fundida 210. Por lo tanto, la cantidad de composición que disminuye el punto de fusión 14 se elige de modo que el boro y el silicio se difundan solamente en la capa superficial 21 (demasiado boro y silicio pueden fundir toda la primera parte metálica 11). Las cantidades adecuadas de la composición que disminuye el punto de fusión 14 se describen en los ejemplos que siguen a continuación. El metal en la capa metálica fundida 210 a continuación fluye, por lo general mediante acción capilar, hacia el punto de contacto 16 (y hacia otros puntos de contacto similares tales como el punto de contacto 116).

La Fig. 3 muestra los componentes metálicos 11, 12 cuando toda la composición que disminuye el punto de fusión 14 se ha difundido en la primera parte metálica 11 y cuando el metal en la capa metálica fundida 210 ha fluido hacia el punto de contacto 16 en el que ahora se forma una unión 25. Ahora la unión comprende metal que previamente era parte de la primera parte metálica 11. Como se puede observar, la composición que disminuye el punto de fusión 14 ya no está presente en la superficie 15 de la primera parte metálica 11 ya que se ha difundido en la primera parte metálica 11 y por lo general, hasta cierto punto en la segunda parte metálica 12. Dado que la unión 25 está formada a partir de metal de la primera parte metálica 11, la primera parte metálica 11 ahora es más fina que antes del calentamiento. Como se puede observar, la primera parte metálica 11 ahora tiene una superficie superior 15' que no está situada en el segundo plano P2. En su lugar, la superficie superior ahora está más cerca del cuarto plano P4. Por lo general, no todo el metal en la capa metálica fundida 210 fluye hacia el punto de contacto 16 para formar la unión 25, en una cierta parte permanece como una superficie superior de la primera parte metálica 11 y se solidifica ahí de manera simultánea con la solidificación de la unión 25. La solidificación se produce cuando la temperatura disminuye pero también antes de una disminución de la temperatura, por ejemplo porque el boro y el silicio en la composición que disminuye el punto de fusión gradualmente se difunden y se mezclan con el material de la primera parte metálica 11. El proceso físico más allá de la fusión del metal en la primera parte metálica 11 así como la posterior solidificación es similar al proceso de fusión y solidificación que se produce durante la soldadura fuerte. Sin embargo, en comparación con la soldadura fuerte convencional, existe una gran diferencia porque la composición que disminuye el punto de fusión 14 comprende ninguno o cantidades muy pequeñas de metal de relleno; en lugar de usar un metal de relleno para crear la unión 25, el metal de la primera parte metálica 11 y, opcionalmente como se describirá, de la segunda parte metálica 12, se usa para crear la unión 25,

Las Figs. 4-6 corresponden a las Figs 1-3 con la diferencia de que la segunda parte metálica 12 se prensa en la composición que disminuye el punto de fusión 14 en una medida tal que está básicamente en contacto o es colindante con la primera parte metálica 11 (por lo general, algunas pequeñas cantidades de la composición que disminuye el punto de fusión 14 están presentes todavía entre las partes metálicas 11, 12).

La Fig. 7 corresponde a las Figs 3 y 6 con la diferencia de que la primera parte metálica 11 y la segunda parte metálica 12 se han prensado entre sí durante la formación de la unión 25. Como resultado, la segunda parte metálica 12 se ha "hundido" en la posición de la unión 25 en la capa metálica fundida 210 de la primera parte metálica 11.

La Fig. 8 corresponde a la Fig. 7, en la que el material tanto de la primera parte metálica 11 como de la segunda parte metálica 12 se ha fundido y forman la unión 25. En la práctica, por lo general esto se sucede durante la formación de la unión 25, especialmente si la primera parte metálica 11 y la segunda parte metálica 12 están hechos del mismo material, dado que la segunda parte metálica 12 también está en contacto con la composición que disminuye el punto de fusión.

Antes del calentamiento, la segunda parte metálica 12 tiene un contorno externo definido por la línea L2. Durante el calentamiento, una capa superficial de la segunda parte metálica 12 forma una capa superficial fundida, en la que el metal de esta capa fluye hacia el punto de contacto 16 y forma parte de una unión 25 allí. La capa superficial fundida de la segunda parte metálica 12 está representada por la capa entre la línea L2 y la línea L1, en la que la línea L1 define un límite en el que el metal de la segunda parte metálica 12 no se ha fundido.

Se debería indicar que no hay límites nítidos reales entre el metal de la primera parte metálica 11 y la segunda parte metálica 12 que está fundido y respectivamente no está fundido. En su lugar, existe una transición gradual de estado "fundido" a "no fundido".

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

Como se puede observar, el punto de contacto 16 tiene una distribución con respecto a la composición que disminuye el punto de fusión 14 sobre la primera parte metálica 11 que es significativamente mayor que una distribución de la composición que disminuye el punto de fusión 14 en la superficie 15. La distribución del punto de contacto 16 tiene un área A2 que es significativamente más pequeña que un área A1 de la composición que disminuye el 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 están situadas en un lado respectivo del punto de contacto 16. La línea L3 está situada entre el punto de contacto 16 y el otro punto de contacto 116, ya que el metal fundido metal de la primera parte metálica 11 por lo general fluye hacia el punto de contacto más cercano. El área A1 de la superficie 15 sobre la que se aplica la composición que disminuye el punto de fusión 14 es al menos 10 veces mayor que el área A2 definida por el punto de contacto 16. El área A1 se puede definir como un área de la superficie 15 sobre la que se aplica la composición que disminuye el punto de fusión 14 y desde la que el metal del área A1 se funde para formar la unión 25. El área A2 se puede definir como el área del punto de contacto 16, es decir el área de contacto entre la composición que disminuye el punto de fusión 14 y la segunda parte metálica 12, que incluye opcionalmente un área de contacto (si la hubiera) entre la primera parte metálica 11 y la segunda parte metálica 12 en el punto de contacto 16. El área A1 por lo general es al menos 10 veces mayor que el área A2.

La Fig. 11 corresponde a la Fig. 3 y muestra un área transversal A3 de la unión 25. El área A1 de la superficie 15 sobre la que se aplica la composición que disminuye el punto de fusión 14 es al menos 3 veces mayor que el área transversal A3 de la unión 25. La Fig. 12 muestra las mismas partes metálicas 11, 12 Herodes la parte superior y en el segundo plano P2. La Fig. 11 es una vista de sección transversal tal como se observa a lo largo de la línea A-A en Fig. 12.

Como se puede observar, la unión 25 tiene una sección transversal A3 que es significativamente más pequeña que el área A1 de la composición que disminuye el punto de fusión 14 en la superficie 15. Como se ha mencionado anteriormente, el área A1 se puede definir como un área de la superficie 15 sobre la que se aplica la composición que disminuye el punto de fusión 14 y a partir de la que el metal del área A1 se funde para formar la unión 25. El área transversal A3 de la unión 25 se puede definir como el área más pequeña que la unión 25 tiene entre la primera parte metálica 11 y la segunda parte metálica 12. El área transversal A3 puede tener la forma de una superficie curvada. Evidentemente, las áreas A1 y A2 pueden tener la forma de superficies curvadas, dependiendo de la respectiva forma de la primera parte metálica 11 y la segunda parte metálica 12.

A continuación se presenta un número de experimentos y ejemplos para describir materiales adecuados para la primera parte metálica 11, la segunda parte metálica 12, la composición de la composición que disminuye el punto de fusión 14, qué cantidades de composición que disminuye el punto de fusión 14 se deberían usar, temperaturas adecuadas para el calentamiento, durante cuánto tiempo se realizará el calentamiento, etc. Por lo tanto, los resultados de estos experimentos y ejemplos se usan para las entidades descritas anteriormente como la primera parte metálica 11, la segunda parte metálica 12, la composición que disminuye el punto de fusión 14, el punto de contacto 16, la unión 25 etc., es decir, todas las entidades descritas anteriormente pueden incorporar las características respectivamente relacionadas descritas en relación con los experimentos y ejemplos que siguen a continuación. En lo sucesivo, la composición que disminuye el punto de fusión se denomina "mezcla". La parte metálica se puede denominar "metal precursor".

La Fig. 13 muestra una placa 150 que se usa para poner ejemplos de cómo se pueden unir dos partes metálicas. La placa 150 es una placa prensada, circular, que tiene 42 mm de diámetro, tiene un grosor de 0,4 mm y está hecha con acero inoxidable tipo 316L (calidad de hace acero r inoxidable SAE). La placa prensada 150 tiene dos ejes prensados, v y h, cada una con una longitud de aproximadamente 20 mm. El eje v representa el eje izquierdo y el eje h representa el eje izquierdo. La "v" y "h" se usan en los ejemplos 5 y 9 que siguen a continuación.

La Fig. 14 muestra una sección transversal de una unión entre una placa 150 del tipo mostrado en la Fig. 13 y una placa plana. En el punto de contacto entre los ejes de la placa 150 y la placa plana se crea una unión. Para calcular la cantidad de metal que forma la unión se realizaron las siguientes aproximaciones y cálculos.

Se ha calculado que el volumen en el centro de la unión es insignificante. Por lo tanto, el volumen de metal creado para las uniones con respecto a un ancho tal como el ancho B (en el ejemplo 1,21 mm o inferior), se establece en cero. En los lados externos del eje v, que tiene una distancia de $(X - B)/2$, el metal se acumuló. Cuando la mezcla (composición que disminuye el punto de fusión) se aplica sobre la placa plana, las placas se mantienen juntas y las capas de la superficie caliente de las placas funden y el metal en forma fundido se transporta mediante acción capilar al área de la unión en áreas cercanas, formando de este modo volúmenes de metal que constituyen la unión.

Es posible calcular un área suponiendo que se forman dos triángulos en cada lado del centro de la unión. El ángulo α en el triángulo se mide a 28° . El ancho medido total es X y el ancho del centro es B. Por lo tanto, el área total A de los dos triángulos es $A = 2 \cdot ((X - B)/2) \cdot ((X - B)/2) \cdot \tan(\alpha) / 2$. Cuando la medida de B es 1,21 mm, entonces $A = 2 \cdot ((X - 1,21)/2) \cdot ((X - 1,21)/2) \cdot \tan(28^\circ) / 2$. El volumen creado total de la aleación de soldadura fuerte, que ha fluido hasta las grietas para formar la unión, debería ser el área multiplicada por la longitud de los dos ejes v, h. Parte de la aleación de soldadura fuerte formada no fluye a las grietas y se deja en la superficie en la que se aplicó la mezcla.

La Fig. 15 es un diagrama que muestra el ancho medido como una función de la cantidad aplicada de diferentes realizaciones de la mezcla (g/3500 mm², es decir gramo por 3500 mm cuadrados) con líneas de tendencia. Los resultados de los ensayos se muestran en la tabla 8 y 9 (véase el Ejemplo 5 que sigue a continuación) y en la Fig. 15. Las líneas de tendencia de la Fig. 3 son bases sobre la función $Y = K \cdot X + L$, en la que Y es el área, K es la inclinación de la línea, X es la cantidad aplicada de la mezcla y L es una constante. Los resultados de los anchos medidos y las áreas calculadas se ilustran en la Fig. 15. Las cantidades de mezcla aplicadas, véanse las tablas 8 y 9, eran de 0,06 g/3500 mm² a 0,96 gramos/3500 mm², que corresponden a de aproximadamente 0,017 mg/mm² a 0,274 mg/mm².

La línea de tendencia $Y = K \cdot X + L$ para la mezcla se midió, en la que Y es el ancho de la unión, K es la inclinación de la línea, X es la cantidad aplicada de la mezcla y L es una constante, véase en la superficie de la Fig 15 3. Por lo tanto, el ancho de la unión de soldadura es:

$$Y (\text{ancho para A3.3}) = 1,554 + 9,922 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla A3.3})$$

$$Y (\text{ancho para B2}) = 0,626 + 10,807 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla B2})$$

$$Y (\text{ancho para C1}) = 0,537 + 8,342 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla C1})$$

$$Y (\text{ancho para F0}) = 0,632 + 7,456 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla F0})$$

Como se observa a partir de la Fig. 15, las mezclas A3.3 de las mezclas A3.3, B2, C1, D0.5, E0.3 y F0 proporciona una cantidad de aleación de soldadura fuerte más elevada en la unión como una función de la cantidad de mezcla aplicada. La muestra F0 no proporcionaba ninguna unión sustancial por debajo de 0,20 gramos por 3500 mm².

La Fig. 16 muestra otro diagrama en el que se representa el área rellena calculada de la unión de soldadura fuerte basándose en el ancho medido como una función de la cantidad de mezcla aplicada (gramos/3500 mm²) con líneas de tendencia. Se midió la línea de tendencia $Y = K \cdot X - L$ para la mezcla, en la que Y es el área, K es la inclinación de la línea, X es la cantidad aplicada de la mezcla y L es una constante, véase la Fig. 16. Para la Fig. 16 el área de la unión de soldadura fuerte es:

$$Y (\text{área para A3.3}) = 4,361 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla A3.3}) - 0,161$$

$$Y (\text{área para B2}) = 3,372 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla B2}) - 0,318$$

$$Y (\text{área para C1}) = 2,549 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla C1}) - 0,321$$

$$Y (\text{área para F0}) = 0,569 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla F0}) - 0,093$$

Un cálculo del volumen creado basándose en el diagrama de la Fig. 16, por ejemplo para una cantidad de 0,18 gramos por 3500 mm², excluyendo la muestra F0, debido a "ninguna" unión de soldadura fuerte y la muestra D0.5 debido demasiosos pocos datos, proporciona un valor para las muestras de volumen creado de aleación de soldadura fuerte en la unión entre las placas, véase lo siguiente:

$$\text{Volumen (A3.3)} = 0,63 \cdot \text{longitud } 40 (20 \cdot 2) = 25,2 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen (B2)} = 0,30 \cdot \text{longitud } 40 (20 \cdot 2) = 12,0 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen (C1)} = 0,12 \cdot \text{longitud } 40 (20 \cdot 2) = 4,8 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen (E0.3)} = 0,10 \cdot \text{longitud } 40 (20 \cdot 2) = 4,0 \text{ mm}^3$$

La Fig. 17 muestra otro diagrama en el que el % (porcentaje) es la tasa de éxito de los experimentos de tracción cuando la unión era más fuerte o la misma que el material de la placa como una función de la cantidad de mezcla aplicada, es decir, gramos por 3500 mm². Cuando la placa era más fuerte que la unión, dando como resultado una separación de la unión, el resultado se establecía en cero. Para las muestras en las que la unión era más fuerte que el material de la placa, la diferencia de los resultados no era estadísticamente significativa.

La Fig. 18 muestra un ejemplo adicional de unión mediante la formación de uniones por medio de una mezcla. La fotografía representa que existe una unión formada entre las dos placas. La muestra es del Ejemplo 10.

Ejemplos

En los siguientes ejemplos se presentan más detalles para ilustrar la invención.

Los ensayos en estos ejemplos se realizaron para investigar si el silicio, Si, era capaz de crear una "aleación de soldadura fuerte" cuando el silicio se aplicaba en la superficie de una muestra de ensayo de metal precursor (es decir, sobre una parte metálica). Además, se añadieron diferentes cantidades de boro, B, para disminuir el punto de fusión de la aleación de soldadura fuerte. El boro también se usa para cambiar el comportamiento de una humectación de la aleación de soldadura fuerte. También se investigaron las propiedades de las mezclas sometidas a ensayo. En los ejemplos, el % en peso es el porcentaje en peso y el % de atm es el porcentaje de átomos. En el presente documento, la "aleación de soldadura fuerte" hace referencia a la aleación formada cuando el silicio y el boro forman parte de, o capaz de, el metal precursor (parte metálica), para fundirse. Por lo tanto, la "aleación de soldadura fuerte" comprende la mezcla y elementos metálicos del metal precursor.

Si no se indica nada más, las muestras de ensayo de metal precursor para todos los ensayos se limpiaron con lavavajillas y con acetona antes de añadir las muestras de las mezclas de silicio y boro a las muestras de ensayo.

Ejemplo 1

El Ejemplo 1 se refiere a la preparación de muestras de mezclas de silicio y boro a someter a ensayo. La muestra de mezcla N.º C1 se preparó mezclando 118,0 gramos de silicio cristalino en polvo con un tamaño de partícula de 325 de retícula, 99,5 % (base metálica) 7440-21-3 de Alfa Aesar - Johnsson Matthey Company, con 13,06 gramos de boro cristalino en polvo con un tamaño de partícula de 325 de retícula, 98 % (base metálica) 7440-42-8 de Alfa Aesar - Johnsson Matthey Company y 77,0 gramos de aglutinante Nicorobraz S-30 de Wall Colmonoy en un Varimixer BEAR de Busch & Holm produciendo 208 gramos de pasta, véase la muestra C1. Todas las muestras de ensayo se prepararon siguiendo el mismo procedimiento que para la muestra de mezcla C1. Las muestras se resumen en la Tabla 2. La mezcla preparada corresponde a la "composición que disminuye el punto de fusión" discutida previamente. El boro y el silicio en la mezcla corresponden al "componente que disminuye el punto de fusión" de la composición que disminuye el punto de fusión y el aglutinante en la mezcla corresponde al "componente aglutinante" de la composición que disminuye el punto de fusión.

Tabla 2

Muestra de mezcla N.º	Boro [gramos]	Silicio [gramos]	Aglutinante S-30 [gramos]	Peso Total [gramos]
F0	0,00	124,7	73,3	198
E0.3	4,30	123,9	72,1	200
D0.5	6,41	121,2	75,0	203
C1	13,06	118,0	77,0	208

ES 2 617 219 T3

B2	24,88	104,5	72,81	202
A3.3	11,46	22,9	19,3	54,0

Las muestras G15, H100, I66 y J se prepararon de la misma manera que las muestras F0, E0.3, D0.5, C1, B2 y A3.3 con la diferencia de que se usó otro aglutinante. El aglutinante era el aglutinante Nicorobraz S-20 de Wall Colmonoy. Estas muestras de ensayo se resumen en la Tabla 3.

5

Tabla 3

Muestra de mezcla N.º	Boro [gramos]	Silicio [gramos]	Aglutinante S-20 [gramos]	Peso Total [gramos]
G15	0,37	2,24	3,1	5,7
H100	4,19	0	5,3	9,5
I66	1,80	2,70	5,5	10,0
J	2,03	2,02	5,0	9,0

Para las muestras de mezcla, se realizaron cálculos para mostrar la proporción, porcentaje en que si porcentaje en átomos, como se muestra en la Tabla 4.

10

Tabla 4

Muestra de mezcla N.º	Proporción [p:p]		Cantidad [% en peso]		Cantidad [% en átomos]	
	Boro	Silicio	Boro	Silicio	Boro	Silicio
F0	0	100	0	100	0	100
E0.3	3	100	3	97	8	92
D0.5	5	100	5	95	12	88
C1	10	100	9	91	21	79
B2	19	100	16	84	33	67
A3.3	33	100	25	75	46	54
G15	17	100	14	86	30	70
H100	100	0	100	0	100	0
I66	66	100	40	60	63	37
J	100	100	50	50	72	28

Aglutinante

15 El contenido de aglutinante (polimérico y disolvente) en el aglutinante S-20 y S-30 se midió. A continuación, se sometió a ensayo el contenido de material "seco" dentro de los genes. Las muestras del aglutinante S-20 y del aglutinante S-30 se pesaron y a partir de ese momento se colocaron en un horno durante 18 horas a 98 °C. Después de retirar las muestras del horno, se pesaron de nuevo los resultados se presentan en la Tabla 5.

20

Tabla 5

Aglutinante	Antes [gramos]	Después [gramos]	Proporción polimérica [% en peso]
S-20	199,64	2,88	1,44
S-30	108,38	2,68	2,47

Ejemplo 2

El Ejemplo 2 se refiere a ensayos de soldadura fuerte, es decir ensayos en los que las muestras de mezcla se colocaron sobre partes metálicas (partes de ensayo o placas de ensayo). Las partes metálicas tenían la forma de piezas de ensayo circulares con un diámetro de 83 mm y que un grosor de 0,8 mm y las partes metálicas se fabricaron con acero inoxidable de tipo 316L. Se usaron dos cantidades de mezcla diferentes: 0,2 g y 0,4 g. La mezcla se aplicó sobre la parte metálica. Todas las muestras se unieron con soldadura fuerte en un horno de vacío convencional a 1210 °C durante 1 hora. Se realizaron dobles ensayos. Es decir, dos cantidades de mezcla, muestras dobles y seis mezclas diferentes, $2 \cdot 2 \cdot 6 = 24$ muestras. Las mezclas de sometidas a ensayo son: F0, E0.3, D0.5, C1, B2 y A3.3. Las mezclas se aplicaron sobre un área circular de la parte metálica, con un diámetro de aproximadamente 10 a 14 mm, es decir, una superficie de 78 a 154 mm². Es decir, se aplicaron aproximadamente 1,3 - 5,1 mg de mezcla por mm².

Se observó que el metal de las partes metálicas se había fundido, es decir, se crearon fusiones. También se observó que las fusiones en algunos aspectos aparecían como una aleación de soldadura fuerte con flujo. Sin medir el tamaño de la humectación, parecía que un aumento de la cantidad de boro en las mezclas daba como resultado una humectación mejor. Sin embargo, también se observó que para varias muestras, el grosor total de la parte metálica se había fundido de modo que se dio un agujero en la parte media de la parte metálica. Para las "muestras de 0,2 gramos", cinco de doce piezas de ensayo tenían agujeros, y para las "piezas de 0,4 gramos", diez de doce piezas tenían agujeros. Los ensayos adicionales mostraban que, para evitar los agujeros, puede ser adecuado aplicar un promedio de 0,02 - 0,12 mg de boro y silicio por mm² cuando la parte metálica tiene un grosor de 0,3 - 0,6 mm. Cuando la parte metálica tiene un grosor de 0,6 - 1,0 mm, pueden ser adecuados 0,02 - 1,0 mg de boro y silicio por mm². Las cantidades incluso más adecuadas se pueden determinar de forma empírica.

Ejemplo 3

El Ejemplo 3 se refiere a la aplicación de la mezcla en una superficie. En este Ejemplo, las placas de ensayo (partes metálicas) se prepararon para los ensayos de curva, ensayos de corrosión y ensayos de tracción al mismo tiempo. A partir del Ejemplo 2 se llegó a la conclusión de que podría ser un riesgo aplicar las mezclas de silicio y boro en puntos o líneas sobre placas de paredes finas, ya que esto puede crear agujeros en las placas. Por lo tanto, se usaron nuevas muestras de ensayo, es decir, placas de ensayo para la aplicación de las diferentes mezclas de Si y B para los ensayos de curva, ensayos de corrosión, y los ensayos de tracción.

Las nuevas muestras de ensayo eran placas fabricadas con acero inoxidable de tipo 316L. El tamaño de las placas era 100 mm de ancho, de 180 a 200 mm de largo y el grosor era 0,4 mm. Todas las placas se limpiaron con lavavajillas y con acetona antes de la aplicación de muestras de las mezclas de Si y B. El peso se midió. En cada placa se puso cinta adhesiva en una parte medida de 35 mm desde el lado corto.

Se usaron las diferentes muestras de ensayo A3.3, B2, C1, D0.5, E0.3, F0, G15, H100, e I66. Las placas de ensayo se pintaron (usando un pincel convencional) con las mezclas en un área superficial sin cinta adhesiva de la placa, área superficial que tenía el tamaño de 100 mm x 35 mm. El aglutinante era S-30. Después de secar durante más de 12 horas a temperatura ambiente, la cinta adhesiva se retiró y el peso de la placa se midió para cada placa. El peso presentado en la Tabla 6 que sigue a continuación es el peso de la cantidad total de las mezclas en el área de 100 mm x 35 mm = 3500 mm² = 35 cm². El ejemplo muestra que la mezcla se aplica fácilmente sobre superficies metálicas.

Tabla 6

Muestra de mezcla N.º	Proporción de B : Si [p:p]	Peso de mezcla + aglutinante seco [gramos]	Peso de mezcla Si + B sin aglutinante [gramos]	Peso de mezcla por área [mg/cm ²]
A3.3	33 : 100	0,0983	0,0959	2,74
B2	19 : 100	0,0989	0,0965	2,76
C1	10 : 100	0,1309	0,1277	3,65
D0.5	5 : 100	0,1196	0,1166	3,33
E0.3	3 : 100	0,0995	0,0970	2,77
H100	100 : 0	0,1100	0,1073	3,07
I66	66 : 100	0,0900	0,0878	2,51

Ejemplo 4

El Ejemplo 4 se refiere a ensayos de corrosión de mezcla. A partir de las placas de ensayo, se cortaron piezas con un ancho de 35 mm, lo que significa que tienen un área superficial aplicada de 35 mm x 35 mm. Sobre este área superficial, se colocó una placa prensada circular (véase la Fig. 13), placa prensada que tenía un tamaño de 42 mm de diámetro y un grosor de 0,4 mm fabricada con acero inoxidable de tipo 316L. Las muestras de ensayo se calentaron ("soldadura fuerte") 1 hora a 1210 °C. A las placas sometidas a ensayo para los ensayos de corrosión se les había aplicado las muestras de mezcla A3.3, B2, C1, D0.5, E0.3, H100, I66 y J, véase la Tabla 4.

Las muestras se sometieron a ensayo de acuerdo con el método de ensayo de corrosión de la norma ASTM A262, "Standard Practices for Detecting Susceptibility to inter-granular Attack in Austenitic Stainless Steels". A partir del método de ensayo se seleccionó "Practice E - Copper - Copper Sulfate - Sulfuric Acid. Test for Detecting Susceptibility to Inter-granular Attack in Austenitic Stainless Steels". La razón para seleccionar estos ensayos de corrosión fue que había un riesgo de que el boro pudiera reaccionar con cromo en el acero para crear boruros de cromo, principalmente en los límites del grano, y entonces el aumento del riesgo de ataque de corrosión intergranular, que en el estándar se denomina "práctica", se usó un 16 % de ácido sulfúrico junto con sulfato de cobre en 20 horas y a partir de ese momento una muestra de mezcla, de acuerdo con el capítulo 30 en el estándar.

Lo que sigue a continuación discute resultados del ensayo de corrosión de mezcla y la sección de las muestras de ensayo. Las piezas de ensayo se doblaron para el ensayo de acuerdo con el método de ensayo de corrosión en el capítulo 30.1 del estándar. Ninguna de las muestras daba indicaciones de ataque inter granular en la investigación ocular de las superficies mezcladas. Después de la investigación de la norma ASTM, las muestras de ensayo mezcladas se cortaron, se movieron y se hundieron y la sección transversal se estudió en el microscopio óptico de luz en EDS, es decir, Espectroscopía Dispersiva de Energía. Los resultados se resumen en la Tabla 7.

Tabla 7

Muestra de mezcla N.º	Investigación ocular de la superficie para grietas de corrosión cuando se mezcla de acuerdo con el ensayo de ASTM	Resultados de la investigación metalúrgica de las muestras sometidas a ensayo de corrosión transversales y las muestras de ensayo sometidas a ensayo con flexión. Resultado de SEM-EDS de la fase agrietada
A3.3	Sin grietas	Sin corrosión Una capa superficial de máx ap. 8 µm con unas pocas grietas. La fase que se había agrietado presentaba un contenido elevado de Cr y B, lo más probable una fase de boruro de cromo.
B2	Sin grietas	Sin corrosión Una capa superficial de máx ap. 8 µm con unas pocas grietas. La fase que se había agrietado presentaba un contenido elevado de Cr y B, lo más probable una fase de boruro de cromo.
C1	Sin grietas	Sin corrosión ni grietas
D0.5	Sin grietas	Sin corrosión ni grietas
E0.3	Sin grietas	Sin corrosión Una capa superficial de máx ap. 60 µm con unas pocas grietas. La fase que se había agrietado presentaba un contenido elevado de Si generalmente < 5 % en peso
H100	Sin grietas	Superficie y unión corroídas
I66	Sin grietas	Sin corrosión Una capa superficial de máx ap. 12 µm con unas pocas grietas. La fase que se había agrietado presentaba un contenido elevado de Cr y B, lo más probable una fase de boruro de cromo
J	Sin grietas	Sin corrosión Una capa superficial de máx ap. 20 µm con unas pocas grietas. La fase que se había agrietado presentaba un contenido elevado de Cr y B, lo más probable una fase de boruro de cromo

Aparentemente, cuando se añaden cantidades elevadas de boro, al igual que para la muestra H100, J, I66, se formaba una fase frágil en la superficie, lo más probable a una fase de boruro de cromo, aumentando con la cantidad de boro. Una fase frágil no se observaba en la muestra H100, lo más probablemente debido a la corrosión en la superficie. Además, la cantidad de boruros aumentaba con la cantidad de boro, lo que significa que se tiene que tener en cuenta que las propiedades de corrosión podrían disminuir cuando se añaden cantidades elevadas de boro, al igual que para la muestra H100 que fue atacada en el ensayo de corrosión. Este efecto "negativo" con el boro puede disminuir usando metales precursores más gruesos y/o tiempos de difusión más largos (tiempo usado para permitir que se forme la unión). Entonces es posible diluir el boro en el metal precursor. Además, para la cantidad normal de boro al igual que para A3.3 y B2, se formó una capa superficial frágil más fina. Se observó que para la baja cantidad de boro en las muestras, la muestra E0.3, se formaba una capa superficial frágil bastante gruesa, con un contenido de silicio elevado por lo general > 5 % en peso de silicio, con una característica diferente a la de las superficies frágiles para A3.3, B2, H100, I66 y J. El efecto "negativo" con el silicio puede disminuir usando metales precursores más gruesos y/o tiempos de difusión más largos. Entonces es posible diluir el silicio en el metal precursor.

Ejemplo 5

El Ejemplo 5 se refiere a ensayos de curva de algunas muestras. A partir de las muestras de ensayo preparadas de acuerdo con el Ejemplo 3, los trozos de las placas se cortaron con el ancho de 35 mm, lo que significa una superficie aplicada de 35 mm x 35 mm. Sobre esta superficie se colocó una placa prensada circular, véase la Fig. 13, con un diámetro de 42 mm y un grosor de 0,4 mm, ma hecha con acero inoxidable de tipo 316L. La placa prensada tenía dos ejes prensados, cada uno con una longitud de aproximadamente 20 mm. Se hizo una soldadura fuerte de las muestras durante aproximadamente 1 hora a aproximadamente 1200 °C.

Los resultados del ensayo de curva muestran que había cantidades de aleación de soldadura fuerte en el área de la unión creada entre un área superficial plana (sobre la que se aplicó la mezcla), y un eje prensado de la muestra de ensayo que se muestra en la Fig. 13. La cantidad de aleación de soldadura porque se calculó mediante una aproximación, véase la Fig. 14, calculando un área mediante la estimación de que se forman dos triángulos en cada lado del centro de la unión. En la parte media no hay poco hay cantidades muy pequeñas de "aleación de soldadura fuerte" adicional formada. Los dos triángulos se pueden medir haciendo la medición de la altura (h) y la base (b), el área total de los dos triángulos se suma hasta $(h) \cdot (b)$ dado que hay dos triángulos. El problema con este cálculo es que la altura es difícil de medir. Por lo tanto, los inventores usan la siguiente ecuación para calcular las áreas de los dos triángulos:

$$A = ((X - B) / 2) \cdot ((X - B) / 2) \cdot \tan \alpha$$

A es el área total de los dos triángulos, X es el ancho total de la unión formada, B es la parte de la unión formada en la que el volumen de la aleación de soldadura fuerte formada en el centro de la unión es insignificante. Por lo tanto, la base de cada triángulo es $(X - B) / 2$. La altura se calcula midiendo el ángulo α , que es el ángulo entre las tangentes del eje presionado con respecto a la base.

Para calcular el volumen de la aleación de soldadura fuerte formada que había fluido a las grietas, se midió una longitud de los dos ejes respectivos en contacto con la superficie medida que era de 20 mm. La longitud total de los ejes se multiplicó con el área total.

El área de dos triángulos es el área calculada después de la soldadura fuerte en las Tablas 8 y 9. El volumen es el volumen de la aleación de soldadura fuerte formada sobre uno de los ejes. Los resultados del ensayo de curva se muestran en la tabla 8 y 9, y en la Fig. 15. En la Tabla 8 y en la Tabla 9, v y h representan v = eje izquierdo y h = eje derecho.

Tabla 8 (valor medido para el ensayo de curva, muestras A3.3 - B2/B4)

Muestra de mezcla N.º	Aglutinante aplicado Si + B [gramos]	Ancho [mm]	Área Calculada después de soldadura fuerte [mm²]	Volumen [mm³]
A3.3x-1v	0,06	2,69	0,29	5,8
A3.3x-1 h	0,06	2,58	0,25	5,0
A3.3-1v	0,10	2,23	0,14	2,8
A3.3-1 h	0,10	2,31	0,16	3,2
A3.3-2v	0,14	3,38	0,63	12,6

ES 2 617 219 T3

A3.3-2h	0,14	3,19	0,52	10,4
A3.3-3v	0,09	1,92	0,07	1,4
A3.3-3h	0,09	1,85	0,05	1,0
B2X-1v	0,18	2,12	0,11	2,2
B2X-1h	0,18	2,50	0,22	4,4
B2X-2v	0,15	2,31	0,16	3,2
B2X-2h	0,15	2,31	0,16	3,2
B2-1v	0,10	1,96	0,07	1,4
B2-1h	0,10	1,92	0,07	1,4
B2-2v	0,24	3,23	0,54	10,8
B2-2h	0,24	3,23	0,54	10,8
B2-3v	0,16	2,77	0,32	6,4
B2-3h	0,16	2,69	0,29	5,8
B4v	0,11	1,35	0,00	0
B4h	0,11	1,35	0,00	0

Tabla 9 (valor medido para el ensayo de curva para las muestras C1 a F0)

Muestra de mezcla N.º	Aglutinante aplicado Si + B [gramos]	Ancho [mm]	Área Calculada después de soldadura fuerte [mm ²]	Volumen [mm ³]
C1X-1v	0,22	2,50	0,22	4,4
C1X-1h	0,22	2,69	0,29	5,8
C1X-2v	0,33	3,08	0,46	9,2
C1X-2h	0,33	3,27	0,56	11,2
C1-1v	0,13	1,46	0,01	0,2
C1-1h	0,13	1,46	0,01	0,2
C1-2v	0,15	1,96	0,07	1,4
C1-2h	0,15	2,08	0,10	2,0
C1-3v	0,14	1,54	0,01	0,2
C1-3h	0,14	1,62	0,02	0,4
D0.5-1v	0,19	2,54	0,23	4,6
D0.5-1h	0,19	2,50	0,22	4,4
D0.5-2v	0,12	1,08	0,00	0
D0.5-2h	0,12	1,08	0,00	0
D0.5-3v	0,14	2,04	0,09	1,8
D0.5-3h	0,14	2,04	0,09	1,8

E0.3-1v	0,13	1,15	0,00	0
E0.3-1h	0,13	1,15	0,00	0
E0.3-2v	0,21	2,31	0,16	3,2
E0.3-2h	0,21	2,31	0,16	3,2
E0.3-3v	0,10	1,35	0,00	0
E0.3-3h	0,10	1,35	0,00	0
F0-1h	0,45	2,69	0,29	5,8
F0-2v	0,25	1,08	0,00	0
F0-2h	0,25	1,35	0,00	0
F0-3v	0,96	2,96	0,41	8,2
F0-3h	0,96	3,08	0,46	9,2

Los resultados de los anchos medidos y las áreas calculadas se presentan en las Tablas 8 y 9, y se ilustra en el diagrama de la Fig. 15. Las cantidades aplicadas, véanse las Tablas 8 y 9, eran de 0,06 gramos/3500 mm² a 0,96 gramos/3500 mm², que corresponde a de aproximadamente 0,017 mg/m² a 0,274 mg/mm².

5 Se midieron las líneas de tendencia $Y = K \cdot X + L$ para las mezclas, en la que Y es el ancho de la unión, K es la inclinación de la línea, X es la cantidad aplicada de la mezcla y L es una constante, véase la Fig. 15. Por lo tanto, el ancho de la unión de soldadura fuerte es:

$$Y (\text{ancho para A3.3}) = 1,554 + 9,922 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla A3.3})$$

$$Y (\text{ancho para B2}) = 0,626 + 10,807 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla B2})$$

$$10 \quad Y (\text{ancho para C1}) = 0,537 + 8,342 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla C1})$$

$$Y (\text{ancho para F0}) = 0,632 + 7,456 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla F0})$$

15 Como se observa a partir del diagrama, las mezclas A3.3 de las mezclas A3.3, B2, C1, D0.5, E0.3 y F0 proporcionan la cantidad de aleación de soldadura fuerte más elevada en la unión como una función de la cantidad de mezcla aplicada. La muestra F0 no proporcionaba ninguna unión sustancial por debajo de 0,20 gramos por 3500 mm².

Se midieron las líneas de tendencia $Y = K \cdot X - L$ para las mezclas, en la que Y es el área, K i es la inclinación de la línea, X es la cantidad aplicada de la mezcla y L es una constante, véase la Fig. 16.

$$Y (\text{área para A3.3}) = 4,361 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla A3.3}) - 0,161$$

$$Y (\text{área para B2}) = 3,372 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla B2}) - 0,318$$

$$Y (\text{área para C1}) = 2,549 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla C1}) - 0,321$$

$$20 \quad Y (\text{área para F0}) = 0,569 \cdot (\text{cantidad aplicada de la mezcla F0}) - 0,093$$

25 Un cálculo del volumen creado basándose en el diagrama de la Fig. 16, por ejemplo para una cantidad de 0,18 gramos por 3500 mm², excluyendo la muestra F0, debido a "ninguna" unión de soldadura fuerte y la muestra D0.5 debido demasitados pocos datos, proporciona un valor para las muestras de volumen creado de aleación de soldadura fuerte en la unión entre las placas, a continuación.

$$\text{Volumen (A3.3)} = 0,63 \cdot \text{longitud } 40 (20 \cdot 2) = 25,2 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen (B2)} = 0,30 \cdot \text{longitud } 40 (20 \cdot 2) = 12,0 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen (C1)} = 0,12 \cdot \text{longitud } 40 (20 \cdot 2) = 4,8 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen (E0.3)} = 0,10 \cdot \text{longitud } 40 (20 \cdot 2) = 4,0 \text{ mm}^3$$

Además, se sometieron al ensayo las mezclas con una proporción de boro más elevada, por ejemplo las muestras G15, H100, I66 y J. Las muestras sometidas a ensayo funcionaban de una manera bastante similar a la mezcla A3.3 y B2 con respecto al volumen de la aleación de soldadura fuerte creada. Sin embargo, la sección transversal metalúrgica de las muestras de soldadura fuerte mostraba que la cantidad de boruros era superior y para la muestra H100, es decir boro puro, también se encontraron fases de cromo de fragilidad elevada en la superficie en la que se había aplicado anteriormente. Las fases duras eran muy probablemente boruros de cromo, lo que disminuye el contenido de cromo en el material circundante, disminuyendo la resistencia a la corrosión. Esto puede ser un problema cuando se desea una buena resistencia a la corrosión, pero no es un problema para ambientes no corrosivos. El efecto del boro podría disminuirse cambiando el tratamiento térmico y/o usando un metal precursor más grueso que pueda "absorber" una mayor cantidad de boro. Para un material con un grosor ≥ 1 mm, este efecto en la superficie también será menos grave ya que la proporción del volumen de la superficie en comparación con el volumen del metal precursor es mucho menor que para un material fino < 1 mm o $< 0,5$ mm. Los boruros de cromo podrían ser una ventaja si se desea una mejor resistencia al desgaste. La investigación metalúrgica también demostró que para la muestra F0, es decir, silicio puro, se encontró una fase gruesa con silicio quebradizo, con un grosor > 50 % del grosor de la placa para algunas áreas en la muestra investigada. La fase similar también se encontró en la unión. En esta fase se encontraron grietas, con una longitud > 30 % del grosor de la placa. Tales grietas disminuirán el rendimiento mecánico del producto unido y pueden ser puntos de inicio grietas de corrosión y/o fatiga. La dureza media medida de la fase fue superior a 400 Hv (Vickers). Es probable que esta fase quebradiza sea más difícil de disminuir, en comparación con la fase de boruro, usando un metal precursor más grueso o un cambio de tratamiento térmico. Además para el metal precursor más grueso este efecto puede ser menos severo.

Ejemplo 6

El Ejemplo 6 se refiere a ensayos de tracción de las uniones. A continuación, las placas de ensayo que corresponden a las usadas en el Ejemplo 3 se atrofiaron en trozos. El tamaño de las muestras troceadas era de aproximadamente 10 mm de ancho, de 180 ha 200 mm de longitud y tiene un grosor de 0,4 mm. El área aplicada para cada trozo era entonces 10 mm multiplicado por 35 mm = 350 mm². En el área aplicada se puso una parte más gruesa, 4 mm, de acero inoxidable de tipo 316L cubriendo 30 mm de la superficie total aplicada de 35 mm. La parte más gruesa se puso al final del trozo dejando 5 mm de superficie aplicada sin cubrir por la placa gruesa. Haciendo esto, se podría detectar una disminución de la resistencia en el material de la placa debida a la mezcla cuando se realiza al ensayo de tracción si la unión es más fuerte que la placa. La placa más gruesa también era más ancha que los trozos de 10 mm. Todas las muestras de ensayo se soldaron de manera fuerte (alentaron) a aproximadamente 1200 °C durante aproximadamente 1 hora.

Después de calentar, la parte gruesa se montó horizontalmente en una máquina de ensayo de tracción. El trozo se dobló fuertemente a 90° con respecto a una dirección vertical. Las muestras se montaron de manera que se podían mover en la dirección horizontal. A continuación, las muestras se cargaron y la unión se separó.

Cuando la placa era más fuerte que la unión, de modo que la unión se separaba, el resultado se establecía en cero. Para las muestras cuya unión era más fuerte que la del material de la placa, la diferencia de los resultados no era estadísticamente significativa. Los resultados se muestran como porcentaje (%) de las muestras sometidas a ensayo cuando la unión era más fuerte que con la misma que la de la placa como una función de la cantidad aplicada, lo que significa que la unión no se separaba cuando se realizaba el ensayo. Los resultados se resumen en la Tabla 10 y en el diagrama de la Fig. 17.

Tabla 10

Mezcla de Si + B [gramos]	Tasa de Éxito de la Mezcla A3.3-1 [%]	Tasa de Éxito de la Mezcla B2-1 [%]	Tasa de Éxito de la Mezcla C1-1 [%]	Tasa de Éxito de la Mezcla D0.5-1 [%]
0,0600	100			
0,0910	100			
0,0989		83		
0,1092		100		
0,1196				0
0,1309			50	
0,1399	100			
0,1402			50	
0,1428				0
0,1500		100		
0,1548			67	
0,1558		100		
0,1800		100		
0,1850				50
0,2200			100	
0,2417		100		
0,3000	100			
0,3300			100	

Ejemplo 7

5 Para establecer la relación entre la cantidad aplicada de la mezcla y el riesgo de crear agujeros a través de las placas, se realizaron nuevos ensayos. Para todos los ensayos, se usó la mezcla B2, véase la Tabla 6. La mezcla B2 también comprende el aglutinante S-30. Las piezas de ensayo que se sometieron a ensayo eran circulares con un grosor de 0,8 mm y con un diámetro de 83 mm. El metal precursor en las placas de ensayo era acero inoxidable de tipo 316. Para todas las muestras, la mezcla se aplicó en el centro de la muestra de ensayo. El área aplicada era de 10 28 mm², es decir una aplicación circular con un diámetro de 6 mm. Todas las muestras de ensayo se pesaron antes y después de la aplicación, y los resultados se resumen en la Tabla 11. A partir de ese momento, las muestras de ensayo se colocaron en un horno a temperatura ambiente durante 12 horas. Las muestras se pesaron de nuevo.

15 Todas las muestras de ensayo se pusieron en un horno y se calentaron (también denominado como "soldadura fuerte") a 1210 °C durante aproximadamente 1 hora. Durante la soldadura fuerte solamente los bordes más externos de cada muestra estaban en contacto con el material de fijación, manteniendo la superficie del fondo del centro de la placa sin contacto con ningún material durante la soldadura fuerte. La razón para mantener la superficie del fondo del centro de la placa libre de contactos es que se podría evitar un colapso o quemadura si el material central se apoya desde debajo con el material de fijación.

20

Los resultados de cantidad aplicada y quemadura para las muestras de 0,8 mm se resumen en la Tabla 11.

Tabla 11

Muestra N.º	Mezcla de Si + B y aglutinante húmedo adicional S-30	Mezcla de Si + B y aglutinante húmedo adicional S-30	Mezcla de Si + B y aglutinante seco adicional S-30	Cantidad calculada de Mezcla de Si + B sin aglutinante	Quemadura
	[gramos]	[mg/mm ²]	[mg/mm ²]	[mg/mm ²]	[1] o [0]
1	0,020	0,714	0,464	0,453	0
2	0,010	0,357	0,232	0,226	0
3	0,040	1,429	0,928	0,905	0
4	0,030	1,0714	0,696	0,679	0
5	0,050	1,786	1,161	1,132	0
6	0,060	2,143	1,393	1,359	0
7	0,070	2,500	1,625	1,585	0
8	0,080	2,857	1,857	1,811	0
9	0,090	3,214	2,089	2,037	0
10	0,100	3,571	2,321	2,264	0
11	0,110	3,928	2,554	2,491	1
12	0,120	4,285	2,786	2,717	1
13	0,130	4,642	3,018	2,943	1
14	0,150	5,357	3,482	3,396	1
15	0,170	6,071	3,946	3,849	1
16	0,190	6,786	4,411	4,302	1
17	0,210	7,500	4,875	4,755	1
18	0,230	8,214	5,339	5,207	1
19	0,280	10,000	6,500	6,339	1
20	0,290	10,357	6,732	6,566	1

Los ensayos muestran que existe una quemadura (agujero) entre la muestra 10 y 11 para una placa con un grosor de 0,8 mm. La muestra 10 tiene 2,264 mg/mm² de cantidad aplicada de la mezcla y la muestra 11 tiene 2,491 mg/mm². Para unir las placas que tienen unos grosores inferiores a 1 mm, existe un riesgo de quemadura de las placas con una cantidad dentro del intervalo de aproximadamente 2,830 mg/mm² a aproximadamente 3,114 mg/mm², la cantidad en la parte media de este intervalo es 2,972 mg/mm² ha. Por lo tanto, para una placa que tiene un grosor inferior a 1 mm, una cantidad inferior 2,9 mg/mm² podría ser adecuada para evitar la quemadura de la placa.

Ejemplo 8

En el Ejemplo 8 se realiza una unión con soldadura fuerte entre dos placas intercambiadoras de calor prensadas de tres maneras diferentes. El grosor de las placas intercambiadoras de calor es de 0,4 mm.

En la primera y segunda muestras de ensayo, se usó un relleno de soldadura fuerte basado en hierro con una composición cercana a la del acero inoxidable tipo 316. Véase el documento WO 2002/38327 para el relleno de soldadura fuerte. El relleno de soldadura fuerte tenía un aumento de la cantidad de silicio a aproximadamente un 10 % en peso, una cantidad de boro a aproximadamente un 0,5 % en peso y una disminución de la cantidad de Fe de aproximadamente un 10,5 % en peso. En la primera muestra de ensayo, el relleno de soldadura fuerte se aplicó en líneas y en la segunda muestra de ensayo el relleno de soldadura fuerte se aplicó de manera uniforme en la

superficie. En ambos casos, el relleno se aplicó después del prensado.

La muestra de ensayo de soldadura fuerte 1 mostraba que el relleno de soldadura fuerte aplicado en líneas se hundía en las uniones de soldadura fuerte. Una cierta cantidad del relleno de soldadura fuerte no fluía a la unión de soldadura fuerte y por lo tanto aumentaba el grosor localmente en la línea aplicada. Para muestra de ensayo 2 el relleno de soldadura fuerte fluía a las uniones de soldadura fuerte, sin embargo h una cierta cantidad del relleno de sombra fuerte permanecía en la superficie y aumentaba el grosor. En las muestras de ensayo 1 y 2 la cantidad de relleno de soldadura fuerte corresponde a una cantidad de aproximadamente un 15 % en peso del material de la placa.

En la muestra de ensayo 3 se usó la mezcla A3.3, véase la Tabla 6. La mezcla se aplicó antes de presionar uniformemente sobre la placa. La mezcla se aplicó en una cantidad que podría crear una unión de soldadura fuerte con tamaños similares a los de las muestras de ensayo 1 y 2.

La muestra de ensayo 3 se aplicó con una capa que tenía un grosor que correspondía a un peso de aproximadamente un 1,5 % en peso del material de la placa. Mediante la aplicación de la mezcla A3.3 se formó una aleación de soldadura fuerte a partir del metal precursor (parte metálica), y la aleación de soldadura fuerte formada fluía a las uniones de soldadura fuerte. Por consiguiente, el grosor de la placa disminuía ya que se hundía más material en la unión de sombra fuerte que en la mezcla añadida en la superficie.

Ejemplo 9

El Ejemplo 9 se refiere a ensayos con diferentes fuentes de boro y silicio. La finalidad de investigar fuentes de boro y fuentes de silicio alternativas. La mezcla B2, véase la Tabla 6, se seleccionó como referencia para los ensayos. Las fuentes alternativas se sometieron a ensayo con respecto a su capacidad para crear una unión. Para cada experimento se sometió a ensayo cualquiera de una fuente de boro alternativa o una fuente de silicio alternativa. Cuando se usa una fuente alternativa se supone que la influencia del otro elemento es cero, lo que significa que el peso del boro o del silicio en el componente alternativo era el único que se "medía", véase la Tabla 12. Para la mezcla de referencia B2, la proporción de peso entre silicio y boro es de 10 gramos a 2 gramos sumando hasta 12 gramos. Cada mezcla incluía el aglutinante S-30 y la mezcla se aplicó en una placa de acero de acuerdo con el Ejemplo 1. La soldadura fuerte de todas las muestras se realizó en un horno de vacío a 1210 °C durante 1 hora.

Tabla 12

Muestra	Fuente Alternativa	Cantidad Añadida [Si] [gramos]	Cantidad Añadida [B] [gramos]	Cantidad Correspondiente [Si] [gramos]	Cantidad Correspondiente [B] [gramos]
Si - B	Si-B	10,0	2,0	10,0	2,0
Si - B ₄ C	B ₄ C	10,0	2,6	10,0	2,0
Si - FeB	FeB	10,1	12,5	10,1	2,0
FeSi - B	FeSi	30,2	2,0	10,1	2,0
Si - NiB	NiB	10,1	13,0	10,1	2,0

La línea de tendencia $Y = K \cdot X + L$ para la mezcla B2 se midió, Y es el ancho de la unión, K es la inclinación de la línea para B2, X es la cantidad aplicada de mezcla y L es una constante para la cantidad aplicada de la muestra B2, véase la Fig. 15. Por lo tanto, el ancho de la unión de la soldadura fuerte es $Y = 0,626 + 10,807 \cdot (\text{cantidad aplicada de mezcla})$.

En la Tabla 13, v y h representan v = eje izquierdo y h = eje derecho como en el Ejemplo 5.

Tabla 13

Muestra	Cantidad aplicada [gramos]	Ancho de la Unión Calculado Y [mm ²]	Ancho de la Unión Medido [mm ²]
Si-B ₄ C-v	0,22	3,0	2,69
Si-B ₄ C-h	0,22	3,0	2,88
Si-FeB-v	0,26	3,4	1,73

Si-FeB-h	0,26	3,4	1,73
FeSi-B-v	0,29	3,8	2,1
FeSi-B-h	0,29	3,8	2,1
Si-NiB-v	0,39	4,8	2,69
Si-NiB-h	0,39	4,8	2,88

Los resultados en la Tabla 13 muestran que es posible usar B4C, NiB y FeB como fuentes alternativas al boro. Cuando se usaba NiB, la cantidad creada era menor que para el boro puro. Sin embargo, se podía usar NiB si se quiere un efecto de formación de aleación de Ni.

5 Ejemplo 10

10 En el Ejemplo 10 se sometió a ensayo un gran número de diferentes metales precursores, es decir, metales que se pueden usar para las partes metálicas 11 y 12 de la Fig. 1. Todos los ensayos excepto para el acero dulce y una aleación de Ni-Cu se sometieron a ensayo de acuerdo con el "ensayo Y" (véase a continuación).

15 Para el ensayo Y, se colocaron dos piezas de ensayo prensadas circulares con un grosor de aproximadamente 0,8 mm una sobre otra. Cada muestra tenía un eje circular prensado. Las caras superiores de los ejes se colocaron las unas a las otras creando una grieta circular entre las piezas. Para cada muestra se aplicó la mezcla B2, que en este ejemplo comprende el aglutinante S-20, con un pincel. El peso de la cantidad añadida de mezcla no se midió ya que la aplicación no era homogénea cuando se aplicaba con el pincel. En la Fig. 18 se presenta una fotografía de una de las muestras después de la unión.

20 Las muestras de acero dulce y las muestras de Ni-Cu se aplicaron de la misma manera, pero para el acero dulce de acuerdo con los ensayos realizados en el "ensayo de curva" ejemplo 5 y para el ensayo de Ni-Cu con dos piezas de ensayo planas. Se hizo una "soldadura fuerte" de las muestras, excepto para la de Ni-Cu, en un horno a aproximadamente 1200 °C, es decir 1210 °C, durante 1 h en horno con atmósfera de vacío. Se hizo una soldadura fuerte de la muestra de Ni-Cu a aproximadamente 1130 °C durante aproximadamente 1 h en el mismo horno de vacío. Después de la "soldadura fuerte" se formó una unión entre las piezas para todos los ensayos. Un flujo de la "aleación de soldadura fuerte" creada (hecha con el metal precursor) para la unión también se observó para todas las muestras sometidas a ensayo. Los resultados se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14

Muestra de metal precursor N.º	Cr [% en peso]	Fe [% en peso]	Mo [% en peso]	Ni [% en peso]	Cu [% en peso]	Mn [% en peso]	¿Después de Crear Unión con Soldadura Fuerte?	¿Después de Flujo de Soldadura Fuerte de Aleación de Soldadura Fuerte?
1	-	0,3	-	99	-	0,2	Si	Si
2	21	0,6	16	62	0,4	-	Si	Si
3	22	0,7	16	59	1,6	-	Si	Si
4	0,6	1,9	29	68	0,2	-	Si	Si
5	21	4,4	13	58	-	-	Si	Si
6	19	5,0	9,0	63	0,4	-	Si	Si
7	15	5,5	17	60	-	0,3	Si	Si
8	1,1	5,6	28	63	0,6	0,4	Si	Si
9	19	6,2	2,6	70	1,7	0,4	Si	Si
10	33	32	1,7	33	0,4	0,6	Si	Si
11	27	33	6,5	32	1,1	1,4	Si	Si
12	27	36	3,4	32	1,0	1,4	Si	Si

13	24	44	7,2	23	0,3	1,5	Si	Si
14	20	48	4,3	25	1,1	1,2	Si	Si
15	19	50	6,3	25	0,2	-	Si	Si
16	20	54	6,5	19	0,6	0,4	Si	Si
17	29	64	2,4	3,5	-	-	Si	Si
18	28	66	2,2	3,5	-	-	Si	Si
19	0,3	1,1	-	66	31	1,6	Si	Si
20	0,17	99,5	-	-	-	0,3	Si	Si

Los resultados en la Tabla 14 muestran que se forman aleaciones de soldadura fuerte entre la mezcla y el metal precursor para cada muestra 1 a 20. Los resultados también muestran que se crearon uniones para cada muestra sometida al ensayo.

5 Los ejemplos muestran que el boro era necesario para crear una cantidad sustancial de aleación de soldadura fuerte, que podría rellenar las uniones y también crear resistencia en las uniones. Los ejemplos también mostraban que el boro era necesario para la microestructura, ya que se encontró una fase frágil gruesa para las muestras sin boro.

10 A partir de lo mencionado anteriormente sigue que el metal precursor, es decir, las partes metálicas que se han descrito en relación por ejemplo con la Fig. 1, puede estar formado por una aleación que comprende elementos tales como hierro (Fe), cromo (Cr), níquel (Ni), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), cobre (Cu), etc. Algunos ejemplos de aleaciones a usar para las partes metálicas se encuentran en el listado de la Tabla 15.

15

Tabla 15

Metal precursor (partes metálicas)	Temperatura de sólido aproximada [°C]	Temperatura de líquido aproximada [°C]
Níquel 200/201	1435	1445
Nicrofer 5923hMo	1310	1360
Aleación Hastelloy ® C-2000 ®	1328	1358
Hastelloy B3	1370	1418
Aleación C22	1357	1399
Inconel 625	1290	1350
Aleación C 276	1325	1370
Nicrofer 3033	1330	1370
Nicrofer 3127HMo	1350	1370
AL6XN	1320	1400
254SMO	1325	1400
Monel 400	1299	1348
Cu Puro	1085	1085
Acero dulce	1505	1535
Acero inoxidable de tipo 316	1390	1440
Acero inoxidable de tipo 304	1399	1421

La mezcla, es decir, la composición que disminuye el punto de fusión, se puede aplicar mediante pintura como se ha descrito anteriormente. La mezcla también se puede aplicar por medios tales como deposición de vapor física (PVD), o deposición de vapor química (CVD), en cuyo caso no es necesario que la mezcla incluya un componente aglutinante. Es posible aplicar el silicio en una capa y el boro en una capa, mediante pintura o mediante PVD o CVD.

5 Además, incluso si se aplica en capas, se considera que tanto el boro como el silicio están incluidos en la composición que disminuye el punto de fusión ya que interactuarán durante el calentamiento, tal como si se mezclaron antes de la aplicación.

10 Método

Por referencia a la Fig. 19, se ilustra un diagrama de flujo de un método para unir una primera y una segunda partes metálicas. Las partes metálicas pueden estar hechas de diferentes materiales como se ha descrito anteriormente.

15 En una primera etapa 201 la composición que disminuye el punto de fusión se aplica en la superficie de una de las partes metálicas (en el presente documento la primera parte metálica). La aplicación *per se* se puede realizar mediante técnicas convencionales, por ejemplo mediante pulverización o pintura en el caso en el que la composición que disminuye el punto de fusión comprende un componente aglutinante, y mediante PVD o CVD en el caso en el que no se usa componente aglutinante.

20 En una etapa siguiente 202, la segunda parte metálica se pone en contacto con la composición que disminuye el punto de fusión en un punto de contacto en la superficie. Esto se puede realizar de forma manual o automática mediante el uso de sistemas de fabricación automatizada convencionales.

25 En una etapa siguiente 303, las partes metálicas se calientan a una temperatura que es superior a 1100 °C. La temperatura exacta se puede encontrar en los ejemplos mencionados anteriormente. Durante el calentamiento, se forma una superficie de al menos la primera parte metálica fundida y, junto con el componente que disminuye el punto de fusión, se forma una capa metálica fundida que está en contacto con la segunda parte metálica en el punto de contacto entre la primera parte metálica y la segunda parte metálica. Cuando esto sucede, el metal de la capa metálica fundida fluye hacia el punto de contacto.

30 En una etapa final 204, se permite que la capa metálica fundida se solidifique, de modo que se obtiene una unión en el punto de contacto, es decir, el metal que ha fluido hasta el punto de contacto se solidifica. Por lo general, la solidificación incluye la disminución de la temperatura a temperatura ambiente normal. Sin embargo, la solidificación también se produce durante el proceso físico de redistribución de los componentes (boro y silicio) en el área de unión, antes de disminuir una temperatura.

35 A partir de la descripción mencionada anteriormente sigue que, aunque se han descrito y mostrado diversas realizaciones de la invención, la invención no se limita a lo mismo, sino que también se puede incluir en otras formas dentro del alcance de la materia objeto que se define en las siguientes reivindicaciones. Diversas composiciones que disminuyen el punto de fusión también se pueden combinar con diversos metales para las partes metálicas. Por ejemplo, la composición que disminuye el punto de fusión (mezcla) A3.3 se puede combinar con partes metálicas hechas de acero 316.

REIVINDICACIONES

1. Un método para unir una primera parte metálica (11) a una segunda parte metálica (12), teniendo las partes metálicas (11, 12) una temperatura de sólido superior a 1100 °C, comprendiendo método
- 5 - aplicar (201) una composición que disminuye el punto de fusión (14) en una superficie (15) de la primera parte metálica (11), comprendiendo la composición que disminuye el punto de fusión (14)
- 10 • un componente que disminuye el punto de fusión que comprende al menos un 25 % en peso de boro y silicio para disminuir la temperatura de fusión de la primera parte metálica (11), y
- opcionalmente, un componente aglutinante para facilitar la aplicación (201) de la composición que disminuye el punto de fusión (14) en la superficie (15),
- 15 - poner (202) la segunda parte metálica (12) en contacto con la composición que disminuye el punto de fusión (14) en un punto de contacto (16) en dicha superficie (15),
- calentar (203) la primera y la segunda partes metálicas (11, 12) a una temperatura superior a 1100 °C, fundiéndose de este modo dicha superficie (15) de la primera parte metálica (11), en donde se funde una capa superficial (21) de la primera parte metálica (11) y, junto con el componente que disminuye el punto de fusión, forma una capa metálica fundida (210) que está en contacto con la segunda parte metálica (12) en el punto de
- 20 contacto (16), y
- permitir (204) que la capa metálica fundida (210) se solidifique, y obtener una unión (25) en el punto de contacto (16).
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el boro se obtiene a partir de cualquiera de boro elemental y boro de un compuesto de boro seleccionado entre al menos cualquiera de uno de los siguientes compuestos: carburo de boro, boruro de silicio, boruro de níquel y boruro de hierro.
- 25 3. Un método de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el que el silicio se obtiene a partir de cualquiera de silicio elemental y silicio de un compuesto de silicio seleccionado entre al menos cualquiera de los siguientes compuestos: carburo de silicio, boruro de silicio y ferro-silicio.
- 30 4. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 3, en el que el componente que disminuye el punto de fusión comprende
- 35 • al menos un 40 % en peso de boro y silicio, o
- al menos un 85 % en peso de boro y silicio.
5. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, en el que el boro constituye al menos un 10 % en peso del contenido de boro y silicio del compuesto que disminuye el punto de fusión.
- 40 6. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 5, en el que el silicio constituye al menos un 55 % en peso del contenido de boro y silicio del compuesto que disminuye el punto de fusión.
7. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6, en el que el componente que disminuye el
- 45 punto de fusión comprende
- menos de un 50 % en peso de elementos metálicos, o
- menos de un 10 % en peso de elementos metálicos.
- 50 8. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 7, en el que la primera parte metálica comprende un grosor de 0,3 - 0,6 mm y la aplicación (201) de la composición que disminuye el punto de fusión (14) comprende aplicar un promedio de 0,02 - 0,12 mg de boro y silicio por mm² en la superficie (15) de la primera parte metálica (11).
- 55 9. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 8, en el que la primera parte metálica comprende un grosor de 0,6 - 1,0 mm y la aplicación (201) de la composición que disminuye el punto de fusión (14) comprende aplicar un promedio de 0,02 - 1,0 mg de boro y silicio por mm² en la superficie (15) de la primera parte metálica (11).
- 60 10. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 9, en el que la superficie (15) tiene un área (A1) que es mayor que un área (A2) definida por el punto de contacto (16) en dicha superficie (15), en donde el metal en la capa metálica fundida (21') fluye hacia el punto de contacto (16) cuando se permite (204) que se forme la unión (25).
- 65 11. Un método de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el área (A1) de la superficie (15) es al menos 10 veces mayor que el área (A2) definida por el punto de contacto (16).

12. Un método de acuerdo con las reivindicaciones 10 u 11, en el que el área (A1) de la superficie (15) es al menos 3 veces mayor que un área transversal (A3) de la unión (25).
- 5 13. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 12, en el que la unión (25) comprende al menos un 50 % en peso de metal que, antes del calentamiento (203), era parte de cualquiera de la primera parte metálica (11) y la segunda parte metálica (12).
- 10 14. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 13, en el que cualquiera de la primera parte metálica (11) y la segunda parte metálica (12) comprende una pluralidad de protuberancias (28, 29) que se extienden hacia la otra parte metálica y, cuando se pone (202) la segunda parte metálica (12) en contacto con dicha superficie (15), se forma una pluralidad de puntos de contacto (16, 116) en dicha superficie (15).
- 15 15. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 14, en el que la primera parte metálica comprende cualquiera 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,
 - 20 • > 50 % en peso de Fe, > 15,5 % en peso de Cr y > 6 % en peso de Ni,
 - > 50 % en peso de 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,
 - 25 • > 70 % en peso de Co, o
 - > 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.
- 30 16. Un producto que comprende una primera parte metálica (11) que se une a una segunda parte metálica (12) de acuerdo con el método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-15.
- 35 17. Una composición que disminuye el punto de fusión para unir una primera parte metálica (11) a una segunda parte metálica (12) de acuerdo con un método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 15, comprendiendo la composición que disminuye el punto de fusión i) un componente que disminuye el punto de fusión que comprende al menos un 25 % en peso de boro y silicio para disminuir la temperatura de fusión, y ii), opcionalmente, un componente aglutinante para facilitar la aplicación (201) de la composición que disminuye el punto de fusión (14) en la primera parte metálica (11).

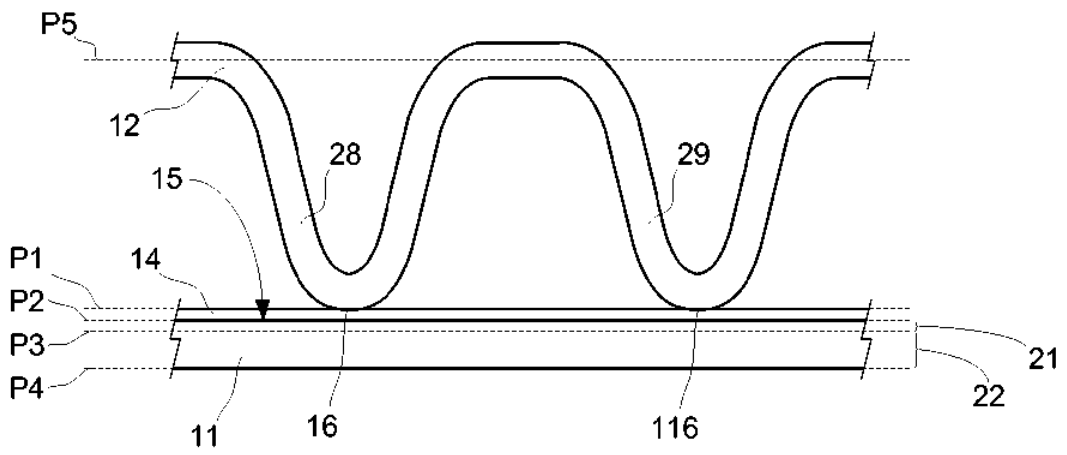


Fig. 1

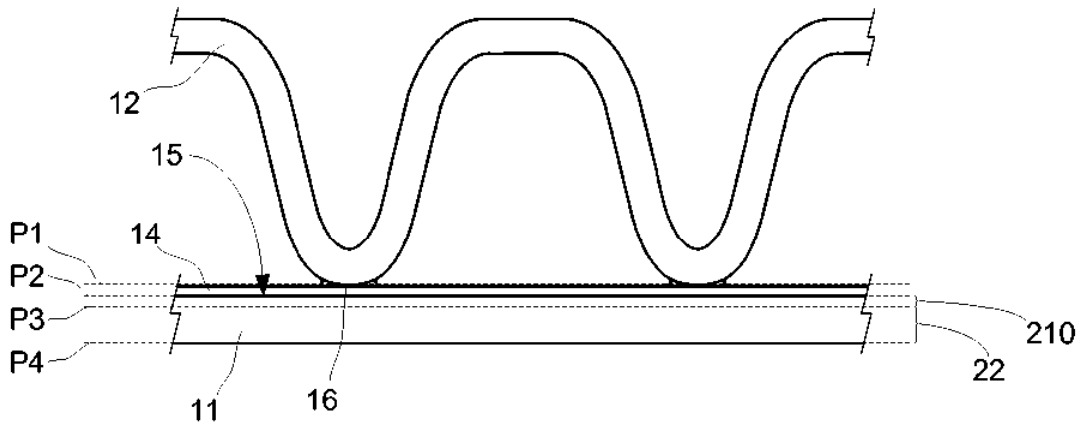


Fig. 2

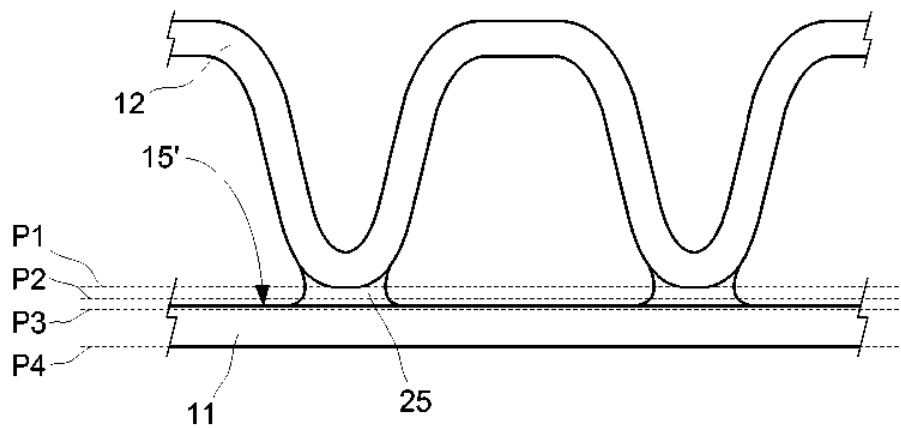


Fig. 3

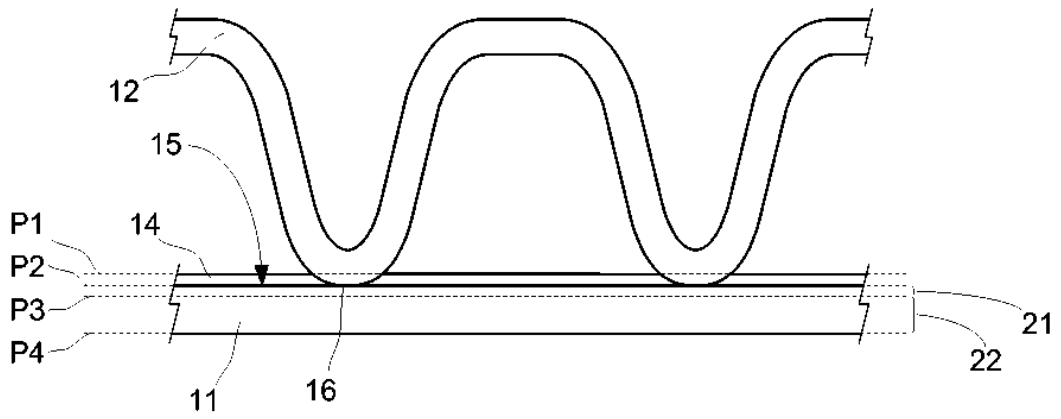


Fig. 4

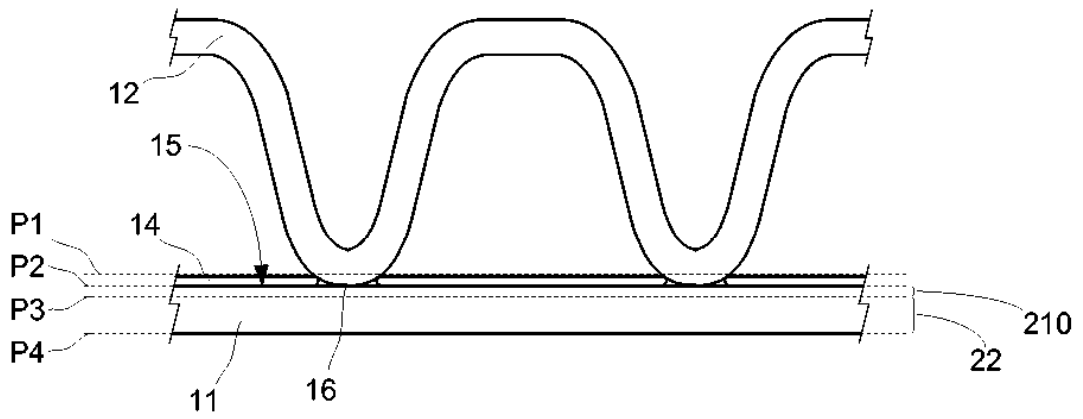


Fig. 5

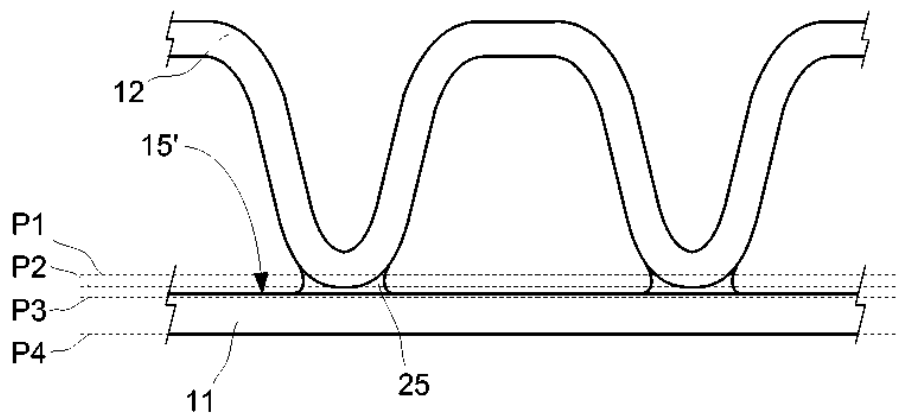


Fig. 6

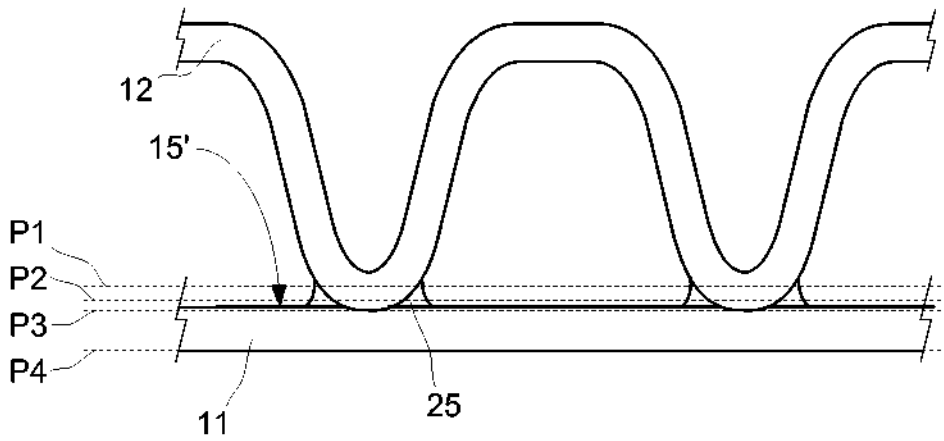


Fig. 7

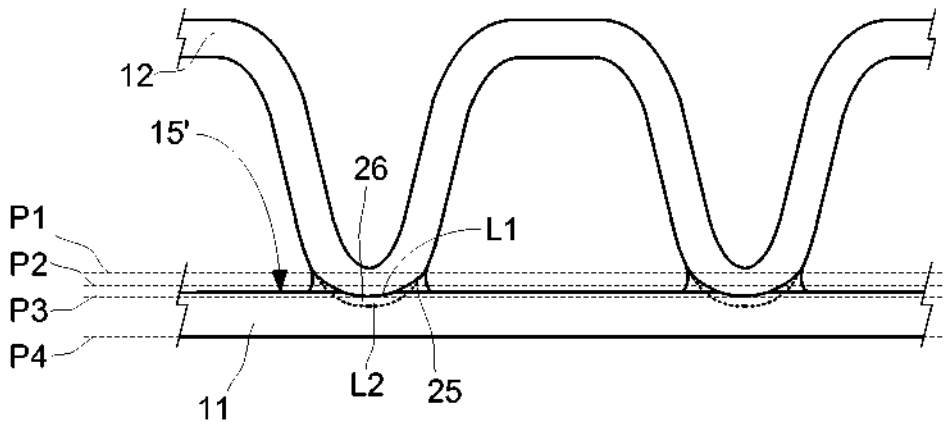


Fig. 8

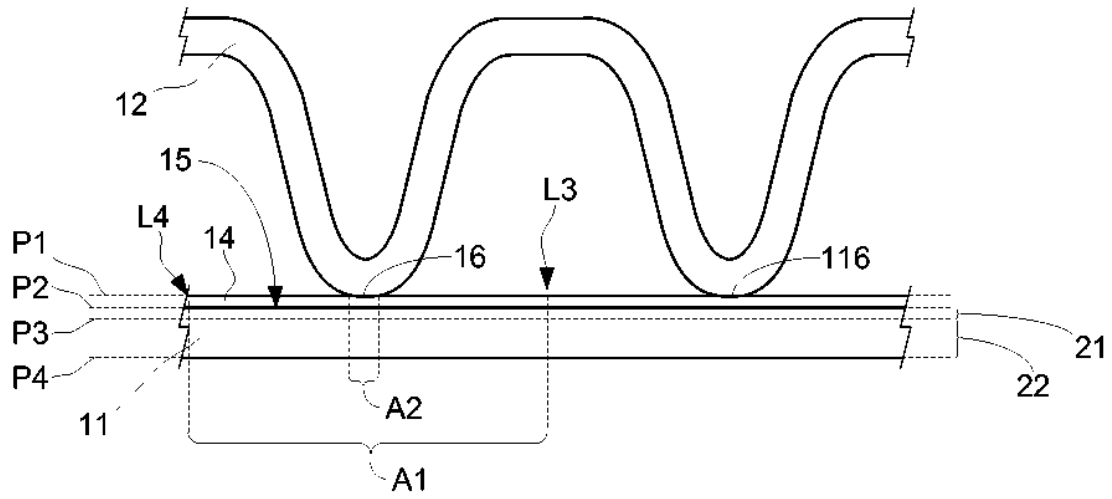


Fig. 9

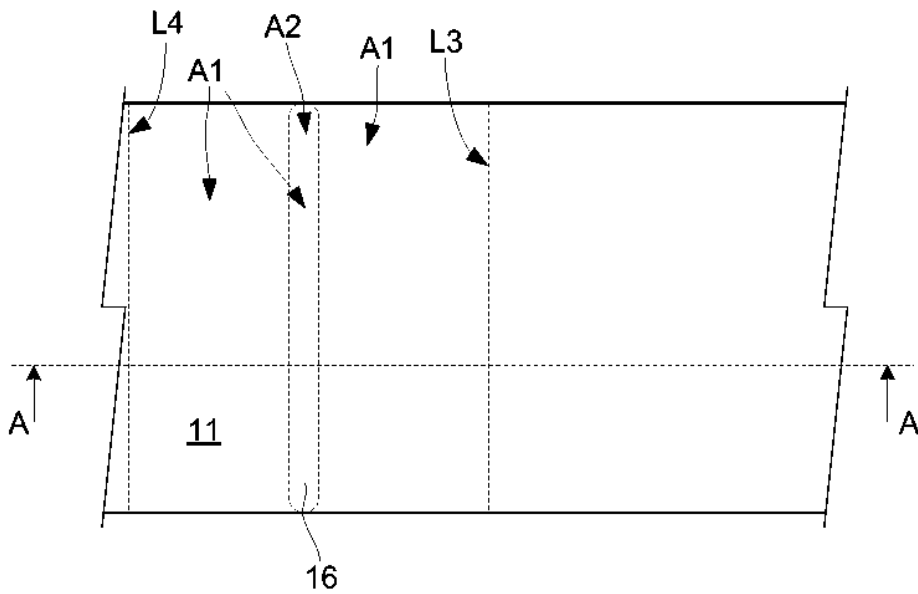
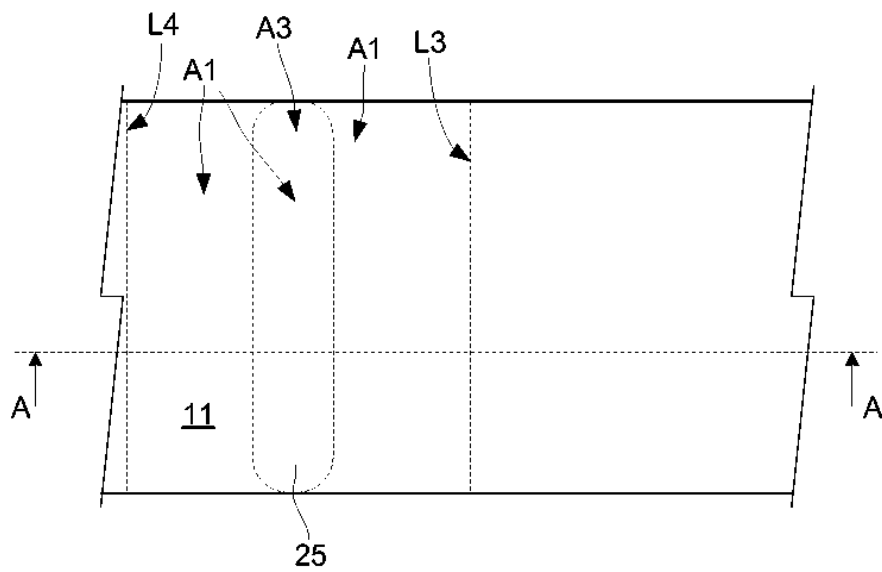
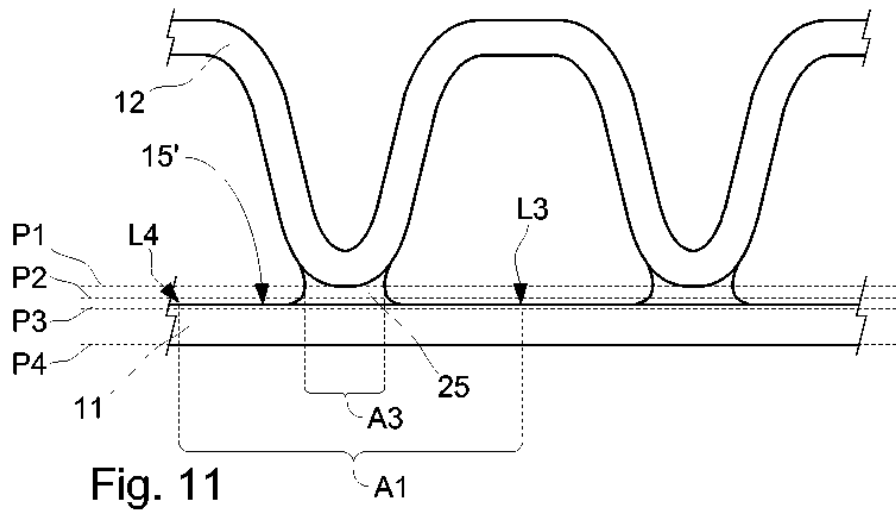


Fig. 10



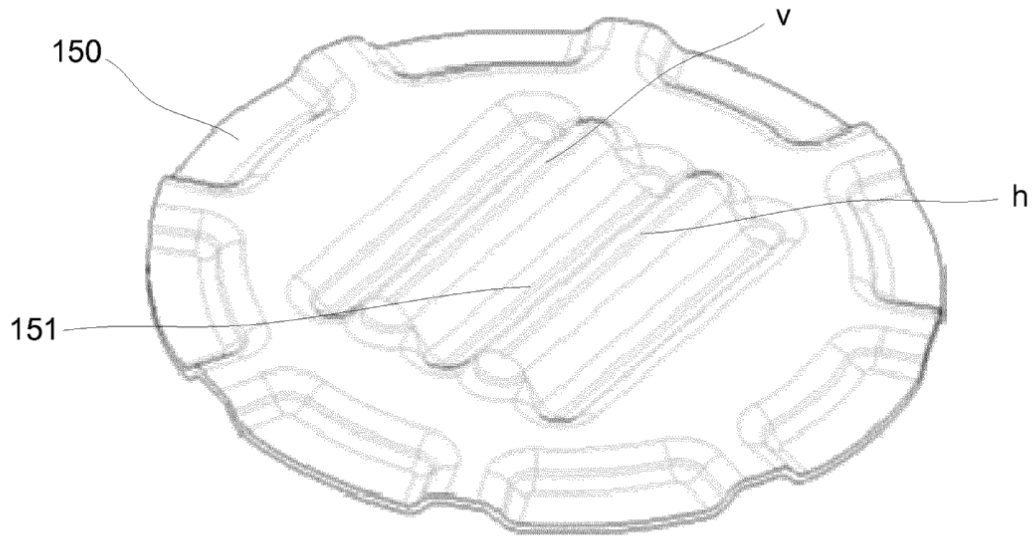


Fig. 13

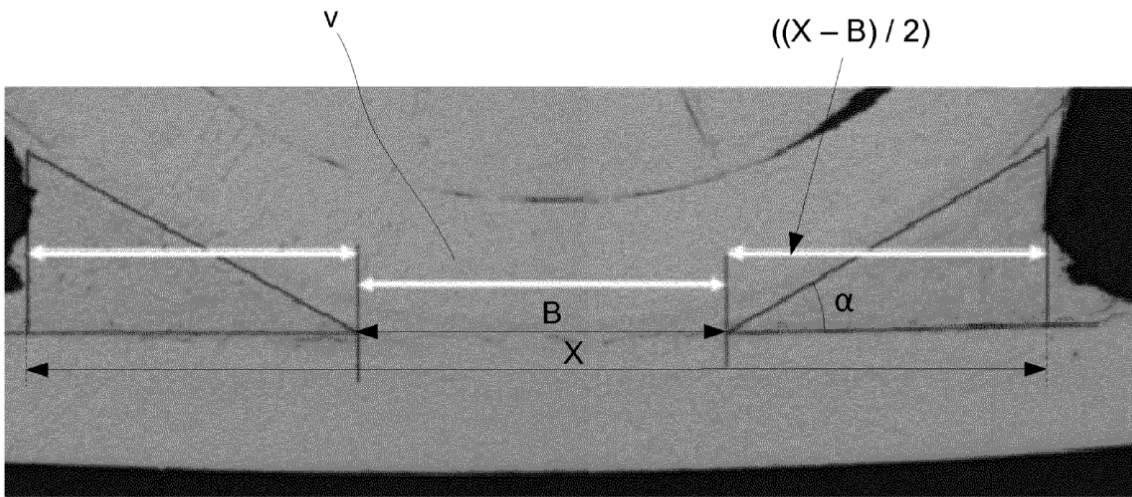


Fig. 14

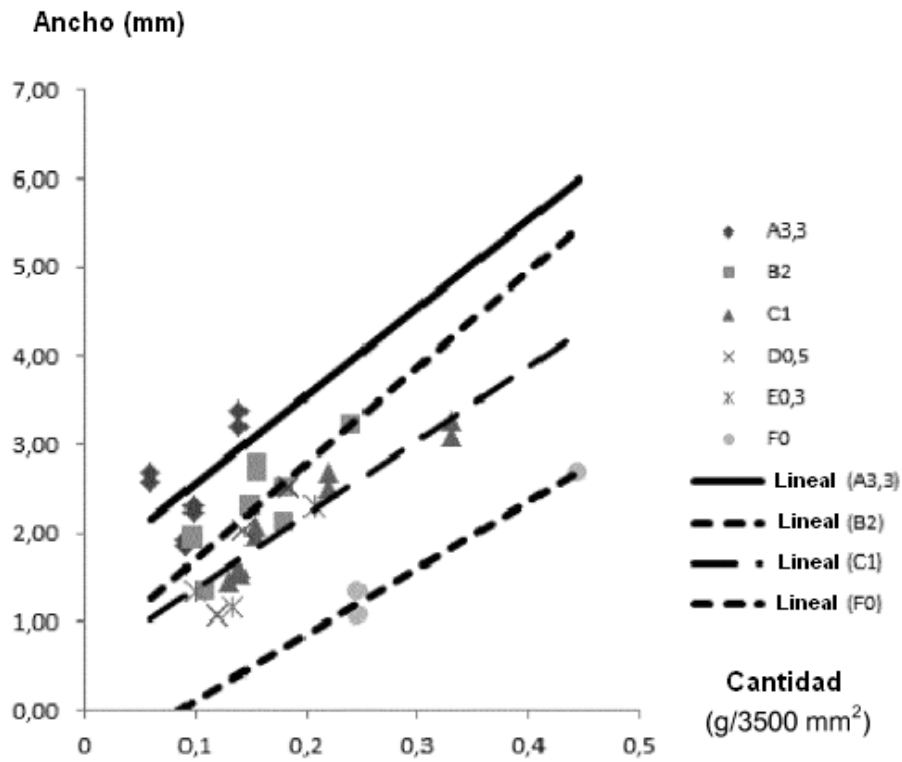


Fig. 15

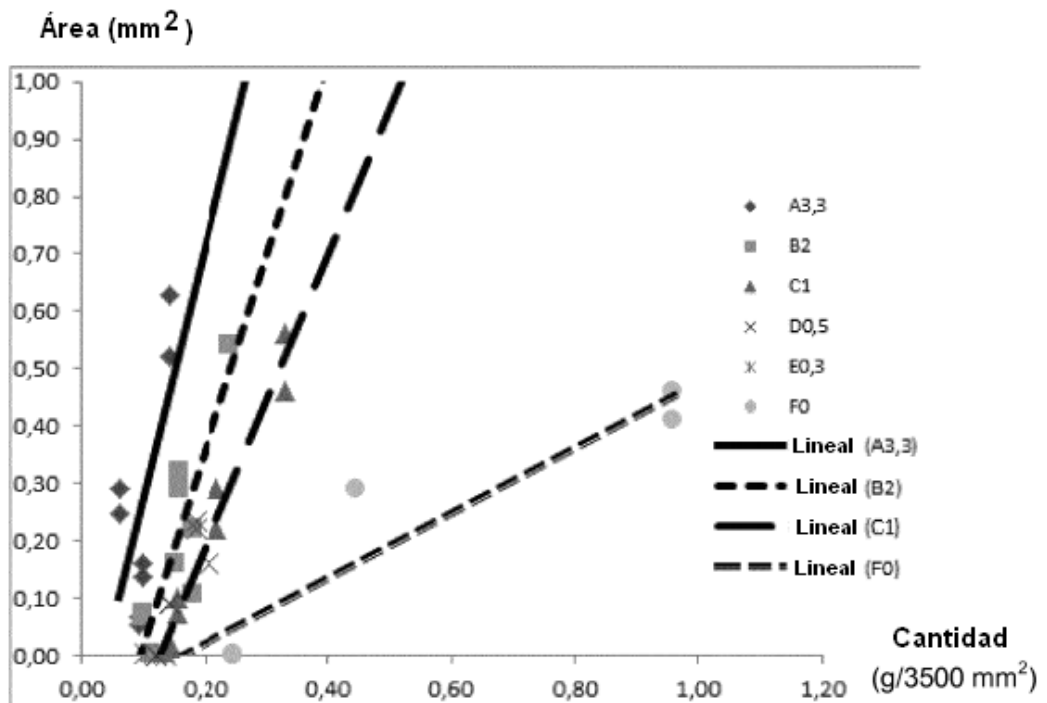


Fig. 16

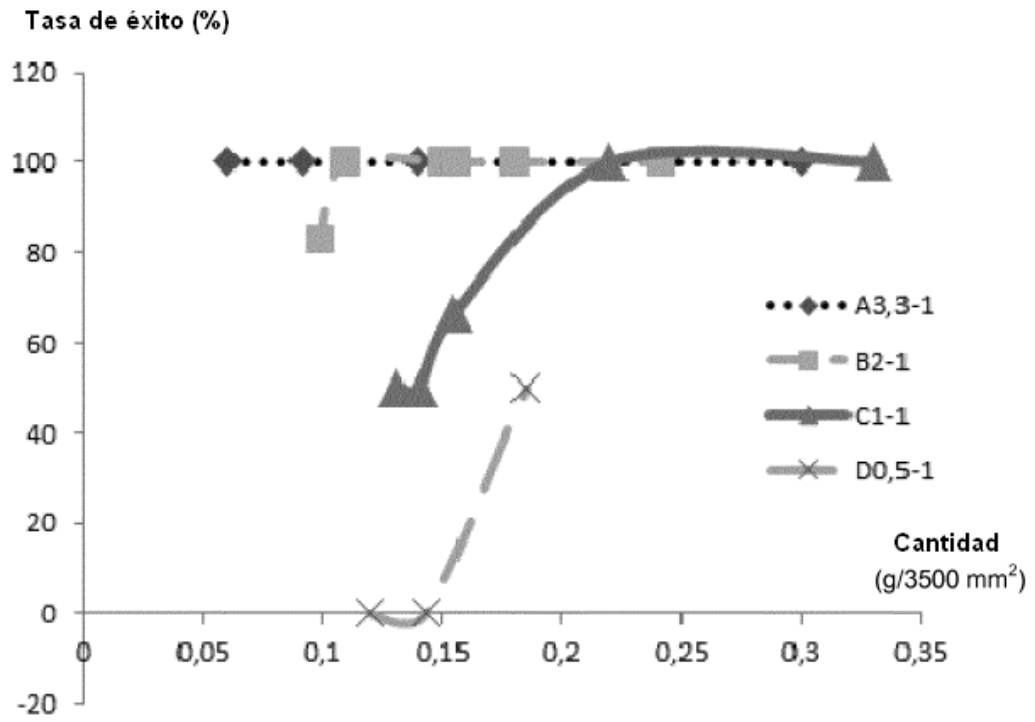


Fig. 17



Fig. 18

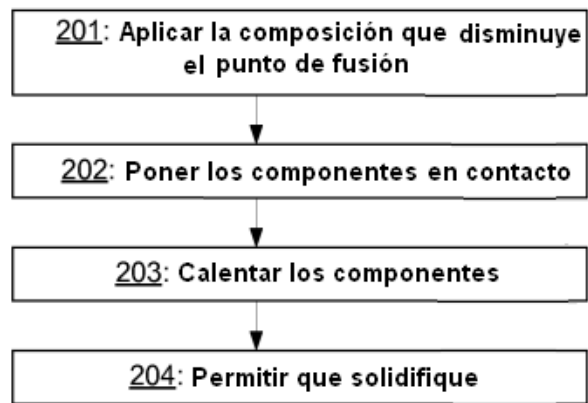


Fig. 19