(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 706 986**

(51) Int. CI.:

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

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2012 E 12161742 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2018 EP 2644312**

(54) Título: **Nuevo concepto de soldadura fuerte**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.04.2019

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

SJÖDIN, PER

(74) Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

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

Nuevo concepto de soldadura fuerte

La presente invención se refiere a un nuevo concepto de soldadura fuerte, a un producto intermedio para unir y/o recubrir mediante soldadura fuerte. La presente invención también se refiere a un producto intermedio apilado, a un producto intermedio ensamblado, a un método de soldadura fuerte, a un producto soldado obtenido mediante el método, a un uso de un producto intermedio, a un producto previamente soldado, a una mezcla y pintura.

Antecedentes

Hoy en día existen diferentes métodos de unión para unir aleaciones que tienen altas temperaturas de fusión. Por alta temperatura está prevista una temperatura de fusión superior a 900 °C. Un método común que se utiliza es la soldadura. La soldadura se refiere a un método en donde el material base con o sin material adicional se funde, es decir, la creación de un producto fundido a través de la fusión y la re-solidificación. Otro método de unión es la soldadura fuerte. Durante el proceso de soldadura fuerte, se añade una carga de soldadura fuerte al material base, y la carga de soldadura fuerte se funde durante el proceso a una temperatura superior a 450 °C, es decir, se forma una interfaz líquida, a una temperatura inferior a la temperatura de líquidus base del material base a unir. Al soldar la interfaz de líquidos se debe tener una buena humectación y flujo. La soldadura es un proceso en donde dos o más elementos metálicos se unen entre sí mediante la fusión y el flujo de un metal de relleno, es decir, una soldadura, en la unión, que tiene la soldadura un punto de fusión más bajo que la pieza de trabajo. En la soldadura fuerte, el metal de relleno se funde a una temperatura más alta que la soldadura, pero el metal de la pieza de trabajo no se funde. La distinción entre soldadura y soldadura fuerte se basa en la temperatura de fusión de la aleación de relleno. Generalmente se usa una temperatura de 450 °C como punto de delineación práctico entre la soldadura y la soldadura fuerte.

Cuando se suelda con soldadura fuerte, se aplica un relleno de soldadura fuerte en contacto con el espacio o la separación entre el material base que se va a unir. Durante el proceso de calentamiento, el relleno de soldadura fuerte se funde y llena el espacio a unir. En el proceso de soldadura fuerte hay tres etapas principales, la primera etapa se denomina etapa física. La etapa física incluye humedecer y hacer fluir el relleno de soldadura fuerte. La segunda etapa normalmente ocurre a una temperatura de unión dada. Durante esta etapa hay una interacción sólido-líquido, que va acompañada de una transferencia de masa sustancial. El volumen del material base que se adhiere inmediatamente al metal de relleno líquido se disuelve o reacciona con el metal de relleno en esta etapa. Al mismo tiempo, una pequeña cantidad de elementos de las fases líquidas penetra en el material base sólida. Esta redistribución de componentes en el área de unión da como resultado cambios en la composición del metal de relleno y, en ocasiones, el inicio de la solidificación del metal de relleno. La última etapa, que se superpone a la segunda, se caracteriza por la formación de la microestructura de la unión final y progresa durante la solidificación y el enfriamiento de la unión.

Un método estrechamente relacionado con la soldadura y la soldadura fuerte es la soldadura fuerte por difusión (DFB), también denominada unión transitoria en fase líquida (TLP) o unión activada por difusión (ADB). Algunas veces se menciona la unión por difusión, pero la unión por difusión se refiere a la soldadura fuerte por difusión o la soldadura por difusión y ahora se considera que la unión por difusión no es un término estándar.

La soldadura fuerte por difusión (DFB), la unión transitoria en fase líquida (TLP) o la unión activada por difusión (ADB) es un proceso que unión, o une, metales calentándolos a una temperatura de soldadura fuerte adecuada en la cual se fundirá o fluirá un metal de relleno situado previamente por atracción capilar o se formará una fase líquida in situ entre dos superficies en contacto entre sí. En cualquier caso, el metal de relleno se difunde en el material base hasta que las propiedades físicas y mecánicas de la unión se vuelven casi idénticas a las del metal base. Dos aspectos críticos de DFB, TLP o ADB son los siguientes:

- debe formarse un líquido y activarse en el área de la unión; y
- debe producirse una extensa difusión de los elementos de metal de relleno en el material base.

Las formas de obtener una unión cercana o la misma que la obtenida cuando se usa DFB, TLP o ADB, pero que tiene la ventaja de la soldadura fuerte, por ejemplo, tener la posibilidad de soldar separaciones más grandes, etc. es mediante el uso de una técnica de soldadura fuerte y los rellenos de soldadura fuerte descritos por los documentos WO 2002/38327, WO 2008/060225 y WO 2008/060226. Mediante el uso de un relleno de soldadura fuerte, es decir, una aleación de soldadura fuerte, con una composición cercana al material base pero con depresores de punto de fusión añadidos, por ejemplo, silicio y/o boro y/o fósforo. Al hacer esto, la unión de soldadura fuerte tendrá una composición cercana al material base después de la soldadura fuerte, ya que la carga de soldadura fuerte tenía una composición similar a la del material base, la carga de soldadura fuerte se fusiona con el material base debido a la disolución del material base y los depresores del punto de fusión difunden en el material base.

Hay muchas razones para seleccionar un determinado método de unión, como el coste, la productividad, la seguridad, la velocidad y las propiedades del producto unido. Los módulos E estrechamente relacionados

disminuirán el riesgo de altas tensiones en el material con un módulo E más alto cuando se carga el material. Cuando el coeficiente de expansión térmica es similar, el resultado disminuirá las tensiones inducidas térmicamente. Cuando el potencial electroquímico es similar, el resultado disminuirá el riesgo de corrosión.

El uso de rellenos, es decir, aleaciones, al unir metales base es un proceso complicado. El relleno debe estar en una forma que pueda aplicarse al metal base antes de calentar. Por lo general, los rellenos son partículas producidas adecuadamente por atomización, pero los rellenos también pueden estar en forma de láminas producidas por "hilatura por fusión", es decir, solidificación rápida (RS). Respecto a la RS, la RS solo puede producir un número limitado de composiciones. El número de composiciones que se pueden hacer como partículas, es decir, polvo, es mayor y la producción normal de polvos es por atomización. Cuando los rellenos están en forma de polvos, a menudo se combinan con aglutinantes para formar una pasta, que podría aplicarse al metal base de cualquier manera adecuada. Producir láminas o producir polvos de aleación son procesos complicados y, por lo tanto, costosos. Cuando se usan polvos, los polvos se aplican adecuadamente en forma de una pasta como se ha mencionado anteriormente, esto añadirá una etapa adicional al proceso ya que la pasta debe mezclarse con los aglutinantes y otros componentes, que son beneficiosos para las propiedades de la pasta. Para ambos procesos se realiza una gran cantidad de trabajo para obtener la forma, las propiedades, el perfil y la composición correctos del relleno antes de fundir y unir. Por lo tanto, un propósito de la invención es reducir las etapas del proceso al unir metales base. Otro propósito es simplificar la unión de los metales base y reducir así los costes. Para ambos procesos se realiza una gran cantidad de trabajo para obtener la forma, las propiedades, la forma y la composición correctas del relleno antes de fundir y unir. Por lo tanto, un propósito de la invención es reducir las etapas del proceso al unir metales base. Otro propósito es simplificar la unión de los metales base y reducir así los costes.

Si es posible, al seleccionar rellenos de soldadura fuerte, una composición cercana al material base es beneficiosa, ya que el material base se ha seleccionado para los propósitos del producto. Si fuera posible y el coste no fuera un límite, sería mejor desarrollar un relleno de soldadura fuerte para cada material base. Por lo tanto, otro propósito con la invención es disminuir el número necesario de rellenos de soldadura fuerte.

La invención

En consecuencia, la presente invención proporciona una solución a los problemas y propósitos técnicos mediante el novedoso e inventivo concepto de soldadura fuerte. Por lo tanto, la invención se refiere a un producto intermedio para unir y recubrir mediante soldadura fuerte. El producto intermedio comprende un metal base, metal base que tiene una temperatura de solidus por encima de 1040 °C. El producto intermedio también comprende al menos parte del metal base que tiene una capa superficial de una mezcla, cuya mezcla comprende boro (B) y silicio (Si), en donde el boro se selecciona de una fuente de boro, y en donde el silicio se selecciona de un silicio fuente. El boro y el silicio en la mezcla están en una relación de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 3:100 en peso/peso a aproximadamente 100:3 en peso/peso (peso en peso).

El nuevo concepto de soldadura fuerte proporciona, por ejemplo, uniones que se obtienen mediante una aleación de soldadura fuerte, la cual se forma en un proceso de fusión del metal base y una mezcla de boro y silicio. La aleación de soldadura fuerte en forma fundida ha sido transportada por fuerzas capilares al área de la unión, principalmente desde las áreas circundantes. La temperatura para el concepto de soldadura fuerte está por encima de 900 °C, es decir, por encima del punto de delimitación entre soldadura y soldadura fuerte. La aleación de soldadura fuerte formada es una aleación que tiene elementos separados para elementos de reducción de la temperatura de líquidus de un metal base. Por lo tanto, la aleación de soldadura fuerte tiene una temperatura de líquidus inferior a la de la aleación base.

El metal base de la invención es una aleación que comprende elementos tales como hierro (Fe), cromo (Cr), níquel (Ni), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), cobre (Cu), etc. Según una alternativa, el metal base se puede seleccionar del grupo que consiste en aleaciones con base de hierro, aleaciones con base de níquel, aleaciones con base de cromo y aleaciones con base de cobre. Los ejemplos de tales aleaciones se encuentran en la lista en la Tabla 1, los metales base no están limitados a esta lista y son solo ejemplos de posibles metales base.

Tabla 1

Metal base	**Temperatura de solidus aproximada [°C]**	**Temperatura de líquidus 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 blando	1505	1535
Acero inoxidable tipo 316	1390	1440
Acero inoxidable tipo 304.	1399	1421

Según una alternativa, el metal base puede comprender de aproximadamente el 15 a aproximadamente el 22 % en peso de cromo, de aproximadamente el 8 a aproximadamente el 22 % en peso de níquel, de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 3 % en peso de manganeso, de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 1,5 % en peso de silicio, opcionalmente de aproximadamente el 1 a aproximadamente el 8 % en peso de molibdeno, y el resto de hierro, todo ello en porcentaje en peso.

Según una alternativa, el metal base puede comprender de aproximadamente el 15 a aproximadamente el 22 % en peso de cromo, de aproximadamente el 8 a aproximadamente el 22 % en peso de níquel, de aproximadamente el 0,2 a aproximadamente el 3 % en peso de manganeso, de aproximadamente el 0,1 a aproximadamente el 1,5 % en peso de silicio, opcionalmente de aproximadamente el 1 a aproximadamente el 8 % en peso de molibdeno, y el resto de hierro, todo ello en porcentaje en peso.

Según otra alternativa, el metal base puede contener de aproximadamente el 15 a aproximadamente el 22 % en peso de cromo, de aproximadamente el 8 a aproximadamente el 22 % en peso de níquel, de aproximadamente el 1 a aproximadamente el 3 % en peso de manganeso, de aproximadamente el 0,5 a aproximadamente el 1,5 % en peso de silicio, opcionalmente de aproximadamente el 1 a aproximadamente el 8 % en peso de molibdeno y el resto de hierro.

Dependiendo de qué aleaciones se usen según la invención, es decir, los metales base, hay diferentes metales base preferidos que tienen diferentes temperaturas de solidus, es decir, el punto de temperatura en donde se solidifica un material. Según la invención, la temperatura de solidus del metal base puede ser superior a 1100 °C. Según una alternativa de la invención, la temperatura de solidus del metal base puede ser superior a 1220 °C. Según otra alternativa de la invención, la temperatura de solidus del metal base puede ser superior a 1250 °C. Según una alternativa adicional de la invención, la temperatura de solidus del metal base puede ser superior a 1300 °C.

Según una alternativa de la invención, la mezcla puede tener una relación de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 5:100 en peso/peso a aproximadamente 1:1 en peso/peso. Según otra alternativa de la invención, la mezcla puede tener una relación de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 1:10 peso/peso a aproximadamente 7:10 peso/peso. Según una alternativa adicional de la invención, la mezcla puede tener una relación de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 15:100 en peso/peso a aproximadamente 4:10 peso/peso.

La mezcla de boro y silicio podría ser cualquier tipo de mezcla entre boro y silicio. El boro podría ser una fuente de boro, que podría seleccionarse dentro del grupo que consiste en boro, B_4C, B_4Si, NiB y FeB. Silicio podría ser una fuente de silicio, que podría seleccionarse dentro del grupo que consiste en silicio, FeSi, SiC, y B_4Si.

La mezcla de la invención comprende partículas que tienen un tamaño de partícula inferior a 250 µm. Según una alternativa, el tamaño de partícula puede ser inferior a 160 µm. Según otra alternativa, el tamaño de partícula puede ser inferior a 100 µm. Según una alternativa adicional, el tamaño de partícula puede ser inferior a 50 µm.

La mezcla también puede comprender al menos un aglutinante seleccionado del grupo que consiste en disolventes, agua, aceites, geles, lacas, barnices, aglutinantes a base de, por ejemplo, monómeros o polímeros. El aglutinante podría seleccionarse entre poliésteres, polietileno, polipropileno, polímeros acrílicos, polímeros (met)acrílicos, alcohol polivinílico, acetato de polivinilo, poliestireno, etc.

La capa superficial puede aplicarse como un polvo de la mezcla o por medios tales como deposición física de vapor (PVD) o deposición química de vapor (CVD). La deposición física de vapor (PVD) es una variedad de deposición al vacío y es un término general utilizado para describir cualquiera de varios métodos para depositar películas delgadas mediante la condensación de una forma vaporizada del material de película deseado sobre varias superficies de la pieza de trabajo, por ejemplo, en obleas semiconductoras. El método de recubrimiento implica procesos puramente físicos, como la evaporación al vacío a alta temperatura con condensación posterior, o el bombardeo por pulverización catódica en lugar de una reacción química en la superficie a recubrir como en la deposición química de vapor. La deposición química de vapor (CVD) es un proceso químico utilizado para producir materiales sólidos de alta pureza y alto rendimiento. El proceso se utiliza, por ejemplo, en la industria de los semiconductores para producir películas delgadas. En un proceso típico de CVD, la oblea, es decir, el sustrato, se expone a uno o más precursores volátiles, que reaccionan y/o se descomponen en la superficie del sustrato para

producir el depósito deseado. Con frecuencia, también se producen subproductos volátiles, que se eliminan por el flujo de gas a través de la cámara de reacción.

El metal base de la invención puede tener un espesor < 1 mm, es decir, placas que tienen un espesor < 1 mm. Los problemas relacionados con las placas delgadas son que es fácil quemarlas. Por lo tanto, cuando el metal base tiene un espesor < 1 mm, la mezcla se puede aplicar sobre el metal base en una cantidad inferior a 2,9 mg/mm^2, preferiblemente en una cantidad inferior a 2,8 mg/mm^2.

El metal base de la invención puede tener un espesor ≥ 1 mm. Cuando el metal base tiene un espesor ≥ 1 mm, existen otros aspectos, como el riesgo de crear un surco o la posibilidad de formar una ranura o un surco alrededor de la unión.

El producto intermedio según la invención se puede soldar previamente de tal manera que el metal base y la capa superficial se expongan a una temperatura más alta que la temperatura de solidus de la aleación de soldadura fuerte formada y más baja que la temperatura de solidus del metal base. Se forma una capa de aleación de soldadura fuerte en el metal base en una etapa de soldadura previa. La aleación de soldadura fuerte en la capa superficial comprende la mezcla de boro (B) y silicio (Si) y el metal base.

Cuando los productos intermedios son placas, la capa superficial de la mezcla podría estar en un lado de las placas, una capa superficial única, o en ambos lados de las placas, capas superficiales dobles. Las placas podrían cortarse, conformarse, presionarse o combinaciones de las mismas, antes de la aplicación de la capa superficial, después de la aplicación de la capa superficial o después de la etapa previa a la soldadura fuerte.

Cuando los productos intermedios tienen otras formas, la capa superficial de la mezcla podría estar en un lado del producto, una capa superficial única, o en dos lados del producto, capas superficiales dobles, o la mezcla podría estar en varios lados del producto. El producto podría cortarse, conformarse, presionarse o combinaciones de los mismos, antes de la aplicación de la capa superficial, después de la aplicación de la capa superficial o después de la etapa de pre-soldadura fuerte.

La presente invención se refiere a un producto intermedio apilado para soldadura fuerte. El producto apilado comprende placas que se apilan, y que las capas superficiales de las placas estén en contacto con un metal base o con otra capa superficial. Las placas pueden no tener capas superficiales, capas superficiales simples, capas superficiales dobles o combinaciones de las mismas. Esto significa que un producto apilado podría tener n-1 placas de capa superficial única y la última placa no tiene capa superficial. Otro ejemplo podría ser tener una o más placas sin capas superficiales en el medio y apiladas en ambos lados de la placa central, ya sea placas de una sola capa superficial o capas superficiales dobles o ambas. Las placas pueden estar pre-soldadas. Las placas se pueden apilar de diferentes maneras.

La presente invención se refiere a un producto intermedio ensamblado para soldadura fuerte que comprende uno o más productos intermedios, en donde al menos un producto intermedio tiene un espesor ≥ 1 mm, este es el caso cuando las placas son más gruesas que 1 mm o cuando las piezas son más gruesas que 1 mm, y en donde el producto intermedio ensamblado tiene al menos una capa superficial en contacto con un metal base o en contacto con al menos una capa superficial antes de la soldadura fuerte, y después de la soldadura fuerte se obtiene una unión soldada.

La presente invención también se refiere a un producto soldado apilado o producto soldado ensamblado obtenido mediante la soldadura fuerte de un producto intermedio apilado o ensamblado, en donde el producto intermedio apilado o ensamblado se suelda a una temperatura inferior a 1250 °C en un horno al vacío, en un gas inerte, en una atmósfera reductora, o combinaciones de los mismos formando uniones soldadas entre las placas apiladas o las superficies de contacto del producto intermedio ensamblado. La aleación de soldadura fuerte formada se forma en un proceso de fusión del metal base y la mezcla, y la aleación de soldadura fuerte en forma fundida ha sido transportada por fuerzas capilares al área de unión, principalmente desde las áreas circundantes. Según otra alternativa de la invención, el producto puede soldarse a una temperatura inferior a 1200 °C. Según una alternativa adicional de la invención, el producto puede soldarse a una temperatura superior a 1100 °C. Según una alternativa adicional de la invención, el producto se puede soldar dentro de un intervalo de aproximadamente 1100 °C a aproximadamente 1250 °C.

La presente invención también se refiere a un método de soldadura fuerte de un producto, cuyo método comprende las siguientes etapas:

(i) aplicar una mezcla sobre un metal base, dicho metal base que tiene una temperatura de solidus por encima de 1040 °C, la mezcla comprende boro y silicio, el boro se selecciona de una fuente de boro y el silicio se selecciona de una fuente de silicio, la mezcla comprende boro y silicio en una relación de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 3:100 en peso/peso a aproximadamente 100:3 en peso/peso, preferiblemente dentro de un intervalo de aproximadamente 5:100 en peso/peso a aproximadamente 1:1 en peso/peso
(ii) obtener un producto intermedio;

(iii) exponer opcionalmente el producto intermedio obtenido en la etapa (ii) a una temperatura más alta que la temperatura de solidus de una aleación de soldadura fuerte y más baja que la temperatura de solidus del metal base, y formar una capa de la aleación de soldadura fuerte en la superficie del metal base en una etapa de pre-soldadura fuerte;
(iv) ensamblar o apilar el producto de la etapa (ii) o la etapa (iii) con uno o más productos según la etapa (ii) o la etapa (iii), o ensamblar o apilar el producto con una o más partes que no tengan una mezcla de silicio y boro, y formar un producto ensamblado o un producto apilado;
(v) soldadura fuerte del producto ensamblado o apilado de la etapa (iv) a una temperatura inferior a 1250 °C en un horno al vacío, en un gas inerte, en una atmósfera reductora o combinaciones de los mismos; y
(vi) obtener un producto soldado por soldadura fuerte.

Según una alternativa, el producto soldado por soldadura fuerte obtenido en la etapa (vi) puede estar provisto de una unión o uniones obtenidas al formar una aleación de soldadura fuerte en un proceso de fusión del metal base y la mezcla, y el transporte por fuerza capilar de la aleación de soldadura fuerte en forma fundida al área de la unión o uniones principalmente desde las áreas circundantes. Según una alternativa de la invención, la temperatura de solidus del metal base puede ser superior a 1220 °C. Según otra alternativa de la invención, la temperatura de solidus del metal base puede ser superior a 1250 °C. Según una alternativa adicional de la invención, la temperatura de solidus del metal base puede ser superior a 1300 °C.

Según una alternativa de la invención, el producto obtenido puede soldarse a una temperatura inferior a 1250 °C. Según otra alternativa de la invención, el producto puede soldarse a una temperatura inferior a 1200 °C. Según una alternativa adicional de la invención, el producto puede soldarse a una temperatura superior a 1100 °C. Según una alternativa adicional de la invención, el producto se puede soldar dentro de un intervalo de aproximadamente 1100 °C a aproximadamente 1250 °C.

El método también puede comprender que en la etapa (iv) el producto se suelde a un metal base que tiene un espesor ≥ 1 mm, o que se suelde a un metal base que tiene un espesor < 1 mm, o se suelde a uno o más productos intermedios según la invención.

El método también puede comprender que en la etapa (ii) o la etapa (iii) el producto se corte, conforme, presione o combinaciones de los mismos, obteniendo placas, preferiblemente placas intercambiadoras de calor o placas de reactor.

El método también puede comprender que el producto obtenido en la etapa (ii) o la etapa (iii) sea una placa y que en la etapa (iv) las placas se apilen para producir un intercambiador de calor o un reactor de placa.

El método también puede comprender que el producto soldado por soldadura fuerte obtenido se seleccione del grupo que consiste en intercambiadores de calor, reactores de placa, partes de reactores, partes de separadores, partes de decantadores, partes de bombas, parte de válvulas, etc.

La presente invención se refiere a un producto soldado por soldadura fuerte obtenido por el método según la invención. Las uniones del producto soldado por soldadura fuerte se obtienen mediante la aleación de soldadura fuerte formada, la cual se forma en un proceso de fusión del metal base y la mezcla, y se envía a la unión desde áreas circundantes, los elementos encontrados en la aleación de soldadura fuerte aparte de la base los elementos metálicos son Si, B y opcionalmente C, y en donde el metal base tiene una temperatura de solidus por encima de 1100 °C.

En el producto soldado por soldadura fuerte obtenido por el método, el volumen de la aleación formada se calcula a partir de la siguiente fórmula, ver también Figura 2:

$$\text{Volumen} = \text{área total A} \times \text{longitud de la unión}$$

$$\text{Área total A} = ((X - B)/2) \times ((X - B)/2) \times \tan \alpha$$

Donde A es el área total de los dos triángulos, X es la anchura total de la unión formada, B es la parte de la unión formada donde el volumen de la aleación de soldadura fuerte formada en el centro de la unión es despreciable, y la altura se calcula midiendo el ángulo α, que es el ángulo de la tangente entre el viga prensada y la base.

La presente invención también se refiere al uso de un producto intermedio para la soldadura fuerte de intercambiadores de calor, reactores de placas, partes de reactores, partes de separadores, partes de decantadores, partes de bombas, partes de válvulas, etc.

La presente invención también se refiere a un producto pre-soldado por soldadura fuerte que comprende un metal base que tiene una temperatura de solidus por encima de 1040 °C, cuyo producto pre-soldado por soldadura fuerte se obtiene aplicando una capa superficial de una mezcla sobre el metal base, cuya mezcla comprende boro y silicio, el boro se selecciona de una fuente de boro, y el silicio se selecciona de una fuente de silicio, en donde la mezcla

comprende boro y silicio en una relación de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 3:100 en peso/peso a aproximadamente 100:3 en peso/peso, preferiblemente dentro de un intervalo de aproximadamente 5:100 en peso/peso a aproximadamente 1:1 en peso/peso, en donde el metal base y la capa superficial están expuestos a una temperatura más alta que la temperatura de la aleación de soldadura fuerte formada y más baja que la temperatura de solidus del metal base, y se obtiene una capa de la aleación de soldadura fuerte en la superficie del metal base.

La presente invención también se refiere a una mezcla para soldadura fuerte de uniones de metales base y recubrimientos de metales base, cuyo metal base tiene una temperatura de solidus por encima de 1040 °C, y la mezcla comprende boro y silicio, el boro se selecciona de una fuente de boro, y el silicio se selecciona de una fuente de silicio. La mezcla comprende boro y silicio en una relación de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 3:100 en peso/peso a aproximadamente 100:3 en peso/peso, preferiblemente dentro de un intervalo de aproximadamente 5:100 en peso/peso a aproximadamente 1:1 en peso/peso. Según una alternativa, la mezcla también puede comprender polvos de metal base que tienen una temperatura de solidus por encima de 1040 °C. La mezcla en la pintura puede comprender partículas que tienen un tamaño de partícula < 50 µm.

La mezcla de boro y silicio podría ser cualquier tipo de mezcla entre boro y silicio. El boro podría ser una fuente de boro, que podría seleccionarse dentro del grupo que consiste en boro, B_4C, B_4Si, NiB y FeB. El silicio podría ser una fuente de silicio, que podría seleccionarse dentro del grupo que consiste en silicio, FeSi, SiC, y B_4Si.

La mezcla de la invención comprende partículas que tienen un tamaño de partícula inferior a 250 µm. Según una alternativa, el tamaño de partícula puede ser inferior a 160 µm. Según otra alternativa, el tamaño de partícula puede ser inferior a 100 µm. Según una alternativa adicional, el tamaño de partícula puede ser inferior a 50 µm.

La mezcla también puede comprender al menos un aglutinante seleccionado del grupo que consiste en disolventes, agua, aceites, geles, lacas, barnices, aglutinantes a base de, por ejemplo, monómeros o polímeros. El aglutinante podría seleccionarse entre poliésteres, polietileno, polipropileno, polímeros acrílicos, polímeros (met)acrílicos, alcohol polivinílico, acetato de polivinilo, poliestireno, etc.

El metal base de la invención es una aleación que comprende elementos tales como hierro (Fe), cromo (Cr), níquel (Ni), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), cobre (Cu), etc. Según una alternativa, el metal base se puede seleccionar del grupo que consiste en aleaciones con base de hierro, aleaciones con base de níquel, aleaciones con base de cromo y aleaciones con base de cobre.

La presente invención también se refiere a una pintura que comprende una mezcla de boro y silicio, el boro se selecciona de una fuente de boro, y el silicio se selecciona de una fuente de silicio, en donde la mezcla comprende boro y silicio en una relación de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 3:100 en peso/peso a aproximadamente 100:3 en peso/peso, preferiblemente dentro de un intervalo de aproximadamente 5:100 en peso/peso a aproximadamente 1:1 en peso/peso, y opcionalmente polvos de metal base que tienen una temperatura de solidus superior a 1040 °C, y que la pintura también comprende al menos un aglutinante seleccionado del grupo que consiste en solventes, agua, aceites, geles, lacas, barnices, aglutinantes a base de monómeros y/o polímeros.

Según una alternativa, el aglutinante puede seleccionarse entre poliésteres, polietileno, polipropileno, polímeros acrílicos, polímeros metacrílicos, alcohol polivinílico, acetato de polivinilo, poliestireno.

Otras realizaciones y alternativas están definidas por las reivindicaciones.

A continuación se explicará la invención mediante el uso de las Figuras 1 a 6. Las figuras tienen el propósito de demostrar la invención y no pretenden limitar su alcance.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 muestra un uso de una placa prensada circular en los ejemplos.

La Figura 2 muestra una gráfica de "Aproximación".

La Figura 3 muestra un diagrama en donde la anchura medida está en función de la cantidad aplicada (g/3500 mm^2) con líneas de tendencia.

La Figura 4 muestra otro diagrama en donde el área rellena calculada de la unión de soldadura fuerte en función de la anchura medida está en función de la cantidad aplicada (g/3500 mm^2) con líneas de tendencia

La Figura 5 muestra otro diagrama en donde el % de las muestras sometidas a prueba de tracción donde la unión era más fuerte o igual que el material de la placa en función de la cantidad de mezcla aplicada (gramo por 3500 mm^2)

La Figura 6 muestra la imagen de una de las muestras después de unirse.

Descripción detallada de los dibujos

La Figura 1 muestra una placa prensada circular de 42 mm de diámetro y 0,4 mm de espesor, fabricada en acero inoxidable tipo 316L. La placa prensada tenía dos vigas prensadas V y H, cada una de aproximadamente 20 mm de largo. La viga V o v representa la viga izquierda y la viga H o h significa la viga derecha, y v y h se usan en los Ejemplos 5 y 9.

La Figura 2 muestra la aproximación 1 que se basa en una sección transversal de una muestra de ensayo soldada. La sección transversal en la Figura 2 muestra la viga prensada en la parte superior de la Figura 2. En el fondo de la Figura 2 está la placa plana, aplicada previamente. En el capilar entre la viga y la superficie plana se crea una unión. Para estimar la cantidad de aleación de soldadura creada en la unión se han hecho las siguientes aproximaciones y cálculos. Se ha estimado que el volumen en el centro de la unión es insignificante. Por lo tanto, el volumen creado para soldadura fuerte de aleación para las uniones con una anchura, es decir, la anchura B de 1,21 mm o menos, se ajusta a cero. En los lados exteriores de la viga, es decir, ((X - B)/2), se ha acumulado la aleación de soldadura fuerte formada. Por lo tanto, la aleación de soldadura fuerte en forma fundida ha sido transportada por fuerzas capilares a la zona de la unión, principalmente desde las zonas vecinas que forman los volúmenes de aleación de soldadura fuerte de los triángulos.

Según la Figura 2, es posible calcular un área estimando que se forman dos triángulos en cada lado del centro de la unión. El ángulo en el triángulo se mide a aproximadamente 28°. La anchura total medida se denomina X y la anchura central, B. El área total (A) de los dos triángulos es, por lo tanto, $A = 2 \times (((X - B)/2) \times ((X - B)/2) \times \tan(\alpha)))/2$, es decir, para la Figura 2A $= 2 \times (((X - 1,21)/2) \times ((X - 1,21)/2) \times \tan(28)))/2$. El volumen total creado de aleación de soldadura fuerte, que había fluido hacia las grietas, sería el área multiplicada por la longitud de las dos vigas. Parte de la aleación de soldadura fuerte formada no fluye a las grietas y se deja en la superficie. La Figura 3 muestra un diagrama en donde la anchura medida está en función de la cantidad aplicada (g/3500 mm^2) con líneas de tendencia. Los resultados de la prueba de filete se muestran en la tabla 8 y 9 del Ejemplo 5 y en la Figura 3. Las líneas de tendencia de la Figura 3 se basan en $Y = K \times X + L$. Los resultados de las anchuras medidas y las áreas estimadas se ilustran en los diagramas de la Figura 3. Las cantidades aplicadas, véanse las Tablas 8 y 9, fueron de 0,06 gramos/3500 mm^2 a 0,96 gramos/3500 mm^2, que corresponden de aproximadamente 0,017 mg/mm^2 a 0,274 mg/mm^2, que se comparan con aproximadamente de 1,3 a 5,1 mg de mezcla por mm^2 utilizados en el Ejemplo 2.

Se midió la línea de tendencia $Y = K \times X + L$ para la mezcla, Y es la anchura de la unión, K es la inclinación de la línea, X es la cantidad aplicada de la mezcla y L es una constante, véase Figura 3. Por lo tanto, la anchura de la unión de soldadura fuerte:

$$Y \text{ (Anchura para A3,3)} = 1,554 + 9,922 \times \text{(cantidad aplicada de mezcla A3,3)}$$

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

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

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

Como se observa de la Figura 3, las mezclas A3,3 de las mezclas A3,3, B2, C1, D0,5, E0,3 y F0 proporcionan la mayor cantidad de aleación de soldadura fuerte en la unión en función de la cantidad aplicada de la mezcla. La muestra F0 no proporcionó uniones sustanciales por debajo de 0,20 gramos por 3500 mm^2.

La Figura 4 muestra otro diagrama en donde el área rellena calculada de la unión de soldadura fuerte en función de la anchura medida está en función de la cantidad aplicada (gramo/3500 mm^2) con líneas de tendencia. Se midió la línea de tendencia $Y = K \times X - L$ para la mezcla, 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 Figura 4.

$$Y \text{ (Área para A3,3)} = 4,361 \times \text{(cantidad aplicada de mezcla A3,3)} - 0,161$$

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

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

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

Una estimación aproximada del volumen creado basado en el diagrama en la Figura 4 para, por ejemplo, una cantidad de 0,18 gramos por 3500 mm^2, excluyendo la muestra F0, debido a "ausencia" de uniones de soldadura fuerte y la muestra D0,5 debido a muy pocos datos, da un valor para las muestras para el volumen creado de aleación de soldadura fuerte en la unión entre las dos vigas, a continuación.

Volumen A3,3 = 0,63 × longitud 40 (20 × 2) = 25,2 mm^3

Volumen B2 = 0,30 × longitud 40 (20 × 2) = 12,0 mm^3

Volumen C1 = 0,12 × longitud 40 (20 × 2) = 4,8 mm^3

Volumen E0,3 = 0,10 × longitud 40 (20 × 2) = 4,0 mm^3

La Figura 5 muestra otro diagrama en donde el % (porcentaje) es la tasa de éxito de las muestras analizadas para la tracción donde la unión era más fuerte o la misma que el material de la placa como una función de la cantidad aplicada de mezcla, es decir, gramos por 3500 mm^2. Cuando la placa era más fuerte que la unión, lo que resultó en una división de la unión, el resultado se ajustó a cero. Para las muestras en las que la unión era más fuerte que el material de la placa, la diferencia en los resultados no fue estadísticamente significativa.

En la foto de la Figura 6 hay una de las muestras que se muestran después de unirse. La imagen muestra que hay una unión formada entre las dos piezas. La muestra unida es del Ejemplo 10.

La invención se explica con más detalle por medio de los siguientes ejemplos y los ejemplos sirvan para ilustrar la invención y no pretenden limitar el alcance de la invención.

Ejemplos

Las pruebas en estos Ejemplos se hicieron para investigar si el silicio, Si, podía crear una soldadura fuerte cuando se aplicaba silicio en la superficie de una muestra de ensayo de metal base. También se añadieron diferentes cantidades de boro, B, ya que el boro puede disminuir el punto de fusión para aleaciones de soldadura fuerte. El boro también puede cambiar el comportamiento de humectación de las aleaciones de soldadura fuerte. También se investigaron las propiedades de las mezclas probadas. En los ejemplos, % en peso es porcentaje en peso y atm% es porcentaje de átomos.

Si no se indica otra cosa, las muestras de ensayo de metal base para todas las pruebas se limpiaron con un lavaplatos y con acetona antes de añadir las muestras de las mezclas de silicio y de boro a las muestras de ensayo.

Ejemplo 1: Preparación de las muestras de mezclas de silicio y de boro a analizar

La Prueba de muestra n.° C1 se preparó mezclando 118,0 gramos de partículas de polvo de silicio cristalino de tamaño de malla 325, 99,5 % (metal base) 7440-21-3 de Alfa Aesar-Johnsson Matthey Company, con 13,06 gramos de partículas del polvo de boro cristalino de tamaño de malla 325, 98 % (metal base) 7440-42-8 de Alfa Aesar-Johnsson Matthey Company y 77,0 gramos de aglutinante Nicorobraz S-30 de Wall Colmonoy en un Varimixer OSO de Busch & Holm para producir 208 gramos de pasta, véase la muestra C1. Todas las muestras de ensayo se producen siguiendo el mismo procedimiento que la muestra de ensayo C1. Las muestras se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2

N.° de muestra	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
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 excepción de que se usó otro aglutinante, el aglutinante era el aglutinante Nicorobraz S-20 de Wall Colmonoy. Las muestras de ensayo se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3

N.° de muestra	Boro [gramos]	Silicio [gramos]	Aglutinante S-30 [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

Las muestras también se calculan para mostrar la relación, el porcentaje en peso y el porcentaje por átomos, que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

N.° de mezcla de muestra	Relación [peso/peso]		Cantidad [% en peso]		Cantidad [atm%]	
	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

Medida del contenido de aglutinante (polímero y solvente) en el aglutinante S-20 y S-30

También se probó el contenido de material "seco" dentro de los geles. Las muestras de S-20 y S-30 se pesaron y, posteriormente, se pusieron en un horno durante 18 horas a 98 °C. Después de sacar las muestras del horno, se volvieron a pesar. Los resultados se pueden encontrar en la Tabla 5.

Tabla 5

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

Ejemplo 2: Pruebas de soldadura fuerte

Cuando se prueban rellenos de soldadura fuerte de la técnica anterior, el peso del relleno de soldadura fuerte aplicado es de 2,0 gramos que corresponden a 0,2 gramos de silicio. Dado que se analizaron mezclas de silicio y boro, se usaron cantidades similares de silicio y boro en las composiciones probadas. El relleno de soldadura fuerte contiene el 10 % en peso de silicio, por lo tanto, se aplicaron 0,2 gramos de mezclas de silicio y boro en las muestras de ensayo. Las muestras de ensayo eran piezas de prueba circulares que tenían un diámetro de 83 mm y un espesor de 0,8 mm y las piezas de prueba estaban hechas de acero inoxidable tipo 316L. Dado que no se esperaba que 0,2 gramos de la mezcla de soldadura fuerte correspondieran a 2 gramos de la aleación de soldadura fuerte porque a partir del metal base y la mezcla de soldadura fuerte se puede crear primero una "aleación de soldadura fuerte formada", antes de que fluya, y que el silicio y el boro solo podrían difundirse en el metal base o incluso no fundir el metal base, también se probó una cantidad mayor de 0,4 gramos. Todas las muestras se soldaron en un horno de vacío a 1210 °C durante 1 hora. Se utilizaron pruebas dobles. Es decir, dos pesos, muestras de ensayo doble y seis mezclas diferentes, 2 × 2 × 6 = 24 muestras, es decir, F0, E0,3, D0,5, C1, B2 y A3,3. Las mezclas se aplicaron en un área circular con un diámetro de 10 a 14 mm, es decir, una superficie de 78 a 154 mm^2 o aproximadamente 1,3-5,1 mg de mezcla por mm^2.

Resultados

Se observó claramente que las piezas de prueba del metal base se habían derretido y se crearon algunos tipos de fundidos. También se observó que los fundidos en algunos aspectos aparecían como una aleación de soldadura fuerte con flujo. Sin medir el tamaño de la humectación, parecía que una mayor cantidad de boro en las mezclas daba como resultado una mejor humectación. Sin embargo, también se observó que para la mayoría de las muestras, todo el espesor se había derretido y se había creado un agujero en el centro de la pieza de prueba. Para las "muestras de 0,2 gramos", cinco de las doce piezas de prueba tenían agujeros, y para las "piezas de 0,4 gramos" diez de las doce.

Por lo tanto, una conclusión es que no es posible cambiar de una pasta de relleno de soldadura fuerte o similar y aplicar puntos o líneas con "cantidades iguales comparativas" de mezclas de silicio y boro, ya que las mezclas de silicio y boro fundirán un agujero en metal base si la muestra de ensayo es delgada, en este caso 0,8 mm. Si se usan muestras de ensayo más gruesas, pueden no aparecer agujeros, pero se pueden crear "surcos" en el metal base. Esto podría prevenirse o mejorarse añadiendo metal base como, por ejemplo, polvo en mezclas de silicio y boro. Si solo se aplica silicio, es decir, muestra F0, el resultado parece tener menos flujo y propiedades humectantes que las otras muestras en las que se aplican tanto silicio como boro.

Ejemplo 3: Nuevo procedimiento de aplicación

En este ejemplo, las placas de prueba se prepararon para todas las pruebas de filete, pruebas de corrosión y pruebas de tracción al mismo tiempo. Del Ejemplo 2 se concluyó que las mezclas de silicio y boro podrían ser un riesgo para aplicar la mezcla en puntos o líneas en placas de paredes delgadas. Por lo tanto, se utilizaron nuevas

muestras de ensayo, es decir, placas de prueba, para la aplicación de las diferentes mezclas de Si y B para las pruebas de filete, pruebas de corrosión y pruebas de tracción.

En consecuencia, las nuevas muestras de ensayo fueron placas hechas de acero inoxidable tipo 316L. El tamaño de las placas fue de 100 mm de ancho, de 180 a 200 mm de largo y el espesor fue de 0,4 mm. Todas las placas se limpiaron por lavaplatos y con acetona antes de la aplicación de muestras de las mezclas de Si y B. Se midió el peso. En cada placa se enmascaró una parte medida a 35 mm del lado corto.

Se utilizaron las diferentes mezclas de prueba A3,3, B2, C1, D0,5, E0,3, F0, G15, H100 e I66. Las placas de prueba se "pintaron" con las mezclas en el área de la superficie desenmascarada, área de superficie que tenía un tamaño de 100 mm × 35 mm. El aglutinante era S-30. Después de secar durante más de 12 horas a temperatura ambiente, se retiró la cinta de enmascarar y se midió el peso de la placa para cada placa. El peso presentado en la Tabla 6 a continuación es el octavo de la cantidad totalmente de las mezclas en el área de 100 mm × 35 mm = 3500 mm^2 = 35 cm^2.

Tabla 6

N.° de placa de prueba	Relación B:Si [peso/peso]	Peso de la mezcla + aglutinante seco [gramos]	Peso de la mezcla Si + B sin aglutinante [gramos]	Peso de la 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: Ensayo de flexión a la corrosión de las muestras

De las placas de prueba se cortaron rodajas con una anchura de 35 mm, lo que significa un área de superficie aplicada de 35 mm × 35 mm. Sobre esta superficie se colocó una placa prensada circular, véase Figura 1, cuya placa de prensa tenía un tamaño de 42 mm de diámetro y 0,4 mm de espesor fabricada en acero inoxidable tipo 316L. Las muestras de ensayo se soldaron 1 hora a 1210 °C. Las placas analizadas para los ensayos de corrosión habían aplicado muestras de mezcla A3,3, B2, C1, D0,5, E0,3, H100, I66 y J, véase Tabla 4. Las muestras se analizaron según el método de prueba de corrosión ASTM A262, "Standard Practices for Detecting Susceptibility to inter-granular Attack in Austenitic Stainless Steels". La "Practice E - Copper - Copper Sulfate - Sulfuric Acid. Test for Detecting Susceptibility to Inter-granular Attack in Austenitic Stainless Steels" se seleccionó del método de prueba. La razón para seleccionar estas pruebas de corrosión fue que existe el riesgo de que el boro reaccione con el cromo en el acero creando boruros de cromo, principalmente en los límites de grano, y a continuación aumenta el riesgo de ataque de corrosión intergranular, se utilizó la "práctica" en el patrón, hirviendo el 16 % de ácido sulfúrico junto con sulfato de cobre en 20 horas y a continuación una prueba de flexión, según el capítulo 30 en el patrón.

Resultados de la prueba de corrosión y seccionamiento de las muestras de ensayo

Las piezas de prueba se doblaron y se probaron según el método de prueba de corrosión del capítulo 30.1. Ninguna de las muestras dio indicaciones de ataque intergranular en la investigación ocular de las superficies dobladas. Después de la investigación de ASTM, las muestras de ensayo dobladas se cortaron, se molieron y se supervisaron, y la sección transversal se estudió con un microscopio óptico en EDS, es decir, espectroscopía de dispersión de energía. Los resultados se resumen en la Tabla 7.

Tabla 7

N.° de muestra	Investigación ocular de la superficie en busca de grietas por corrosión cuando se dobla según la prueba ASTM	Resultados de la investigación metalúrgica de las muestras analizadas para corrosión de sección transversal y de las muestras de ensayo dobladas. Resultado SEM-EDS de la fase craqueada
A3,3	Sin grietas	Sin corrosión
		Una capa superficial de aproximadamente un máximo de 8 µm con algunas grietas. La fase que se había agrietado tenía un alto contenido de Cr y B, probablemente una fase de boruro de cromo
B2	Sin grietas	Sin corrosión
		Una capa superficial de aproximadamente un máximo de 8 µm con algunas grietas. La fase que se había agrietado tenía un alto contenido de Cr y B, probablemente 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 aproximadamente un máximo de 60 µm con algunas grietas. La fase que se había agrietado tenía un alto contenido de Si generalmente < 5 % en peso
H100	Sin grietas	Superficie corroída y unión
I66	Sin grietas	Sin corrosión
		Una capa superficial de aproximadamente un máximo de 12 µm con algunas grietas. La fase que se había agrietado tenía un alto contenido de Cr y B, probablemente una fase de boruro de cromo
J	Sin grietas	Sin corrosión
		Una capa superficial de aproximadamente un máximo de 20 µm con algunas grietas. La fase que se había agrietado tenía un alto contenido de Cr y B, probablemente una fase de boruro de cromo

Comentarios:

Aparentemente, al añadir altas cantidades de boro, como en la muestra H100, J, I66, se formó una fase frágil en la superficie, muy probablemente una fase de boruro de cromo, que aumenta con la cantidad de boro. No se observó una fase frágil en la muestra H100, muy probablemente debido a la corrosión en la superficie. También la cantidad de boruros aumentó con la cantidad de boro, lo que significa que debe tenerse en cuenta que las propiedades de corrosión podrían disminuir al añadir altas cantidades de boro, como en la muestra H100 que fue atacada en la prueba de corrosión. El efecto "negativo" con el boro se puede disminuir usando metales base más gruesos y/o tiempos de difusión más largos. Entonces es posible "diluir" el boro en el metal base. También para la cantidad normal de boro como para A3,3 y B2, se formó una capa superficial frágil más delgada. Se observó que para la baja cantidad de boro en las muestras, muestra E0,3, se formó una capa superficial frágil bastante gruesa, con un alto contenido de silicio en 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 se puede disminuir utilizando metales base más gruesos y/o tiempos de difusión más largos. Entonces es posible "diluir" el silicio en el metal base.

Ejemplo 5: Prueba de filete de las muestras

A partir de muestras de ensayo hechas según el Ejemplo 3, se cortaron rodajas de las placas con una anchura de 35 mm, lo que significa una superficie aplicada de 35 mm × 35 mm. Sobre esta superficie se colocó una placa prensada circular, véase Figura 1, de 42 mm de diámetro y 0,4 mm de espesor, fabricada en acero inoxidable tipo 316L. La placa prensada tenía dos vigas prensadas, cada una de aproximadamente 20 mm de largo. Las muestras se soldaron aproximadamente 1 hora a aproximadamente 1200 °C.

Los resultados de la prueba de filete muestran que se encontraron cantidades de aleación de soldadura fuerte en el área de unión creada entre el área de superficie plana sobre la cual se aplicaron las mezclas, área de superficie plana que estaba en contacto con una viga prensada en la muestra de ensayo vista en la Figura 1. La cantidad de aleación de soldadura fuerte se calculó por aproximación, véase Figura 2, calculando un área estimando que se forman dos triángulos en cada lado del centro de la unión. En la parte media no hay o hay cantidades muy pequeñas de "aleaciones de soldadura fuerte" adicionales formadas. Los dos triángulos se pueden medir midiendo la altura (h) y la base (b), y el área total de los dos triángulos es sumando (h) × (b) ya que hay dos triángulos. El problema con este cálculo es que la altura es difícil de medir. Por lo tanto, utilizamos la siguiente ecuación para calcular las dos áreas de triángulos:

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

A es el área total de los dos triángulos, X es la anchura total de la unión formada, B es la parte de la unión formada donde el volumen de la aleación de soldadura fuerte formada en el centro de la unión es despreciable. Por lo tanto, la base de cada triángulo es (X - B)/2. La altura se calcula al medir el ángulo α, que es el ángulo entre las tangentes de la viga prensada a la base.

Para calcular el volumen del volumen total creado de la aleación de soldadura fuerte formada que había fluido hacia las grietas, habría que medir la longitud de las dos vigas, es decir, cada viga es de 20 mm, y multiplicar la longitud y el área total. El área de dos triángulos es el área estimada después de la soldadura fuerte en la Tabla 8 y 9. El volumen es el volumen de la aleación de soldadura fuerte formada en una de las vigas. Los resultados de la prueba de filete se muestran en las Tablas 8 y 9, y en la Figura 3. En la Tabla 8 y en la Tabla 9 v y h representan v = viga izquierda y h = viga derecha.

Tabla 8

N.° de muestra	Aglutinante de Si + B aplicado [gramos]	Anchura [mm]	Área estimada después de la soldadura fuerte [mm^2]	Volumen [mm^3]
A3,3x-1v	0,06	2,69	0,29	5,8
A3,3x-1h	0,06	2,58	0,25	5,0
A3,3-1v	0,10	2,23	0,14	2,8
A3,3-1h	0,10	2,31	0,16	3,2
A3,3-2v	0,14	3,38	0,63	12,6
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
Medido valorado para la prueba de filete, muestras A3,3 - B2/B4				

Tabla 9

N.° de muestra	Aglutinante de Si + B aplicado [gramos]	Anchura [mm]	Área estimada después de la 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
Medido valorado para la prueba de filete para muestras C1 a F0				

Los resultados de las anchuras medidas y las áreas estimadas se presentan en las Tablas 8 y 9, y se ilustran en los diagramas de la Figura 3. Las cantidades aplicadas, véanse las Tablas 8 y 9, fueron de 0,06 gramos/3500 mm^2 a 0,96 gramos/3500 mm^2, que corresponden de aproximadamente 0,017 mg/m^2 a 0,274 mg/mm^2, que se comparan con aproximadamente de 1,3 a 5,1 mg de mezcla por mm^2 utilizados en el Ejemplo 2.

Se midió la línea de tendencia Y = K × X + L para la mezcla, Y es la anchura de la unión, K es la inclinación de la

línea, X es la cantidad aplicada de la mezcla y L es una constante, véase Figura 3. Por lo tanto, la anchura de la unión de soldadura fuerte:

Y (Anchura para A3,3) = 1,554 + 9,922 × (cantidad aplicada de mezcla A3,3)

Y (Anchura para B2) = 0,626 + 10,807 × (cantidad aplicada de mezcla B2)

Y (Anchura para C1) = 0,537 + 8,342 × (cantidad aplicada de mezcla C1)

Y (Anchura para F0) = 0,632 + 7,456 × (cantidad aplicada de mezcla F0)

Como se observa en el diagrama, las mezclas A3,3 de las mezclas A3,3, B2, C1, D0,5, E0,3 y F0 proporcionan la mayor cantidad de aleación de soldadura fuerte en la unión en función de la cantidad aplicada de la mezcla. La muestra F0 no proporcionó uniones sustanciales por debajo de 0,20 gramos por 3500 mm^2.

Se midió la línea de tendencia Y = K × X - L para la mezcla, 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 Figura 4.

Y (Área para A3,3) = 4,361 × (cantidad aplicada de mezcla A3,3) − 0,161

Y (Área para B2) = 3,372 × (cantidad aplicada de mezcla B2) − 0,318

Y (Área para C1) = 2,549 × (cantidad aplicada de mezcla C1) − 0,321

Y (Área para F0) = 0,569 × (cantidad aplicada de mezcla F0) − 0,093

Una estimación aproximada del volumen creado basado en el diagrama en la Figura 4 para, por ejemplo, una cantidad de 0,18 gramos por 3500 mm^2, excluyendo la muestra F0, debido a "ausencia" de uniones de soldadura fuerte y la muestra D0,5 debido a muy pocos datos, da un valor para las muestras para el volumen creado de aleación de soldadura fuerte en la unión entre las dos vigas, ver abajo.

Volumen A3,3 = 0,63 × longitud 40 (20 × 2) = 25,2 mm^3

Volumen B2 = 0,30 × longitud 40 (20 × 2) = 12,0 mm^3

Volumen C1 = 0,12 × longitud 40 (20 × 2) = 4,8 mm^3

Volumen E0,3 = 0,10 × longitud 40 (20 × 2) = 4,0 mm^3

También se probaron mezclas con mayor proporción de boro, por ejemplo, muestras G15, H100, I66 y J. Todas las muestras analizadas funcionaron de manera muy similar a la mezcla A3,3 y B2 en relación con el volumen de aleación de soldadura fuerte creado. Sin embargo, la sección transversal metalúrgica de las muestras soldadas mostró que la cantidad de boruros era mayor y para la muestra H100, es decir, boro puro, también se encontraron fases frágiles con alto contenido de cromo en la superficie donde se aplicó la mezcla anterior. Las fases duras eran 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 reducirse cambiando el tratamiento térmico o utilizando un metal base más grueso que pueda "absorber" una mayor cantidad de boro. Para un material más grueso ≥ 1 mm, este efecto en la superficie también será menos severo, ya que la proporción del volumen de la superficie en comparación con el volumen del metal base es mucho menor que para un material delgado de < 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 mostró que para la muestra F0, es decir, silicio puro, se encontró una fase gruesa que contenía silicio, con un espesor de > 50 % del espesor de la placa para algunas áreas en la muestra investigada. Una fase similar también se encontró en la unión. Se encontraron grietas en esta fase, con una longitud > 30 % del espesor de la placa. Dichas grietas disminuirán el rendimiento mecánico del producto unido y pueden ser puntos de inicio para grietas por corrosión o fatiga. La dureza media medida de la fase fue superior a 400Hv (Vickers). Esta fase frágil es probablemente mucho más difícil de reducir, en comparación con la fase de boruro, utilizando un metal base más grueso o un cambio en el tratamiento térmico. Aún para metal base más grueso, este efecto puede ser menos severo.

Ejemplo 6 Ensayo de tracción de unión soldada por soldadura fuerte

Las placas de prueba aplicadas originales se cortaron en rodajas. El tamaño de las muestras cortadas fue de 100 mm de ancho, de 180 a 200 mm de largo y 0,4 mm de espesor. El área aplicada para cada corte fue de 10 mm por 35 mm = 350 mm^2. En el área aplicada, se colocó una parte más gruesa, de 4 mm, de acero inoxidable tipo 316L que cubría 30 mm de la superficie total aplicada de 35 mm. La parte más gruesa se colocó al final de la rodaja

dejando 5 mm de superficie aplicada no cubierta por la placa gruesa. Al hacer esto, se detectaría una disminución en la resistencia del material de la placa debido a la mezcla aplicada al realizar pruebas de tracción si la unión es más fuerte que la placa. La placa más gruesa también era más ancha que las rodajas de 10 mm. Todas las muestras de ensayo se soldaron a aproximadamente 1200 °C durante aproximadamente 1 hora.

Después de la soldadura fuerte, la parte gruesa se montó horizontalmente en una máquina del ensayo de tracción. La rodaja de soldadura fuerte se dobló firmemente a 90°en dirección vertical. Las muestras se montaron para que pudieran moverse en dirección horizontal. Luego se cargaron las muestras y se dividió la unión de soldadura fuerte.

Resultados

Cuando la placa era más fuerte que la unión, de modo que la unión se dividió, el resultado se ajustó a cero. Para las muestras en las que la unión era más fuerte que el material de la placa, la diferencia en los resultados no fue estadísticamente significativa. Los resultados se muestran como porcentaje (%) de las muestras analizadas donde la unión era más fuerte o igual que la placa en función de la cantidad aplicada, lo que significa que la unión no se dividió cuando se probó. Los resultados se resumen en la Tabla 10 y en el diagrama de la Figura 5.

Tabla 10

Mezcla de Si + B [gramos]	Tasa de éxito A3,3-1 [%]	Tasa de éxito B2-1 [%]	Tasa de éxito C1-1 [%]	Tasa de éxito 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

Para establecer la relación entre la cantidad aplicada y el riesgo de quemadura a través de las placas, se realizaron nuevas pruebas. Para todas las pruebas, se utilizó la mezcla B2, véase Tabla 6. Para mezclar B2 se añadió aglutinante S-30. Las piezas de prueba que se probaron eran circulares con un espesor de 0,8 mm y un diámetro de 83 mm. El metal base en las placas de prueba era de acero inoxidable tipo 316. Para todas las muestras, la mezcla se aplicó en el centro de la muestra de ensayo. El área aplicada era de 28 mm^2, es decir, un punto 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 continuación, las muestras de ensayo se colocaron en un horno a temperatura ambiente durante 12 horas. Las muestras se pesaron nuevamente.

Las muestras de ensayo se pusieron todas en un horno y se soldaron a 1210 °C durante aproximadamente 1 hora. Durante la soldadura fuerte, solo los bordes exteriores de cada muestra estuvieron en contacto con el material del accesorio, manteniendo la superficie inferior del centro de la placa en contacto con cualquier material durante la soldadura fuerte. La razón para mantener la superficie inferior del centro de la placa libre de contactos es que se puede evitar un colapso o quemadura si el material del centro se sujeta desde abajo por el material del accesorio.

Los resultados de la cantidad aplicada y la combustión a través de las muestras de 0,8 mm se resumen en la Tabla 11.

Tabla 11

N.° de muestra	Mezcla de Si + B y aglutinante húmedo adicional S-30 [gramos]	Mezcla de Si + B y aglutinante húmedo adicional S-30 [mg/mm^2]	Mezcla de Si + B y aglutinante seco adicional S-30 [mg/mm^2]	Cantidad calculada de Mezcla de Si + B sin aglutinante [mg/mm^2]	Quemadura a su través [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

Las pruebas muestran que hay una quemadura a su través entre la muestra 10 y 11 para una placa con un espesor de 0,8 mm. La muestra 10 tiene 2,264 mg/mm^2 de cantidad aplicada de mezcla y la muestra 11 tiene 2,491 mg/mm^2. Para unir placas con un espesor inferior a 1 mm, existe un riesgo con una cantidad dentro del intervalo de aproximadamente 2,830 mg/mm^2 a aproximadamente 3,114 mg/mm^2 para quemar las placas, la cantidad en el centro de este intervalo es de 2,972 mg/mm^2. Por lo tanto, para una placa que tenga un espesor inferior a 1 mm, sería adecuada una cantidad inferior a 2,9 mg/mm^2 para evitar quemaduras a través de la placa.

Ejemplo 8

En el Ejemplo 8, se realiza una unión de soldadura fuerte entre dos placas de intercambiador de calor prensadas de tres maneras diferentes. El espesor 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 a base de hierro con una composición de acero inoxidable tipo 316, véase documento WO 2002/38327. La carga de soldadura fuerte tenía una cantidad aumentada de silicio a aproximadamente el 10 % en peso, una cantidad de boro a aproximadamente el 0,5 % en peso y una cantidad reducida de Fe de aproximadamente el 10,5 % en peso. En la primera muestra de ensayo, la carga de soldadura fuerte se aplicó en líneas y en la segunda muestra de ensayo la carga de soldadura fuerte se aplicó uniformemente sobre la superficie. En ambos casos el relleno se aplicó después del prensado.

Después de la soldadura fuerte, la muestra 1 mostró que el relleno de soldadura aplicado en las líneas se desplazó hacia las uniones de soldadura fuerte. Parte del relleno de soldadura fuerte no fluyó a la unión de soldadura fuerte y, por lo tanto, aumentó localmente el espesor en la línea aplicada. Para la muestra de ensayo 2, el relleno de soldadura fuerte fluyó a las uniones de soldadura fuerte, sin embargo, parte del relleno de soldadura fuerte permaneció en la superficie y aumentó el espesor. En las muestras de ensayo 1 y 2, la cantidad de relleno de soldadura fuerte corresponde a una cantidad de aproximadamente el 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 crearía 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 espesor correspondiente a un peso de aproximadamente el 1,5 % en peso del material de la placa. Al aplicar la mezcla A3,3, se formó una aleación de soldadura fuerte a partir del metal base, y el flujo de aleación de soldadura fuerte formada formó las uniones de soldadura fuerte. En consecuencia, el espesor de la placa disminuyó, ya que se extrajo más material a la unión de soldadura fuerte que la mezcla añadida en la superficie.

Ejemplo 9 Pruebas con diferentes fuentes de Si y fuentes de B

Las pruebas que se realizaron en el Ejemplo 9 eran para investigar fuentes alternativas de boro y silicio. La mezcla B2, véase Tabla 6, se seleccionó como referencia para la prueba. Las fuentes alternativas se probaron con su capacidad para crear una unión. Para cada experimento se probó una fuente de boro alternativa o una fuente de silicio alternativa. Cuando se usó una fuente alternativa, se asumió que la influencia del otro elemento era cero, lo que significa que solo "se midió" el peso de boro o silicio en el componente alternativo, véase Tabla 12. Para la mezcla de referencia B2, la relación en peso entre el silicio y el boro son de 10 gramos a 2 gramos, sumando hasta 12 gramos. Cada mezcla se mezcló junto con el aglutinante S-30 y la mezcla se aplicó sobre una placa de acero según el Ejemplo 1. Todas las muestras se soldaron 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_4C	B_4C	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

Se midió la línea de tendencia Y = K × X + L para la mezcla B2, Y es la anchura de la unión, K es la inclinación de la línea para B2, X es la cantidad aplicada de la mezcla y L es una constante para la cantidad no aplicada de la mezcla B2, véase Figura 3. Por lo tanto, la anchura de la unión de soldadura fuerte Y = 0,626 + 10,807 × (cantidad aplicada de mezcla).

En la Tabla 13, v y h representan v = viga izquierda y h = viga derecha como en el Ejemplo 5.

Tabla 13

Muestra	Cantidad aplicada [gramos]	Anchura calculada de la unión Y [mm^2]	Anchura medida de la unión [mm^2]
Si - B_4C - v	0,22	3,0	2,69
Si - B_4C - 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 utilizar B4C, NiB y FeB como fuente alternativa al boro. Cuando se usó NiB, la cantidad creada fue menor que para el boro puro, sin embargo, se podía usar NiB si se desea un efecto de aleación de Ni.

Ejemplo 10 Pruebas de metales base

En el Ejemplo 10 se probaron una gran cantidad de diferentes metales base. Todas las pruebas, excepto el acero blando y una aleación de Ni-Cu, se probaron según la prueba Y.

Para la prueba Y se colocaron dos piezas de prueba prensadas circulares con un espesor de aplicación de 0,8 mm. Cada muestra tenía una viga circular prensada. Las caras superiores de las vigas se colocaron una contra otra creando una grieta circular entre las piezas. Para cada muestra, la mezcla B2 con aglutinante S-20 se aplicó con un pincel. No se midió el peso de la cantidad añadida, ya que la aplicación no fue homogénea cuando se aplicó con el pincel. Una imagen de una de las muestras después de unirse se presenta en la Figura 6.

Las muestras de acero blando y las muestras de Ni-Cu se aplicaron de la misma manera, pero para el acero blando según las pruebas realizadas en el ejemplo 5 "filete de prueba" y para la prueba de Ni-Cu con dos piezas de prueba planas. Las muestras, excepto el Ni-Cu, se "soldaron por soldadura fuerte" en un horno a una temperatura de

1200 °C, es decir, a 1210 °C, durante 1 h en un horno de atmósfera de vacío. La muestra de Ni-Cu se soldó por soldadura fuerte aproximadamente a 1130 °C durante aproximadamente 1 hora en el mismo horno de vacío. Después de la "soldadura fuerte", se formó una unión entre las piezas para todas las pruebas hechas y también se observó un flujo de "aleación de soldadura fuerte" formado del metal base, a la unión para todas las muestras analizadas. Los resultados se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14

N.° de muestra de metal base	Cr [% en peso]	Fe [% en peso]	Mo [% en peso]	Ni [% en peso]	Cu [% en peso]	Mn [% en peso]	¿Después de la soldadura fuerte se crea una unión?	¿Después del flujo de soldadura fuerte de la aleación de soldadura fuerte?
1	-	0,3	-	99	-	0,2	Sí	Sí
2	21	0,6	16	62	0,4	-	Sí	Sí
3	22	0,7	16	59	1,6	-	Sí	Sí
4	0,6	1,9	29	68	0,2	-	Sí	Sí
5	21	4,4	13	58	-	-	Sí	Sí
6	19	5,0	9,0	63	0,4	-	Sí	Sí
7	15	5,5	17	60	-	0,3	Sí	Sí
8	1,1	5,6	28	63	0,6	0,4	Sí	Sí
9	19	6,2	2,6	70	1,7	0,4	Sí	Sí
10	33	32	1,7	33	0,4	0,6	Sí	Sí
11	27	33	6,5	32	1,1	1,4	Sí	Sí
12	27	36	3,4	32	1,0	1,4	Sí	Sí
13	24	44	7,2	23	0,3	1,5	Sí	Sí
14	20	48	4,3	25	1,1	1,2	Sí	Sí
15	19	50	6,3	25	0,2	-	Sí	Sí
16	20	54	6,5	19	0,6	0,4	Sí	Sí
17	29	64	2,4	3,5	-	-	Sí	Sí
18	28	66	2,2	3,5	-	-	Sí	Sí
19	0,3	1,1	-	66	31	1,6	Sí	Sí
20	0,17	99,5	-	-	-	0,3	Sí	Sí

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

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

REIVINDICACIONES

1. Un producto intermedio para unir y/o recubrir mediante soldadura fuerte, que comprende una mezcla de boro y silicio, y un metal base que tiene una temperatura de solidus por encima de 1040 °C, en donde dicho producto intermedio tiene al menos parcialmente una capa superficial de la mezcla aplicada sobre el metal base, en donde el boro en la mezcla se selecciona de una fuente de boro, y el silicio en la mezcla se selecciona de una fuente de silicio, en donde la mezcla comprende boro y silicio en una relación de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 3:100 en peso/peso a aproximadamente 100:3 en peso/peso, preferiblemente dentro de un intervalo de aproximadamente 5:100 en peso/peso a aproximadamente 1:1 en peso/peso, y en donde el metal base tiene un espesor < 1 mm y la mezcla se aplica sobre el metal base en una cantidad promedio inferior a 2,9 mg/mm^2 o en donde el metal base tiene un espesor ≥ 1 mm.

2. Un producto intermedio según la reivindicación 1, en donde la mezcla también comprende al menos un aglutinante seleccionado del grupo que consiste en disolventes, agua, aceites, geles, lacas, barnices, aglutinantes a base de monómeros y/o polímeros.

3. Un producto intermedio según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la mezcla comprende partículas que tienen un tamaño de partícula < 250 µm, preferiblemente en donde la mezcla comprende partículas que tienen un tamaño de partícula < 160 µm.

4. Un producto intermedio según las reivindicaciones 1, 2 o 3, en donde la mezcla comprende partículas que tienen un tamaño de partícula < 50 µm.

5. Un producto intermedio según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la capa superficial se aplica como un polvo de la mezcla o por medios seleccionados entre depósito por pulverización, deposición física de vapor o deposición química de vapor.

6. Un producto intermedio según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el metal base se selecciona del grupo que consiste en aleaciones a base de hierro, aleaciones a base de níquel, aleaciones a base de cromo y aleaciones a base de cobre.

7. Un producto intermedio según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el metal base comprende de aproximadamente el 15 a aproximadamente el 22 % en peso de cromo, de aproximadamente el 8 a aproximadamente el 22 % en peso de níquel, de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 3 % en peso de manganeso, de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 1,5 % en peso de silicio, opcionalmente de aproximadamente el 1 a aproximadamente el 8 % en peso de molibdeno, y el resto de hierro.

8. Un producto intermedio según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la fuente de boro se selecciona dentro del grupo que consiste en boro, B_4C, B_4Si, NiB y FeB, y la fuente de silicio se selecciona dentro del grupo que consiste en silicio, FeSi, SiC y B_4Si.

9. Un producto intermedio según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las partes del metal base son placas y la capa superficial de la mezcla se proporciona en al menos un lado de las placas o la capa superficial de la mezcla se encuentra en ambos lados de las placas.

10. Un producto intermedio según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las partes del metal base y la capa superficial aplicada a las partes se han expuesto a una temperatura más alta que la temperatura de solidus de la aleación de soldadura fuerte formada y más baja que la temperatura de solidus del metal base, y se ha formado una capa de la aleación de soldadura fuerte en la superficie de las partes del metal base.

11. Un producto intermedio según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las placas se cortan, conforman, prensan o combinaciones de las mismas antes de la aplicación de la capa superficial, después de la aplicación de la capa superficial o después de formar la aleación de soldadura fuerte en la superficie del metal base.

12. Un producto intermedio apilado para soldadura fuerte que comprende un producto intermedio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde las placas están apiladas, y en donde las capas superficiales de las placas están en contacto con un metal base o con otra capa superficial aplicada en las placas.

13. Un producto intermedio apilado según la reivindicación 12, en donde las placas apiladas no tienen capas superficiales, o tienen capas superficiales únicas, es decir, en un lado de la placa, capas superficiales dobles, es decir, una capa en cada lado de la placa, y/o combinaciones de las mismas.

14. Un producto intermedio ensamblado para soldadura fuerte que comprende uno o más productos intermedios según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde al menos un producto intermedio tiene un espesor ≥ 1 mm, y en donde el producto intermedio ensamblado tiene al menos una capa superficial en contacto con una superficie de al menos un metal base o en contacto con al menos una capa superficial antes de la soldadura fuerte,

y después de la soldadura fuerte se obtiene la unión o las uniones soldadas.

15. Un producto soldado por soldadura fuerte apilado o un producto soldado por soldadura fuerte ensamblado obtenido mediante la soldadura fuerte de un producto apilado o de un producto intermedio ensamblado según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en donde el producto intermedio apilado o ensamblado se suelda a una temperatura inferior a 1250 °C, en un horno al vacío, en un gas inerte, en una atmósfera reductora, o combinaciones de los mismos, formando uniones soldadas de aleación de soldadura fuerte entre las placas apiladas o entre las superficies de contacto del producto intermedio ensamblado, estando la aleación de soldadura fuerte formada en un proceso de fusión del metal base y la mezcla, y la aleación de soldadura fuerte en forma fundida se ha transportado por fuerzas capilares al área de las uniones principalmente desde las áreas circundantes.

16. Un método de soldadura fuerte de un producto, método que comprende las siguientes etapas:

(i) aplicar una mezcla en un metal base, teniendo dicho metal base una temperatura de solidus por encima de 1040 °C, y en donde el metal base tiene un espesor < 1 mm y la mezcla se aplica sobre el metal base en una cantidad promedio inferior a 2,9 mg/mm^2 o en donde el metal base tiene un espesor ≥ 1 mm, y en donde la mezcla comprende boro y silicio, el boro se selecciona de una fuente de boro y el silicio se selecciona de una fuente de silicio, en donde la mezcla comprende boro y silicio en una relación de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 3:100 en peso/peso a aproximadamente 100:3 en peso/peso, preferiblemente dentro de un intervalo de aproximadamente 5:100 en peso/peso a aproximadamente 1:1 en peso/peso,
(ii) obtener un producto intermedio;
(iii) exponer opcionalmente el producto intermedio obtenido en la etapa (ii) a una temperatura más alta que la temperatura de solidus de la aleación de soldadura fuerte formada y más baja que la temperatura de solidus del metal base, y formar una capa de la aleación de soldadura fuerte en la superficie de las partes del metal base;
(iv) ensamblar o apilar el producto o los productos de la etapa (ii) o la etapa (iii) con uno o más productos según la etapa (ii) o la etapa (iii), o ensamblar o apilar el producto con una o más piezas que no tengan mezcla de silicio y boro, y formar un producto ensamblado o un producto apilado;
(v) soldadura fuerte del producto ensamblado o apilado de la etapa (iv) a una temperatura inferior a 1250 °C en un horno al vacío, en un gas inerte, en una atmósfera reductora o combinaciones de los mismos; y
(vi) obtener un producto soldado por soldadura fuerte que tenga partes soldadas de metal base.

17. El método según las reivindicaciones 15 o 16, en donde el producto soldado por soldadura fuerte obtenido en la etapa (vi) está provisto de una unión o uniones obtenidas formando una aleación de soldadura fuerte en un proceso de fusión del metal base y la mezcla, y el transporte por fuerzas capilares de la aleación de soldadura fuerte en forma fundida al área de unión, principalmente desde las áreas circundantes.

18. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 15 a 17, en donde el producto de la etapa (ii) o la etapa (iii) se corta, conforma, presiona o combinaciones de los mismos obteniendo placas, preferiblemente placas intercambiadoras de calor o placas de reactor.

19. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 15 a 18, en donde el producto soldado por soldadura fuerte obtenido se selecciona del grupo que consiste en intercambiadores de calor, reactores de placa, partes de reactores, partes de separadores, partes de decantadores, partes de bombas, partes de válvulas.

20. Un producto soldado por soldadura fuerte según el método de una cualquiera de las reivindicaciones 15 a 19, en donde la unión o las uniones del producto soldado por soldadura fuerte se obtienen mediante una aleación de soldadura fuerte, la cual se forma en un proceso de fusión del metal base y la mezcla, y la aleación de soldadura fuerte en forma fundida ha sido transportada por fuerzas capilares al área de la unión, principalmente desde las áreas circundantes.

21. El producto soldado por soldadura fuerte según el método según una cualquiera de las reivindicaciones 15 a 20, en donde los elementos encontrados en la aleación de soldadura fuerte aparte de los elementos del metal base son Si, B y opcionalmente C, y en donde el metal base tiene una temperatura de solidus por encima de 1040 °C.

22. Uso de un producto intermedio según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 para la soldadura fuerte de piezas o productos para intercambiadores de calor, reactores de placa, partes de reactores, partes de separadores, partes de decantadores, partes de bombas, partes de válvulas.

23. Un producto pre-soldado por soldadura fuerte que comprende un metal base que tiene una temperatura de solidus por encima de 1040 °C, producto pre-soldado por soldadura fuerte que se obtiene aplicando una capa superficial de una mezcla sobre el metal base, cuya mezcla comprende boro y silicio, el boro se selecciona de una fuente de boro y el silicio se selecciona de una fuente de silicio, en donde la mezcla comprende boro y silicio en una relación de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 3:100 en peso/peso a aproximadamente 100:3 en peso/peso, preferiblemente dentro de un intervalo de aproximadamente 5:100 en peso/peso a aproximadamente 1:1 en peso/peso, en donde el metal base y la capa superficial se han expuesto a una temperatura más alta que la temperatura de solidus de la aleación de soldadura fuerte formada y más baja que la temperatura de solidus del

metal base, y una capa obtenida de la aleación de soldadura fuerte está en la superficie del metal base.

24. Una mezcla para la soldadura fuerte de uniones de metales base y/o para recubrimientos de metales base, metal base que tiene una temperatura de solidus por encima de 1040 °C, cuya mezcla comprende boro y silicio, el boro se selecciona de una fuente de boro y el silicio se selecciona de una fuente de silicio, en donde la mezcla comprende boro y silicio en una relación de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 3:100 en peso/peso a aproximadamente 100:3 en peso/peso, preferiblemente dentro de un intervalo de aproximadamente 5:100 en peso/peso a aproximadamente 1:1 en peso/peso.

25. Una mezcla según la reivindicación 24, en donde la mezcla comprende también polvos de metal base que tienen una temperatura de solidus por encima de 1040 °C.

26. Una mezcla según las reivindicaciones 24 o 25, en donde la mezcla es una pintura y en donde la pintura también comprende al menos un aglutinante seleccionado del grupo que consiste en solventes, agua, aceites, geles, lacas, barnices, aglutinantes a base de monómeros y/o polímeros

27. Una mezcla según la reivindicación 26, en donde el aglutinante se selecciona entre poliésteres, polietileno, polipropileno, polímeros acrílicos, polímeros metacrílicos, alcohol polivinílico, acetato de polivinilo, poliestireno.

28. Una mezcla según las reivindicaciones 26 o 27, en donde la mezcla comprende partículas que tienen un tamaño de partícula < 50 µm.

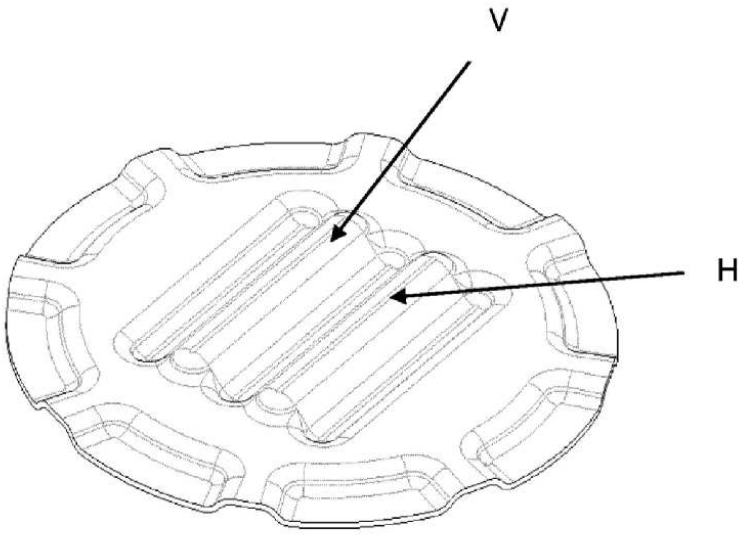

Figura 1

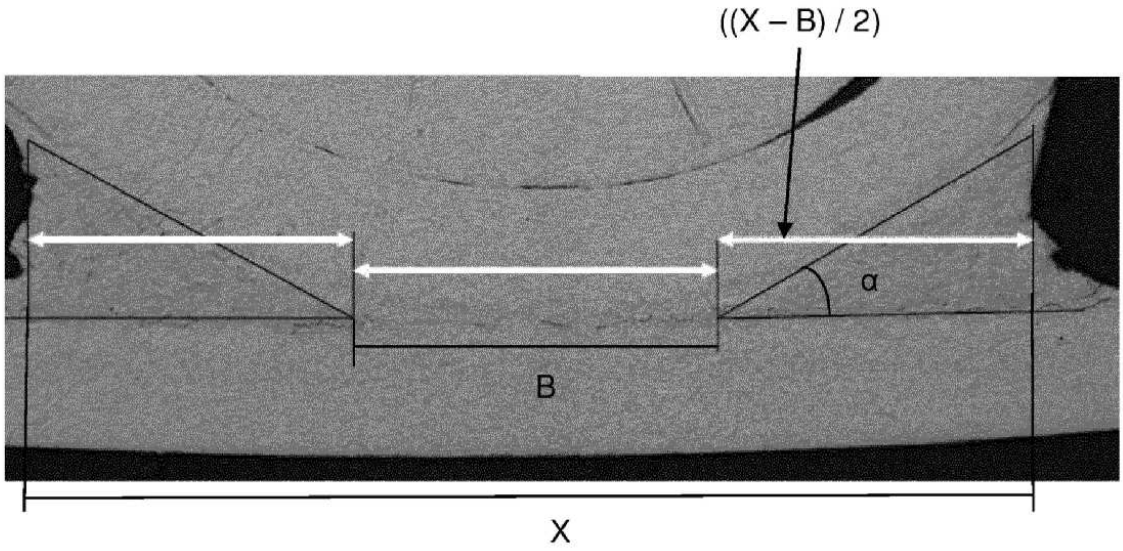

Figura 2

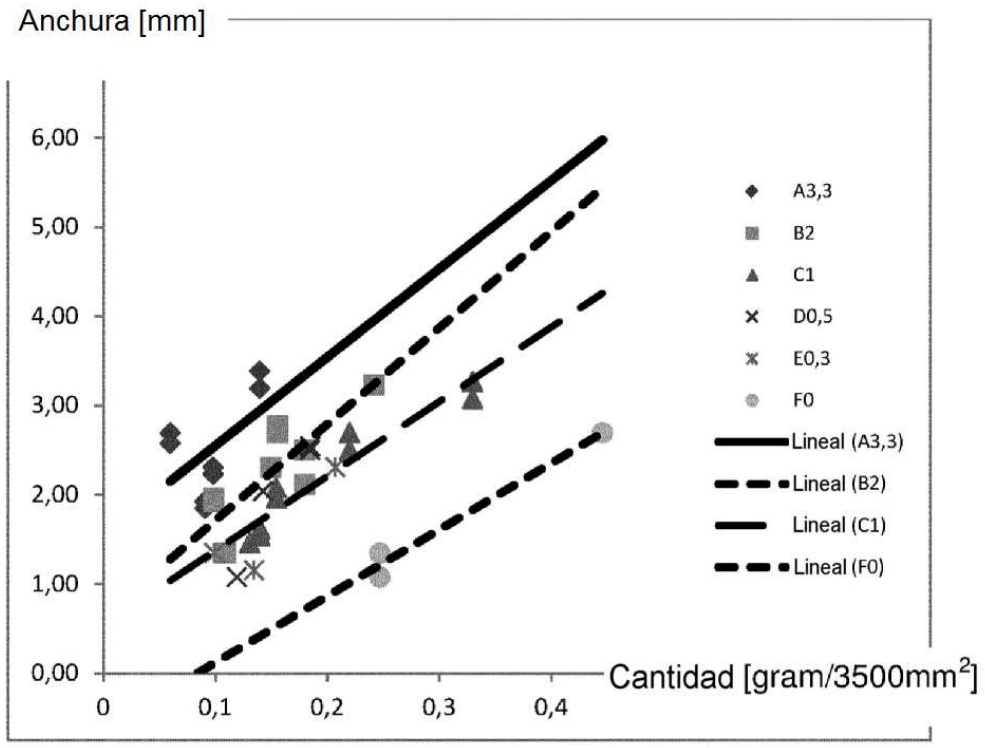

Figura 3

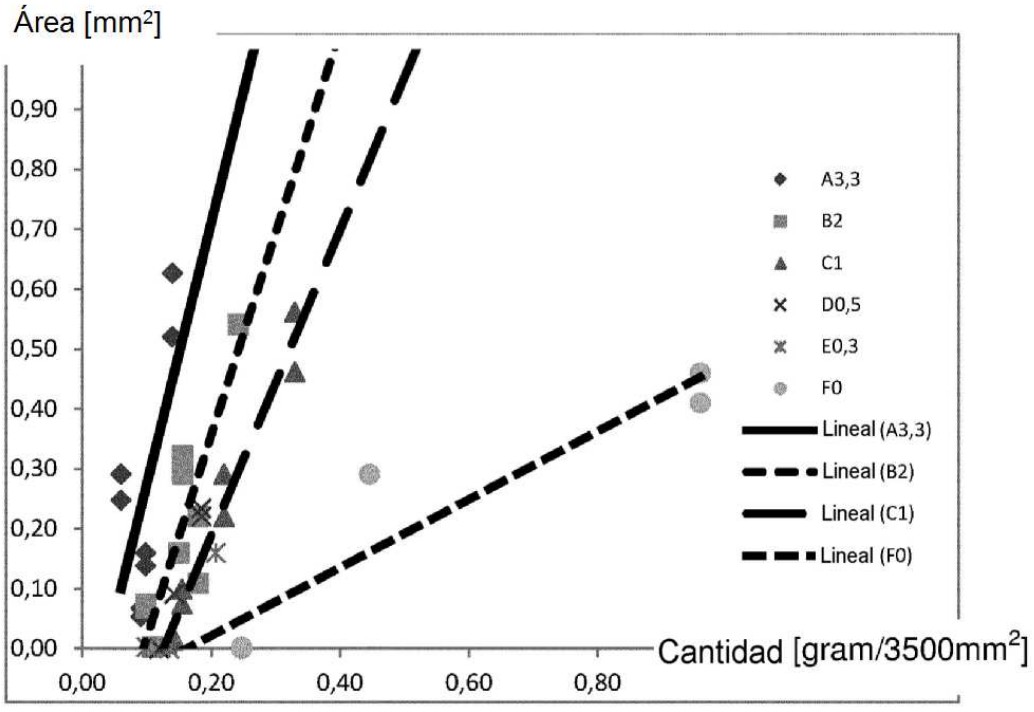

Figura 4

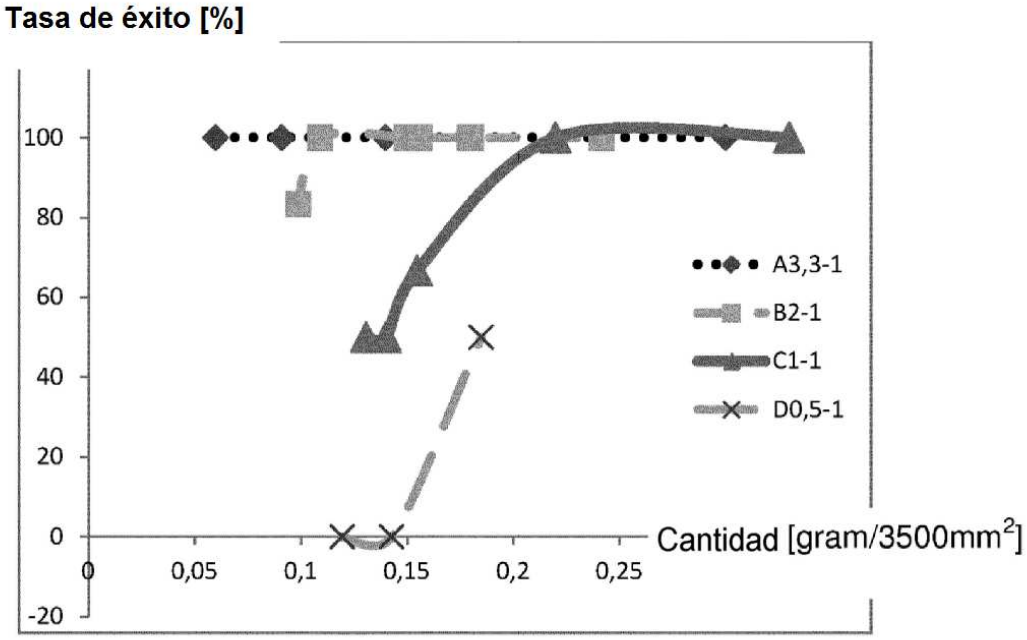

Figura 5

Figura 6