

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 754 307**

51 Int. Cl.:

B23K 35/00 (2006.01)

B23K 35/02 (2006.01)

B23K 35/365 (2006.01)

C22C 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.03.2013** **PCT/EP2013/056554**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.10.2013** **WO13144222**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.03.2013** **E 13712291 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2019** **EP 2830817**

54 Título: **Nuevo concepto de soldadura**

30 Prioridad:

28.03.2012 EP 12161742

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.04.2020

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 2 754 307 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

Nuevo concepto de soldadura

- 5 La presente invención se refiere a un concepto, una mezcla, una composición y un producto de soldadura nuevos. La presente invención se refiere además a un método para proporcionar un producto soldado, a un producto soldado obtenido mediante el método, y a usos.

Antecedentes

- 10 Hoy en día existen diferentes métodos de unión para unir aleaciones que tienen altas temperaturas de fusión. Por alta temperatura se pretende indicar 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 un material base con o sin material adicional se funde, es decir, la creación de un producto de fundición mediante fusión y resolidificación. Otro método de unión es la soldadura. Durante el proceso de soldadura se agrega un relleno de soldadura al material base, y el relleno de soldadura se funde durante el proceso a una temperatura superior a 450 °C, es decir, formando una interfase líquida, a una temperatura inferior a la temperatura de *liquidus* del material base a unir. Al realizar soldadura, la interfase líquida debe tener una buena humectación y flujo. La soldadura es un proceso en donde dos o más elementos metálicos se unen mediante la fusión y el flujo de un metal de relleno, es decir, una soldadura, en la junta, la soldadura tiene un punto de fusión más bajo que la pieza de trabajo. En la soldadura, el metal de relleno se derrite a una temperatura más alta que la soldadura, pero el metal de la pieza de trabajo no se derrite. La distinción entre soldadura y soldadura se basa en la temperatura de fusión de la aleación de relleno. Generalmente, se utiliza una temperatura de 450 °C como punto de delineamiento práctico entre la soldadura y la soldadura.

- 25 Al realizar soldadura, se aplica un relleno de soldadura 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 se funde y llena el espacio a unir. En el proceso de soldadura hay tres etapas principales: la primera etapa se llama etapa física. La etapa física incluye humectación y flujo del relleno de soldadura. La segunda etapa normalmente ocurre a una temperatura de unión dada. Durante esta etapa hay interacción sólido-líquido, que va acompañada de una transferencia de masa sustancial. El volumen del material base que se une 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 fases líquidas penetra en el material base sólido. Esta redistribución de componentes en el área de la 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 final de la junta y progresa durante la solidificación y enfriamiento de la junta.

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

- La soldadura por difusión (DFB), unión transitoria en fase líquida (TLP) o unión por difusión activada (ADB) es un proceso que coalesce, o une, metales calentándolos a una temperatura de soldadura adecuada a la que un metal de relleno previamente reemplazado se fundirá o fluirá por capilaridad 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 junta se vuelven casi idénticas a las del metal base. Dos aspectos críticos de DFB, TLP o ADB son que:

- debe formarse un líquido y activarse en el área de la articulación; y
- debe producirse una amplia difusión de elementos metálicos de relleno en el material base.

- Formas de obtener un cierre de junta o el mismo que el obtenido cuando se usan DFB, TLP o ADB, pero tiene la ventaja de la soldadura, por ejemplo, tener la posibilidad de soldar huecos más grandes, etc. es mediante el uso de una técnica de soldadura y rellenos de soldadura descritos por el documento WO 2002/38327, Los documentos WO 2008/060225 y WO 2008/060226 desvelan todos los rellenos de soldadura que tienen una composición cercana al material base (la aleación a soldar) con elementos adicionales de fundente (depresores del punto de fusión), tales como silicio y/o boro y/o fósforo. El documento WO 2008/060225 describe un material de soldadura basado en hierro que contiene un mínimo de 15 % de Cr, 15 % Ni y 1 % Mo. Según un aspecto de la invención, la aleación de soldadura contiene la Si Banda, variando entre 0,1-1,5 % y 8,0-12 %, respectivamente.

- El documento US 2003/200835 desvela un polvo de relleno de soldadura por difusión para soldadura de objetos hechos de una aleación basada en níquel, cobalto o hierro. El polvo de relleno de soldadura de difusión, comprende partículas que están diseñadas especialmente para adaptarse a diferentes aleaciones a soldar. El polvo de relleno de soldadura comprende como adición al menos un elemento fundente (depresor de temperatura) que consiste en boro y/o silicio. La cantidad de elementos fundentes está entre 2-6 %. El polvo de relleno del documento US 2003/200835 se puede usar para superponer.

Usando de relleno de soldadura, es decir, una aleación de soldadura, con una composición cercana al material base pero con depresores del punto de fusión añadidos, por ejemplo, silicio y/o boro y/o fósforo. Haciendo esto, la unión de soldadura tendrá una composición cercana al material base después de la soldadura, ya que el relleno de soldadura tenía una composición similar al material base, el relleno de soldadura se mezcla con el material base debido a la disolución del material base y los depresores del punto de fusión se difunden en el material base.

Hay muchas razones para seleccionar un determinado método de unión, tales como coste, productividad, seguridad, velocidad y 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, cuando se unen metales base es un proceso complicado. El relleno tiene que estar en una forma que pueda aplicarse al metal base antes de calentar. Generalmente, los rellenos son partículas producidas adecuadamente por atomización, pero los rellenos también pueden estar en forma de láminas producidas por "hilado por fusión", es decir, solidificación rápida (RS). Con respecto a RS, solo es posible producir un número limitado de composiciones por RS. El número de composiciones que pueden hacerse 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 tanto, costosos. Cuando se usan polvos, los polvos se aplican adecuadamente en forma de una pasta como se mencionó anteriormente, esto agregará una etapa adicional en el 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 correcta, propiedades, forma y composición del relleno antes de fundir y unir.

La invención

Un fin de la invención es reducir las etapas del proceso al unir sustratos de materiales precursores. Otro fin es simplificar la unión de los materiales precursores y así reducir los costes.

Si fuera posible, al seleccionar rellenos de soldadura, una composición cercana al material precursor es beneficiosa, ya que el material precursor se ha seleccionado para los fines del producto. Si fuera posible y el costo no fuera limitante, sería mejor desarrollar un relleno de soldadura para cada material principal. Por tanto, otro fin de la invención es disminuir el número necesario de rellenos de soldadura.

Por consiguiente, la presente invención proporciona una solución a los problemas y fines técnicos mediante el novedoso e inventivo concepto de soldadura. El primer aspecto se refiere a una mezcla de al menos una fuente de boro y al menos una fuente de silicio, en donde la mezcla comprende boro y silicio en una relación en peso de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 3:100 p/p a aproximadamente 100:3 p/p, preferentemente dentro de un intervalo de aproximadamente 5:100 p/p a aproximadamente 2:1 p/p, más preferentemente de aproximadamente 5:100 p/p a aproximadamente 1:1 p/p, en donde el silicio y el boro están presentes en la mezcla en al menos 25 % en peso, preferentemente silicio y boro están presentes en la mezcla en al menos 35 % en peso. La al menos una fuente de boro y la al menos una fuente de silicio están exentas de oxígeno, excepto por cantidades inevitables de oxígeno contaminante, y en donde la mezcla es una mezcla mecánica de polvos y las partículas en los polvos pueden tener un tamaño de partícula medio inferior a 250 μm , preferentemente las partículas en los polvos tienen un tamaño de partícula medio inferior a 160 μm , más preferentemente la partícula tiene un tamaño medio de partícula inferior a 100 μm .

Una mezcla de la presente invención es ventajosa porque proporciona posibilidades para obtener juntas entre sustratos. Las juntas obtenidas son de un material similar al material o materiales de los sustratos, excepto que las juntas contienen cantidades adicionales de elementos de la mezcla. Permitiendo la formación de juntas del material en los sustratos según el nuevo concepto de soldadura, los riesgos de corrosión pueden evitarse o al menos reducirse, ya que habrá menos diferencias entre el material en las juntas y el sustrato en comparación con cuando se utilizan materiales de soldadura comerciales.

Los sustratos se refieren a partes de un producto obtenible, las partes pueden ser, por ejemplo, pero sin limitación, partes gruesas tales como separadores o decantadores, etc. o partes delgadas tales como placas o bobinas. Los sustratos pueden ser cualquier parte que deba unirse o revestirse. El sustrato también podría ser piezas de trabajo. Los sustratos son de materiales precursores, es decir, material a soldar. Los materiales precursores se refieren a precursores principales o aleaciones precursoras, ciento dicho metal o aleaciones precursores adecuados para soldadura. Ejemplos de materiales precursores, se puede encontrar en la Tabla 1, la invención no se limita a los ejemplos de la Tabla 1.

El material precursor puede ser una aleación que comprende elementos tales como hierro (Fe), cromo (Cr), níquel

(Ni), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), cobre (Cu), cobalto (Co) etc. Ejemplos de tales aleaciones se encuentran en la lista en la Tabla 1, los materiales precursores no se limitan a la lista y son solo ejemplos de posibles materiales precursores.

5

Tabla 1

Materiales precursores	Temperatura de <i>sólidos</i> aproximada [°C]	Temperatura de <i>liquidus</i> 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
Acero dulce	1505	1535
Acero inoxidable tipo 316	1390	1440
Acero inoxidable tipo 304	1399	1421

El material precursor se refiere a un metal o una aleación. Aleación se define como una asociación íntima o compuesto de dos o más elementos, poseyendo la aleación un grado marcado de todas o la mayoría de las características comúnmente descritas como metálicas. Las aleaciones son compuestos, no simples mezclas. Un metal se refiere a un elemento que tiene propiedades metálicas.

10

Los compuestos son combinaciones de dos o más elementos. Vidrio, acero, óxido de hierro son compuestos en donde cada átomo está atraído por todos los átomos adyacentes para formar un sólido uniforme o casi uniforme, tales cuerpos no son meras claramente mezclas mecánicas, compuestos químicos de composición variable o indefinida, tales como silicatos, los polímeros se combinan químicamente pero están compuestos de composiciones variables.

15

Sin quedar unidos a ninguna teoría específica, los inventores creen que la presencia de boro proporciona humectabilidad y disminución del punto de fusión, y el silicio proporciona disminución del punto de fusión.

20

Una fuente de boro se refiere a boro elemental (B), una aleación o compuesto que contiene boro.

Una fuente de silicio se refiere a silicio elemental (Si), una aleación o compuesto que contiene silicio.

25

Una mezcla mecánica de polvos se refiere a la mezcla mecánica de dos o más componentes. La mezcla mecánica de polvos son partículas de diferentes fuentes, cada partícula es una fuente de boro o una fuente de silicio.

El oxígeno contaminante se refiere a cantidades inevitables de oxígeno que, por ejemplo, está contenido en calidades técnicas, etc. de una fuente de silicio o de una fuente de boro, y la cantidad puede ser tan alta como 5 % en peso de oxígeno en la fuente de boro y tan alta como 5 % en peso % en la fuente de silicio. El oxígeno contaminante puede ser tan alto como 10 % en peso.

30

La cantidad de silicio y boro en la mezcla depende de la pureza de silicio y boro, pero también del tipo de fuente de silicio o fuente de boro que contiene la mezcla. Por ejemplo, si la fuente de silicio es Fe - Si el Fe es pesado y la cantidad de silicio y boro será menor. En la Tabla 2 hay algunos ejemplos.

35

Tabla 2

Mezcla	B o Si	B ₄ C, Fe-B, Fe-Si, Ni-B	Si	B	Peso Total	Peso de B + Si	Cantidad de B + Si [% en peso]
Si/B ₄ C	10,0	2,6		2,0	12,6	12,0	95,2
Si/Fe-B	10,1	12,5		2,0	22,6	12,1	53,5
B/Fe-Si	2,0	30,2	10,1		32,6	12,1	37,6
Si/Ni-B	10,1	13,0		2,0	23,1	12,1	52,4

Según un ejemplo, la combinación de al menos una fuente de boro y al menos una fuente de silicio comprende boro y silicio en una relación en peso de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 5:100 a aproximadamente 2:1, preferentemente de aproximadamente 5:100 a aproximadamente 1:1, en donde el silicio y el

40

boro están presentes en la mezcla en al menos 50 % en peso, preferentemente silicio y boro están presentes en la mezcla en al menos 60 % en peso, más preferentemente silicio y boro están presentes en la mezcla en al menos 70 % en peso, más preferentemente silicio y el boro están presentes en la mezcla en al menos 80 % en peso, y en donde la al menos una fuente de boro y la al menos una fuente de silicio están exentas de oxígeno, excepto por las cantidades inevitables de oxígeno contaminante, y en donde la mezcla es una mezcla mecánica de polvos y partículas en los polvos tienen un tamaño medio de partícula inferior a 160 µm.

Una ventaja de un tamaño de partícula inferior a 250 µm es la capacidad de distribuir la mezcla de manera más uniforme posible sobre el sustrato.

Una ventaja de una relación en peso de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 5:100 a aproximadamente 2:1 es que la aleación de soldadura obtenida tendrá humectabilidad y, por tanto, un buen flujo. Un buen flujo es una ventaja cuando se realizan soldaduras de juntas porque la aleación de soldadura obtenida fluirá desde las áreas donde se obtiene la aleación de soldadura y fluirá hacia el área de la junta.

Según otro ejemplo, es la combinación de al menos una fuente de boro y al menos una fuente de silicio, en donde la mezcla comprende boro y silicio en una relación en peso de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 1:10 a aproximadamente 7:10, en donde el silicio y el boro están presentes en la mezcla en al menos 25 % en peso, preferentemente silicio y boro están presentes en la mezcla en al menos 35 % en peso. La al menos una fuente de boro y la al menos una fuente de silicio están exentas de oxígeno, excepto por las cantidades inevitables de oxígeno contaminante, y en donde la mezcla es una mezcla mecánica de polvos y las partículas en los polvos tienen un tamaño de partícula medio inferior a 160 µm, preferentemente inferior a 100 µm.

Según otro ejemplo puede ser la combinación de al menos una fuente de boro y al menos una fuente de silicio, en donde la mezcla comprende boro y silicio en una relación en peso de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 15:100 a aproximadamente 4:10, en donde el silicio y el boro están presentes en la mezcla en al menos 25 % en peso, preferentemente silicio y boro están presentes en la mezcla en al menos 35 % en peso. La al menos una fuente de boro y la al menos una fuente de silicio están exentas de oxígeno, excepto por las cantidades inevitables de oxígeno contaminante, y en donde la mezcla es una mezcla mecánica de polvos y partículas en los polvos tienen un tamaño de partícula inferior a 160 µm, preferentemente inferior a 100 µm.

Según otro ejemplo puede ser la combinación de al menos una fuente de boro y al menos una fuente de silicio, en donde la mezcla comprende boro y silicio en una relación en peso de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 3:100 a aproximadamente 100:3, preferentemente dentro de un intervalo de aproximadamente 5:100 a aproximadamente 1:1, en donde el silicio y el boro están presentes en la mezcla dentro de un intervalo de aproximadamente 40 % en peso a aproximadamente 100 % en peso, preferentemente silicio y boro están presentes en la mezcla dentro de un intervalo de aproximadamente 45 % en peso a aproximadamente 100 % en peso. La al menos una fuente de boro y la al menos una fuente de silicio están exentas de oxígeno, excepto por las cantidades inevitables de oxígeno contaminante, y en donde la mezcla es una mezcla mecánica de polvos y las partículas en los polvos tienen un tamaño de partícula medio inferior a 160 µm, preferentemente inferior a 100 µm.

Según un ejemplo puede ser la combinación de al menos una fuente de boro y al menos una fuente de silicio, en donde la mezcla comprende boro y silicio en una relación en peso de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 1:10 a aproximadamente 7:10, en donde el silicio y el boro están presentes en la mezcla dentro de un intervalo de aproximadamente 40 % en peso a aproximadamente 100 % en peso, preferentemente silicio y boro están presentes en la mezcla dentro de un intervalo de aproximadamente 45 % en peso a aproximadamente 100 % en peso. La al menos una fuente de boro y la al menos una fuente de silicio están exentas de oxígeno, excepto por las cantidades inevitables de oxígeno contaminante, y en donde la mezcla es una mezcla mecánica de polvos y las partículas en los polvos tienen un tamaño de partícula medio inferior a 160 µm, preferentemente el tamaño medio de partícula es inferior a 100 µm, más preferentemente inferior a 50 µm.

Según otro ejemplo puede ser la combinación de al menos una fuente de boro y al menos una fuente de silicio, en donde la mezcla comprende boro y silicio en una relación en peso de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 15:100 a aproximadamente 4:10, en donde el silicio y el boro están presentes en la mezcla dentro de un intervalo de aproximadamente 40 % en peso a aproximadamente 100 % en peso, preferentemente silicio y boro están presentes en la mezcla dentro de un intervalo de aproximadamente 45 % en peso a aproximadamente 100 % en peso. La al menos una fuente de boro y la al menos una fuente de silicio están exentas de oxígeno, excepto por las cantidades inevitables de oxígeno contaminante, y en donde la mezcla es una mezcla mecánica de polvos y las partículas en los polvos tienen un tamaño de partícula medio inferior a 160 µm, preferentemente el tamaño medio de partícula es inferior a 100 µm, más preferentemente inferior a 50 µm.

Según un ejemplo, la mezcla de boro y silicio, en donde la mezcla comprende boro y silicio en una relación en peso de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 1:10 a aproximadamente 7:10, en donde el silicio y el boro están presentes en la mezcla dentro de un intervalo de aproximadamente 40 % en peso a aproximadamente 100 % en peso, preferentemente silicio y boro están presentes en la mezcla dentro de un intervalo de aproximadamente 45 % en peso a aproximadamente 100 % en peso. La al menos una fuente de boro y la al menos

una fuente de silicio están exentas de oxígeno, excepto por las cantidades inevitables de oxígeno contaminante, y en donde la mezcla es una mezcla mecánica de polvos y las partículas en los polvos tienen un tamaño de partícula medio inferior a 160 µm, preferentemente el tamaño de partícula es inferior a 100 µm, más preferentemente inferior a 50 µm.

5 Según un ejemplo, la al menos una fuente de silicio puede seleccionarse del grupo que consiste en silicio elemental (Si), una aleación o compuesto que contiene silicio. La fuente de silicio puede ser pura o de calidad técnica.

10 Según otro ejemplo, la al menos una fuente de boro puede seleccionarse del grupo que consiste en boro elemental (B), una aleación o compuesto que contiene boro. La fuente de boro puede ser pura o de calidad técnica.

Según otro ejemplo, las al menos una fuente de boro puede seleccionarse de, pero sin limitación, boro elemental, carburos de boro, boruros de níquel o boruros de silicio. La al menos una fuente de silicio puede seleccionarse de, pero sin limitación, silicio elemental, ferrosilicio, siliciuros de hierro, carburos de silicio, o boruros de silicio.

15 Según otro ejemplo, la al menos una fuente de boro puede seleccionarse de boro elemental, B₄C, B₄Si, B₃Si, NiB y FeB, y la al menos una fuente de silicio puede seleccionarse de silicio elemental, FeSi, SiC, y B₄Si, B₃Si.

20 Según un ejemplo, la mezcla puede ser una mezcla mecánica de polvos. Una mezcla se define como una mezcla mecánica de dos o más componentes. Según el primer aspecto, una mezcla es una mezcla mecánica o una mezcla mecánica de dos o más polvos, es decir, una mezcla de polvo de "fuente de silicio" y polvo de "fuente de boro".

El segundo aspecto se refiere a una composición que comprende la mezcla según el primer aspecto de la invención.

25 Según un ejemplo, la composición puede comprender además polvos de un material precursor en combinación con cualquiera de los ejemplos de la mezcla según el primer aspecto.

30 Un material precursor se refiere a un metal o aleación que es adecuado para la soldadura como se mencionó anteriormente. Como ejemplo, el material precursor puede comprender cualquier metal como se muestra en la Tabla 2.

35 Según otro ejemplo, la composición también puede comprender polvos de un material precursor, en donde el material precursor está presente en una cantidad inferior a 75 % en peso calculada sobre el peso total de silicio, boro y material precursor. Dicha composición proporciona material precursor adicional cuando se obtiene la aleación de soldadura durante el proceso de aleación. Al realizar soldadura, por ejemplo, de piezas delgadas o placas delgadas, el material precursor adicional puede disminuir o reducir el riesgo de quemar las placas o las piezas, como se ve en los siguientes Ejemplos experimentales.

40 Según otro ejemplo, la composición comprende además polvos de una aleación de soldadura.

Una aleación de soldadura se refiere a un material precursor que se alea con depresores del punto de fusión y, por tanto, recibe un punto de fusión más bajo que el material precursor.

45 Según otro ejemplo, la composición comprende además al menos un aglutinante seleccionado de disolventes, agua, aceites, geles, lacas, barniz, polímeros, cera o combinaciones de los mismos.

Como ejemplo, el aglutinante puede seleccionarse de poliésteres, polietilenos, polipropilenos, polímeros acrílicos, polímeros (met)acrílicos, alcoholes polivinílicos, poli(acetatos de vinilo), poliestirenos, ceras.

50 Según otro ejemplo, el aglutinante puede ser un poliéster una cera o combinaciones de los mismos.

Según otro ejemplo, la composición es una pintura o la composición es una pasta o la composición es una dispersión.

55 Según otro ejemplo, el aglutinante es un gel y la composición es una pasta.

Una ventaja cuando la composición es una pasta es que la pasta puede aplicarse fácilmente a áreas seleccionadas en el sustrato.

60 Según otro ejemplo, el aglutinante es una laca o un barniz, y la composición es una pintura.

Una ventaja de que una composición sea una pintura es que la pintura se puede distribuir fácilmente sobre la superficie del sustrato y adherirse a la superficie y, por tanto, se puede manipular durante, por ejemplo, el transporte, prensado, corte, etc.

65 Según otro ejemplo, el aglutinante se selecciona de poliésteres, polietilenos, polipropilenos, polímeros acrílicos,

polímeros (met)acrílicos, alcoholes polivinílicos, poli(acetatos de vinilo), poliestirenos, ceras o combinaciones de los mismos, y la composición es una pintura o la composición es una pasta.

5 Según otro ejemplo, el aglutinante se selecciona de poliésteres, polietilenos, polipropilenos, polímeros acrílicos, polímeros (met)acrílicos, alcoholes polivinílicos, poli(acetatos de vinilo), poliestirenos, ceras o combinaciones de los mismos, y la composición es una pintura.

10 Según otro ejemplo, el aglutinante se selecciona de poliésteres, polietilenos, polipropilenos, polímeros acrílicos, polímeros (met)acrílicos, alcoholes polivinílicos, poli(acetatos de vinilo), poliestirenos, ceras o combinaciones de los mismos, y la composición es una pasta.

Según otro ejemplo, la mezcla se dispersa en el aglutinante.

15 Según otro ejemplo, la composición es una dispersión.

Una ventaja cuando la composición es una dispersión, es que el aglutinante puede evaporarse fácilmente después de aplicar la dispersión sobre la superficie del sustrato. Otra ventaja es que se incorpora menos carbono adicional en la aleación de soldadura.

20 El tercer aspecto se refiere también a un producto en donde la composición según los ejemplos del segundo aspecto puede aplicarse sobre un sustrato. El sustrato puede ser un material precursor.

25 Un material precursor puede ser un metal o una aleación, dichos materiales precursores son adecuados para realizar soldadura como se mencionó anteriormente. Una aleación se define como una asociación íntima o compuesto de dos o más elementos, la aleación posee en un grado marcado todas o la mayoría de esas características descritas habitualmente como metálicas. Las aleaciones son compuestos, no simples mezclas. El boro se clasifica como metaloide y no es un metal. El silicio es un metaloide tetravalente y no un metal. El silicio y el boro pueden ser aleaciones cuando están en un compuesto junto con un elemento metálico.

30 El sustrato es parte de un producto obtenible, las partes podrían ser, por ejemplo, pero sin limitación, partes gruesas tales como partes de separadores o partes de decantadores, etc. o partes delgadas tales como placas o bobinas, es decir, el sustrato puede ser cualquier parte que deba unirse o revestirse. El sustrato también podría ser piezas de trabajo.

35 Según un ejemplo, el producto comprende un sustrato de un material precursor, cuyo material precursor tiene una temperatura de *solidus* superior a 1100 °C, y el producto comprende también una composición según cualquiera de los ejemplos según el segundo aspecto, en donde al menos una parte del sustrato tiene una capa superficial de la composición.

40 El nuevo concepto de soldadura proporciona, por ejemplo, juntas que se obtienen mediante una aleación de soldadura, cuya aleación de soldadura se forma en un proceso de fusión del material precursor y una mezcla de boro y silicio. La aleación de soldadura en forma fundida se transporta mediante fuerzas capilares al área de la junta principalmente desde áreas vecinas. La temperatura para el concepto de soldadura es superior a 900 °C, es decir, por encima del punto de delineamiento entre soldadura y soldadura. La aleación de soldadura formada es una
45 aleación que tiene, aparte de los elementos de un material precursor, elementos de disminución de temperatura de *liquidus*. Por tanto, la aleación de soldadura tiene una temperatura de *liquidus* más baja que el material precursor.

Según un ejemplo, la composición se aplica sobre el sustrato, y la cantidad total promedio de silicio y boro aplicados se aplica en una cantidad promedio inferior a 1 mg/mm², preferentemente dentro de un intervalo de 0,01 a 1 mg/mm², más preferentemente dentro de un intervalo de 0,02 a 0,8 mg/mm², más preferentemente dentro de un
50 intervalo de 0,03 a 0,07 mm/mm².

Según otro ejemplo, la cantidad total media de silicio y boro aplicada se aplica en una cantidad media dentro de un intervalo de 0,06 a 0,3 mg/mm² cuando el sustrato tiene un grosor ≤ 1 mm.

55 Según otro ejemplo, la cantidad total media de silicio y boro aplicada se aplica en una cantidad media dentro de un intervalo de 0,06 a 1 mg/mm² cuando el sustrato tiene un grosor ≥ 1 mm.

60 Según otro ejemplo, el producto puede obtenerse aplicando la composición según cualquiera de los ejemplos del segundo aspecto, en la superficie de un sustrato, dicha composición puede aplicarse como pintura, o la composición puede aplicarse como pasta, o la composición puede aplicarse como dispersión.

Según otro ejemplo, el producto según cualquiera de los ejemplos según el tercer aspecto puede ser para soldadura de juntas entre áreas de contacto de sustratos o el producto puede ser para revestimientos de sustratos, o el
65 producto puede ser para soldadura de juntas y revestimientos de sustrato.

Según otro ejemplo, el material precursor del producto puede seleccionarse del grupo que consiste en aleaciones basadas en hierro, aleaciones basadas en níquel, aleaciones basadas en cromo, aleaciones basadas en cobre y aleaciones basadas en cobalto.

5 Según un ejemplo, el material precursor puede comprender de aproximadamente 15 a aproximadamente 22 % en peso de cromo, de aproximadamente 8 a aproximadamente 22 % en peso de níquel, de aproximadamente 0 a aproximadamente 3 % en peso de manganeso, de aproximadamente 0 a aproximadamente 1,5 % en peso de silicio, opcionalmente de aproximadamente 1 a aproximadamente 8 % en peso de molibdeno, y equilibrado con hierro, todos los porcentajes en porcentaje en peso.

10 Según otro ejemplo, el material precursor puede comprender de aproximadamente 15 a aproximadamente 22 % en peso de cromo, de aproximadamente 8 a aproximadamente 22 % en peso de níquel, de aproximadamente 0,2 a aproximadamente 3 % en peso de manganeso, de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 1,5 % en peso de silicio, opcionalmente de aproximadamente 1 a aproximadamente 8 % en peso de molibdeno, y equilibrado con hierro, todos los porcentajes en porcentaje en peso.

15 Según otro ejemplo, el material precursor puede comprender de aproximadamente 15 a aproximadamente 22 % en peso de cromo, de aproximadamente 8 a aproximadamente 22 % en peso de níquel, de aproximadamente 1 a aproximadamente 3 % en peso de manganeso, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 1,5 % en peso de silicio, opcionalmente de aproximadamente 1 a aproximadamente 8 % en peso de molibdeno, y equilibrado con hierro.

Según otro ejemplo, el material precursor puede comprender más del 80 % en peso de Ni.

25 Según otro ejemplo, el material precursor puede comprender más del 50 % en peso de Fe, menos de 13 % en peso de Cr, menos de 1 % en peso de Mo, menos de 1 % en peso de Ni y menos de 3 % en peso de Mn.

Según otro ejemplo, el material precursor puede comprender más del 10 % en peso de Cr y más del 60 % en peso de Ni.

30 Según otro ejemplo, el material precursor puede comprender más del 15 % en peso de Cr, más de 10 % en peso de Mo y más de 50 % en peso de Ni.

35 Según otro ejemplo, el material precursor puede comprender más del 10 % en peso de Fe, 0,1 a 30 % en peso de Mo, 0,1 a 30 % en peso de Ni, y más de 50 % en peso de Co.

Según otro ejemplo del tercer aspecto, la capa superficial del material puede proporcionarse en al menos un lado de un sustrato o la capa superficial del material se proporciona en ambos lados de un sustrato.

40 Según otro ejemplo del tercer aspecto, los sustratos pueden ser bobinas, placas, partes de productos.

Según otro ejemplo del tercer aspecto, los sustratos pueden cortarse, conformarse, prensarse o combinaciones de los mismos. Según otro ejemplo, los sustratos pueden ser placas de intercambiador de calor o placas de reactor o partes de separadores, o partes de decantadores, o partes de válvulas, etc.

45 Dependiendo de los materiales principales que se utilizan, hay diferentes materiales precursores preferentes que tienen diferentes temperaturas de *solidus*, es decir, el punto de temperatura en que se solidifica un material. Según la invención, la temperatura de *solidus* del material precursor puede ser superior a 1100 °C. Según una alternativa de la invención, la temperatura de *solidus* del material precursor puede ser superior a 1220 °C. Según otra alternativa de la invención, la temperatura de *solidus* del material precursor puede ser superior a 1250 °C. Según una alternativa adicional de la invención, la temperatura de *solidus* del material precursor puede ser superior a 1300 °C.

55 La capa superficial puede aplicarse como 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 condensación de una forma vaporizada del material de película deseado en varias superficies de piezas de trabajo, por ejemplo, en obleas semiconductoras. El método de aplicación implica procesos puramente físicos, tales como evaporación al vacío a alta temperatura con posterior condensación, o bombardeo por pulverización de plasma en lugar de una reacción química en la superficie a revestir 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 con alto rendimiento. El proceso se utiliza, por ejemplo, en la industria de semiconductores para producir películas delgadas. En un proceso habitual de CVD, la oblea, es decir, el sustrato, está expuesto 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 cuarto aspecto se refiere a un producto estratificado de aleación de soldadura que comprende una capa de aleación de soldadura y un sustrato, en donde el producto estratificado de aleación de soldadura se obtiene calentando un producto según uno cualquiera de los ejemplos del tercer aspecto, y en donde la capa de aleación de soldadura tiene un punto de fusión más bajo que el punto de fusión del sustrato.

5 Otro ejemplo se refiere a un producto estratificado de aleación de soldadura, dicho producto estratificado de aleación de soldadura puede comprender una composición según uno cualquiera de los ejemplos del segundo aspecto, dicha composición comprende una mezcla, en donde se ha obtenido una capa de aleación de soldadura en la superficie del sustrato mediante la aleación de la mezcla con elementos en la superficie del sustrato y calentando el sustrato y la composición a una temperatura superior a la temperatura de *solidus* de la aleación de soldadura obtenida, y que la aleación de soldadura obtenida puede tener un punto de fusión inferior al punto de fusión del sustrato.

15 Según un ejemplo del producto estratificado de aleación de soldadura, los sustratos pueden cortarse, conformarse, prensarse o combinaciones de los mismos antes de la aplicación de la capa superficial de la composición, o en donde los sustratos pueden cortarse, conformarse, prensarse o combinaciones de los mismos después de la aplicación de la capa superficial de la composición, o en donde los sustratos pueden cortarse, conformarse, prensarse o combinaciones de los mismos después de obtener la aleación de soldadura en la superficie del metal base.

20 El producto estratificado de aleación de soldadura puede obtenerse mediante soldadura previa de manera que el material precursor y la capa superficial puedan calentarse a una temperatura más alta que la temperatura de *solidus* de la aleación de soldadura obtenida en la capa de soldadura y más baja que la temperatura de *solidus* del material precursor. Se obtiene una capa de aleación de soldadura sobre el material precursor en una etapa de soldadura previa. La aleación de soldadura en la capa superficial puede comprender la mezcla según el primer aspecto y elementos del material precursor.

30 Según un ejemplo, los productos pueden tener otras formas y la capa superficial de la mezcla podría estar en un lado del producto, capa superficial única, o en dos lados del producto, capas de doble superficie, o la mezcla podría estar en varios lados del producto. El producto puede cortarse, podría conformarse, podría prensarse 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 soldadura previa.

El quinto aspecto se refiere a un método para proporcionar un producto que tiene al menos una unión con soldadura entre áreas de contacto de sustratos que comprende:

35 Etapa (i) aplicar al menos una fuente de silicio y al menos una fuente de boro en al menos un sustrato;

Etapa (ii) ensamblar los sustratos aplicados con al menos un sustrato adicional con o sin fuente de silicio aplicada o fuente de boro;

40 Etapa (iii) calentar los sustratos ensamblados a una temperatura de soldadura inferior a 1250 °C, en un horno al vacío, en un gas inerte, en atmósfera reductora, o combinaciones de los mismos; y

45 Etapa (iv) enfriar los sustratos ensamblados y obtener un producto que tenga al menos una unión con soldadura entre las áreas de contacto de los sustratos.

Las áreas de contacto se refieren a las áreas donde un primer sustrato está en contacto con un segundo sustrato, y donde se formará una junta durante la soldadura.

50 El ensamblaje se refiere al apilamiento de, por ejemplo, placas, pero sin limitación, tales como placas de intercambiador de calor. El ensamblaje se refiere además al ensamblaje de piezas.

Según un ejemplo, el método puede comprender aplicar una mezcla mecánica de al menos una fuente de silicio y la al menos una fuente de boro.

55 Según un ejemplo, el método puede comprender que la al menos una fuente de silicio y la al menos una fuente de boro sean iguales, preferentemente la fuente de boro y la fuente de silicio sean boruros de silicio.

60 Según un ejemplo, el método puede comprender que la al menos una fuente de silicio pueda aplicarse como una capa sobre el sustrato, y la al menos una fuente de boro pueda aplicarse como otra capa sobre el sustrato.

Según un ejemplo, el método puede comprender que la al menos una fuente de boro pueda aplicarse como una primera capa sobre el sustrato, y la al menos una fuente de silicio pueda aplicarse como segunda capa encima de la primera capa sobre el sustrato.

65 Según un ejemplo, el método puede comprender que la al menos una fuente de boro pueda aplicarse como una

capa en un primer sustrato y al menos una fuente de silicio pueda aplicarse como una capa en un segundo sustrato antes de ensamblar los dos sustratos en la etapa (ii) y proporcionar juntas entre las áreas de contacto entre los dos sustratos en la etapa (iii).

- 5 Según un ejemplo, el método puede comprender que al menos una fuente de silicio y al menos una fuente de boro pueden estar dentro de la misma mezcla y el silicio y el boro pueden estar presentes en la mezcla dentro del intervalo de 25 % en peso a 100 % en peso, y que la mezcla sea una mezcla mecánica de polvos.

- 10 Según otro ejemplo, el método puede comprender que la etapa (i) comprenda aplicar una composición que comprende una mezcla de al menos una fuente de silicio y al menos una fuente de boro, y que la composición se aplique en al menos parte de una superficie en al menos un sustrato.

- 15 Según un ejemplo, el método puede comprender que la al menos una fuente de silicio y al menos una fuente de boro puedan aplicarse sobre uno o más sustratos como una mezcla, en donde la mezcla comprende boro y silicio en una relación en peso de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 3:100 p/p a aproximadamente 100:3 p/p, preferentemente una relación en peso de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 5:100 a aproximadamente 1:1. Más preferentemente, la mezcla puede tener una relación en peso de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 1:10 a aproximadamente 7:10, y lo más preferente es que la mezcla pueda tener una relación en peso de boro a silicio dentro de un intervalo de aproximadamente 15:100 a aproximadamente 4:10.

- 20 El silicio y el boro juntos pueden estar presentes en la mezcla dentro de un intervalo de aproximadamente 25 % en peso, preferentemente del 35 % en peso, más preferentemente 40 % en peso a aproximadamente 100 % en peso, el silicio y el boro más preferidos juntos pueden estar presentes en la mezcla dentro de un intervalo de aproximadamente 45 % en peso a aproximadamente 100 % en peso.

- 25 Según otro ejemplo, el método puede comprender que la etapa (i) comprenda aplicar la composición como una pintura sobre al menos parte de una superficie sobre al menos un sustrato.

- 30 Según otro ejemplo, el método puede comprender que la etapa (iii) comprenda calentar los sustratos ensamblados, obtener una fase fundida de aleación de soldadura sobre los sustratos y dejar que la fase fundida se transfiera mediante fuerzas capilares a las áreas de contacto entre los sustratos.

Una fase fundida puede ser la fase que se funde y tiene una temperatura de fusión más baja que el sustrato, y la fase fundida puede obtenerse cuando boro y silicio se alean con los elementos en la superficie del sustrato.

- 35 Un ejemplo del método según el quinto aspecto, la etapa de calentamiento (etapa (iii)) comprende calentar el producto a una temperatura de al menos 900 °C, preferentemente de al menos 1000 °C, más preferentemente de al menos 1040 °C, más preferentemente de al menos 1100 °C.

- 40 Un ejemplo del método según el quinto aspecto, el método comprende una etapa adicional antes de la etapa de aplicación, es decir, la etapa (i), dicha etapa adicional comprende cortar o conformar o combinaciones de los mismos los sustratos antes de la etapa de aplicación.

- 45 Otro ejemplo del método según el quinto aspecto, el método comprende una etapa adicional entre la etapa de aplicación, es decir, la etapa (i), y la etapa de montaje, es decir, la etapa (ii), dicha etapa adicional comprende cortar o conformar o combinaciones de los mismos el producto desde la etapa de aplicación antes de la etapa de ensamblaje.

- 50 Otro ejemplo del método según el quinto aspecto, el método comprende una primera etapa adicional después de la etapa de aplicación, la primera etapa adicional comprende calentar el producto de la etapa de aplicación a una temperatura que permita obtener una capa de aleación de soldadura sobre el sustrato, y enfriar el sustrato obtenido que tiene la capa obtenida de aleación de soldadura.

- 55 Otro ejemplo del método según el quinto aspecto, el método comprende una segunda etapa adicional, en donde la segunda etapa adicional comprende el corte o la conformación o combinaciones de los mismos del sustrato que tiene la capa obtenida de aleación de soldadura.

Según un ejemplo, el método puede comprender que se pueden obtener placas intercambiadoras de calor soldadas o placas de reactor soldadas.

- 60 Según un ejemplo, el método puede comprender que el producto soldado obtenido se seleccione de intercambiadores de calor, reactores de placa, partes de reactores, partes de separadores, partes de decantadores, partes de bombas, partes de válvulas.

- 65 Según un ejemplo, el producto soldado que puede obtenerse en la etapa (iv) puede estar provisto de juntas obtenidas obteniendo una aleación de soldadura en un proceso de fusión del material precursor y la mezcla, y el transporte por fuerzas de capilaridad de la aleación de soldadura en forma fundida al área de las uniones

principalmente desde áreas vecinas.

Según un ejemplo del quinto aspecto, la temperatura de *solidus* del material precursor puede ser superior a 1220 °C. Según otro ejemplo, la temperatura de *solidus* del material precursor puede ser superior a 1250 °C. Según un ejemplo adicional, la temperatura de *solidus* del material precursor puede ser superior a 1300 °C.

Según un ejemplo, el producto obtenido puede soldarse a una temperatura inferior a 1250 °C. Según otro ejemplo, el producto puede soldarse a una temperatura inferior a 1200 °C. Según otro ejemplo, el producto puede soldarse a una temperatura superior a 1100 °C. Según otro ejemplo, el producto puede soldarse dentro de un intervalo de aproximadamente 1100 °C a aproximadamente 1250 °C.

El producto soldado obtenido por el método según los ejemplos de los quintos aspectos puede tener juntas. Las juntas del producto soldado se obtienen mediante la aleación de soldadura formada, aleación de soldadura que se forma en un proceso de fusión a partir del metal base y la mezcla, y fluye a la junta desde áreas vecinas, los elementos encontrados en la aleación de soldadura aparte de los elementos materiales principales son Si, B y opcionalmente C, y en donde el material precursor tiene una temperatura de *solidus* superior a 1100 °C.

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

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

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

En donde A es el área total de los dos triángulos, X es el ancho total de la junta formada, B es la parte de la junta formada donde el volumen de la aleación de soldadura formada en el centro de la junta es insignificante, y la altura se calcula midiendo el ángulo α , que es el ángulo de la tangente entre la viga prensada y la base.

El sexto aspecto se refiere a un método para proporcionar un producto según uno cualquiera de los ejemplos del tercer aspecto, en donde el método comprende las siguientes etapas:

Etapas (i) aplicar una composición según uno cualquiera de los ejemplos del segundo aspecto en al menos una parte de al menos una superficie en al menos un sustrato;

Etapas (ii) obtener un producto en donde la composición se aplica al menos en una parte de una superficie en al menos un sustrato.

El séptimo aspecto se refiere a un método para proporcionar un producto estratificado de aleación de soldadura, método que comprende las siguientes etapas:

Etapas (i) aplicar una composición según uno cualquiera de los ejemplos del segundo aspecto sobre uno o más sustratos obteniendo un primer producto intermedio; y

Etapas (ii) calentar el producto de la etapa (i) a una temperatura más alta que la temperatura de *solidus* de la aleación de soldadura obtenida y más baja que la temperatura de *solidus* del sustrato, y obtener una fase fundida de aleación de soldadura; y

Etapas (iii) enfriar el producto calentado de la etapa (ii), y obtener un producto estratificado de soldadura que tiene una capa de aleación de soldadura en la superficie del sustrato.

Según otro ejemplo, el método para proporcionar un producto estratificado de aleación de soldadura comprende:

Etapas (i) aplicar una composición según uno cualquiera de los ejemplos del segundo aspecto en uno o más sustratos;

Etapas (ii) calentar el sustrato aplicado de la etapa de aplicación a una temperatura superior a la temperatura de *solidus* de la aleación de soldadura obtenida y menor que la temperatura de *solidus* del sustrato, y obtener una capa de fase fundida de aleación de soldadura; y

Etapas (iii) enfriar el sustrato que tiene la fase fundida de aleación de soldadura y obtener un producto estratificado de aleación de soldadura.

El octavo aspecto se refiere a un producto soldado obtenido por el método según uno cualquiera de los ejemplos del quinto aspecto.

El noveno aspecto se refiere al uso de una mezcla según cualquiera de los ejemplos del primer aspecto, dicha

mezcla se usa como depresor del punto de fusión para proporcionar una aleación de soldadura sobre una superficie de un sustrato.

El décimo aspecto se refiere al uso de una composición según uno cualquiera de los ejemplos del segundo aspecto, para soldadura de piezas o placas de intercambiadores de calor, placas de reactores, partes de reactores, partes de separadores, partes de decantadores, partes de bombas, partes de válvulas.

El undécimo aspecto se refiere al uso de una composición para soldadura de piezas o placas para intercambiadores de calor, reactores de placa, partes de reactores, partes de separadores, partes de decantadores, partes de bombas, partes de válvulas, en donde la composición es una pintura.

Ejemplos de productos que tienen juntas soldadas según la invención son piezas o placas para intercambiadores de calor, reactores de placa, partes de reactores, partes de separadores, partes de decantadores, partes de bombas, partes de válvulas.

Otras realizaciones y alternativas se definen mediante las reivindicaciones.

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

Breve descripción de los dibujos

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

La Figura 2 muestra un gráfico de "Aproximación".

La Figura 3 muestra un diagrama en donde el ancho medido en función de la cantidad aplicada ($\text{g}/3500 \text{ mm}^2$) con líneas de tendencia.

La Figura 4 muestra otro diagrama en donde se calcula el área rellena de la junta de soldadura basándose en el ancho medido en función de la cantidad aplicada ($\text{g}/3500 \text{ mm}^2$) con líneas de tendencia.

La Figura 5 muestra otro diagrama en el que el % de las muestras ensayadas para tracción donde la unión era más 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 unión.

Descripción detallada de los dibujos

La Figura 1 muestra una placa prensada circular, que tiene 42 mm de diámetro y 0,4 mm de grosor, 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 representa 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 del ensayo de soldadura. La sección transversal de la Figura 2 muestra la viga prensada en la parte superior de la Figura 2. En la parte inferior de la Figura 2 está la placa plana aplicada anteriormente. En el capilar entre la viga y la superficie plana se crea una junta. Para estimar la cantidad de aleación de soldadura creada en la unión, se han realizado las aproximaciones y cálculos posteriores. Se ha estimado que el volumen en el centro de la articulación es insignificante. Por tanto, el volumen de aleación de soldadura creado para juntas con un ancho, es decir, ancho 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 aleación de soldadura formada. Por tanto, la aleación de soldadura en forma moldeada se ha transportado mediante fuerzas capilares al área de la unión principalmente desde áreas vecinas que forman los volúmenes de aleación de soldadura de los triángulos.

Según la Figura 2, es posible calcular un área estimando que se forman dos triángulos a cada lado del centro de la unión. El ángulo en el triángulo se mide según a aproximadamente 28° . El ancho total medido se llama X y el ancho central, B. El área total (A) de los dos triángulos es, por tanto, $A = 2 \times (((X - B)/2) \times ((X - B)/2) \times \tan(\alpha))/2$, es decir, para la Figura 2 $A = 2 \times (((X - 1,21)/2) \times ((X - 1,21)/2) \times \tan(28^\circ))/2$. El volumen total creado de aleación de soldadura, que había volado a las grietas, sería el área multiplicada por la longitud de las dos vigas. Parte de la aleación de soldadura formada no fluye a las grietas y queda en la superficie.

La Figura 3 muestra un diagrama en donde el ancho medido en función de la cantidad aplicada ($\text{g}/3500 \text{ mm}^2$) con líneas de tendencia. Los resultados de la prueba de rastrel se muestran en las tablas 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 los anchos medidos y las áreas estimadas se ilustran en los diagramas de las Figuras 3. Las cantidades aplicadas, véanse las Tablas 8 y 9, fueron de 0,06 gramos/ 3500 mm^2 a 0,96 $\text{g}/3500 \text{ mm}^2$, que corresponden a aproximadamente 0,017 mg/mm^2 a 0,274 mg/mm^2 , para comparar con la aplicación 1,3-5,1 mg de mezcla por mm^2 utilizado en el Ejemplo 2.

Se midió la línea de tendencia $Y = K \times X + L$ para la mezcla, Y es el ancho de la junta, K es la inclinación de la línea,

X es la cantidad aplicada de mezcla y L es una constante, véase la Figura 3. Por tanto, el ancho de la junta de soldadura:

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

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

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

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

Como se observa en la Figura 3, las mezclas A3,3 de las mezclas A3,3, B2, C1, D0,5, E0,3 y F0 dan la mayor cantidad de aleación de soldadura en la junta en función de la cantidad de mezcla aplicada. La muestra F0 no dio juntas sustanciales por debajo de 0,20 g por 3500 mm².

La Figura 4 muestra otro diagrama en donde se calcula el área rellena de la junta de soldadura basándose en el ancho medido en función de la cantidad aplicada (gramo/3500 mm²) 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 mezcla y L es una constante, véase la 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 de la Figura 4 para, por ejemplo, una cantidad de 0,18 g por 3500 mm², excluyendo la muestra F0, debido a "ninguna" junta de soldadura y la muestra D0,5 debido a muy pocos datos, da un valor para las muestras para el volumen creado de aleación de soldadura en la unión entre las dos vigas, véase a continuación.

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

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

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

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

La Figura 5 muestra otro diagrama en donde el % (porcentaje) es la tasa de éxito de las muestras ensayadas para tracción donde la junta fue más o igual que el material de la placa en función de la cantidad de mezcla aplicada, es decir, gramo por 3500 mm². Cuando la placa fue más que la junta, resultando en una división de la junta, el resultado se ajustó a cero. Para muestras en las que la unión era fue que el material de la placa, la diferencia en los resultados no fue estadísticamente significativa.

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

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

Ejemplos

Los ensayos en estos Ejemplos se realizaron para investigar si el silicio, Si, es capaz de crear una aleación de soldadura cuando se aplica sobre la superficie de una muestra de ensayo de metal base. También se agregaron diferentes cantidades de boro, B, ya que el boro puede disminuir el punto de fusión de las aleaciones de soldadura. El boro también puede cambiar el comportamiento de humectación de las aleaciones de soldadura. También se investigaron las propiedades de las mezclas probadas. En los ejemplos, % en peso es porcentaje en peso y % de átomos es porcentaje de átomos.

Si no se indica nada más, las muestras de ensayo del metal precursor para todas los ensayos se limpiaron por lavado máquina y con acetona antes de agregar muestras de las mezclas de silicio y boro a las muestras de ensayo.

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

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

Tabla 3

Muestra N.º	Boro [g]	Silicio [g]	Aglutinante S-30 [g]	Peso total [g]
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 utilizó otro aglutinante, el aglutinante fue Nicrobraz S-20 de Wall Colmonoy. Las muestras de ensayo se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4

Muestra N.º	Boro [g]	Silicio [g]	Aglutinante S-20 [g]	Peso total [g]
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 relación, porcentaje en peso y porcentaje en átomos, estos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

Mezcla de muestra N.º	Relación [peso/peso]		Cantidad [% en peso]		Cantidad [% de 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

Medida del contenido de aglutinante (polimérico y disolvente) en el aglutinante S-20 y S-30.

También se ensayó el contenido de material "seco" dentro de los geles. Las muestras de S-20 y S-30 se pesaron y luego se colocaron 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 6.

Tabla 6

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

Ejemplo 2: Ensayos de soldadura

Al ensayar las características de flujo y humectación para rellenos de soldadura de la técnica anterior, el peso del relleno de soldadura aplicado es de 2,0 gramos, que corresponde a 0,2 gramos de silicio. Dado que las mezclas de silicio y boro debían analizarse, se usaron cantidades similares de silicio y boro en las composiciones analizadas. El relleno de soldadura contiene 10 % en peso de silicio, por tanto, se aplicaron 0,2 gramos de mezclas de silicio y boro en las muestras de ensayo. Las muestras de ensayo eran piezas de ensayo circulares que tenían un diámetro de 83 mm y un grosor de 0,8 mm y las piezas de ensayo estaban hechas de acero inoxidable tipo 316L. Dado que no se esperaba que 0,2 gramos de mezcla (Si y B) correspondieran a 2 gramos de aleación de soldadura porque primero se debe crear una "aleación de soldadura" formada a partir del metal precursor y Si y B. Por tanto, una cantidad mayor, es decir, 0,4 gramos, también se ensayó. Se comprobó el comportamiento de la "aleación de soldadura formada" para determinar la capacidad de fluir, si la "aleación de soldadura formada" no fluyera, entonces, ¿el silicio y el boro solo se difundirían en el metal base o incluso no fundirían el metal base? Todas las muestras se soldaron en un horno de vacío a 1210 °C durante 1 hora. Se utilizaron ensayos dobles. Es decir, dos pesos de 0,2 gramos y 0,4 gramos, muestras de ensayo dobles y seis mezclas diferentes, es decir, F0, E0,3, D0,5, C1, B2 y A3,3, totalizando hasta $2 \times 2 \times 6 = 24$ muestras. Las mezclas se aplicaron en un área circular que tenía un diámetro de aplicación de 10 a 14 mm, es decir, una superficie de 78 a 154 mm² o aplicación 1,3-5,1 mg de mezcla por mm².

Resultados:

Se observó claramente que las piezas de ensayo del metal base se habían fundido y se había creado algún tipo de fusión. También se observó que las masas fundidas en algunos aspectos aparecían como una aleación de soldadura con flujo. Sin medir el tamaño de humectación, estaba claro que una fracción aumentada 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 grosor del área cubierta se había fundido, creando un agujero en el centro de la pieza de ensayo. 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.

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

Ejemplo 3: Nuevo procedimiento de aplicación

En este ejemplo, se prepararon placas de ensayo para todos los ensayos de rastrel, ensayos de corrosión y ensayos de tracción al mismo tiempo. Del ejemplo 2 se concluyó que podría ser un riesgo aplicar las mezclas de silicio y boro en puntos o líneas en placas de paredes delgadas. Por tanto, se investigaron nuevas muestras de ensayo, es decir, se aplicaron nuevas placas de ensayo con diferentes mezclas de Si y B para los ensayos de rastrel, ensayos de corrosión y ensayos de tracción.

Por consiguiente, las nuevas muestras de ensayo fueron placas de acero inoxidable tipo 316L. El tamaño de las placas fue de 100 mm de ancho, 180 a 200 mm de largo y el grosor fue de 0,4 mm. Todas las placas se limpiaron por lavado a máquina y con acetona antes de la aplicación de las mezclas de Si y B. Se midió el peso. En cada placa se enmascaró una sección de 35 mm en un lado corto.

Las diferentes mezclas utilizadas fueron A3,3, B2, C1, D0,5, E0,3, F0, G15, H100, e I66, todas con el aglutinante añadido S-30. Las placas se "pintaron" con las mezclas en la superficie descubierta, superficie que tenía un tamaño de 100 mm x 35 mm. 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 siguiente Tabla 7 es una octava parte de la cantidad total de las mezclas en el área de 100 mm x 35 mm = 3500 mm² = 35 cm².

Tabla 7

Muestras N.º	Relación B: Si [peso/peso]	Peso de mezcla + aglutinante seco [g]	Peso de mezcla Si + B sin aglutinante [g]	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

(continuación)

Muestras N.º	Relación B: Si [peso/peso]	Peso de mezcla + aglutinante seco [g]	Peso de mezcla Si + B sin aglutinante [g]	Peso de mezcla por área [mg/cm²]
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 corrosión por doblado de las muestras.

- 5 Las placas de ensayo del Ejemplo 3 se cortaron en tiras de 35 mm de ancho, resultando en un área de superficie aplicada de 35 mm x 35 mm en cada tira. Se colocó una placa prensada circular sobre las áreas superficiales de las tiras. La placa prensada circular se muestra en la Figura 1. La placa prensada tenía un tamaño de 42 mm de diámetro y 0,4 mm de grosor y era de acero inoxidable tipo 316L. Las muestras de ensayo se sonaron 1 hora a 1210 °C. Las muestras preparadas para los ensayos de corrosión se aplicaron con muestras de mezcla A3,3, B2, C1, D0,5, E0,3, H100, I66 y J, véase la Tabla 5.

- 15 Las muestras se ensayaron según el método de ensayo de corrosión ASTM A262, "Prácticas estándar para detectar la susceptibilidad al ataque intergranular en aceros inoxidables austeníticos". "Práctica E-Cobre-Sulfato de cobre-Ácido sulfúrico. Ensayo para detectar la susceptibilidad al ataque intergranular en aceros inoxidables austeníticos", se seleccionaron del método de ensayo. La razón para seleccionar estos ensayos de corrosión fue la sospecha de que el boro podría reaccionar con el cromo en el acero creando boruros de cromo, principalmente en los límites de grano, que aumentan el riesgo de ataque de corrosión intergranular. Las muestras se colocaron en ácido sulfúrico al 16 % hirviendo junto con sulfato de cobre en 20 horas, lo que en la norma se conoce como "práctica" y luego un ensayo de doblado, según el capítulo 30 de la norma.

20

Resultados del ensayo de corrosión y seccionamiento de las muestras de ensayo

- 25 Las piezas de ensayo se sometieron a ensayo de doblado según el método de ensayo de corrosión en el 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, se cortaron las muestras dobladas, se rectificaron y pulieron y las secciones transversales se estudiaron en microscopio óptico y en EDS, es decir, espectroscopía de dispersión de energía. Los resultados se resumen en la Tabla 8.

Tabla 8

Muestra N.º	Investigación ocular de superficie para grietas por corrosión cuando se dobla según el ensayo de ASTM	Resultados de la experimentación metalúrgica de las muestras de ensayo de corrosión de sección transversal y muestras de ensayo de ensayo de doblado. Resultados de SEM-EDS
A3,3	Sin grietas	Sin corrosión Una capa superficial de aproximadamente máximo 8 µm con algunas grietas. La fase que se había agrietado tenía un alto contenido de Cr y B, muy probablemente debido a precipitados de Cr-B
B2	Sin grietas	Sin corrosión Una capa superficial de aproximadamente máximo 8 µm con algunas grietas. La fase que se había agrietado tenía un alto contenido de Cr y B, muy 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 máximo 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 y junta corroidas
I66	Sin grietas	Sin corrosión Una capa superficial de aproximadamente máximo 12 µm con algunas grietas. La fase que se había agrietado tenía un alto contenido de Cr y B, muy probablemente una fase de boruro de cromo
J	Sin grietas	Sin corrosión Una capa superficial de aproximadamente máximo 20 µm con algunas grietas. La fase que se había agrietado tenía un alto contenido de Cr y B, muy probablemente una fase de boruro de cromo

30

Comentarios:

Aparentemente al agregar grandes cantidades de boro, como para la muestra H100, J, I66, se forma una capa quebradiza en la superficie. La capa probablemente se debe a una alta concentración de precipitados de boruro de cromo, aumentando con la cantidad de boro. No se encontró ninguna capa frágil en la muestra H100, debido con la mayor probabilidad a la corrosión en la superficie. A medida que aumenta la cantidad de boruros de cromo con una mayor cantidad de boro, también debe tenerse en cuenta que las propiedades de corrosión pueden disminuir. Esto explicaría por qué la muestra H100 fue atacada en el ensayo de corrosión. El efecto "negativo" del boro se puede disminuir mediante el uso de sustratos más gruesos y/o tiempos de difusión más largos. Entonces es posible "diluir" el boro difundiendo en el metal original. Para la menor cantidad de muestra de boro A3,3 y B2, se formó una capa superficial más fina y quebradiza. Se vio que para la baja cantidad de muestra de boro E0,3, se formó una capa superficial frágil bastante gruesa, con un alto contenido de silicio generalmente > 5 % en peso de silicio. Esta capa tenía características diferentes a las superficies frágiles para A3,3, B2, H100, I66 y J. El efecto "negativo" con silicio se puede disminuir utilizando metales básicos más gruesos y/o tiempos de difusión más largos. Entonces es posible "diluir" el silicio en el metal base.

Ejemplo 5: Ensayo de rastrel de las muestras.

Las placas de ensayo del Ejemplo 3 se cortaron en tiras de 35 mm de ancho, resultando en un área de superficie aplicada de 35 mm x 35 mm en cada tira. Se colocó una placa prensada circular sobre las áreas superficiales de las tiras. La placa prensada circular se muestra en la Figura 1. La placa prensada tenía un tamaño de 42 mm de diámetro y 0,4 mm de grosor y era de acero inoxidable tipo 316L. La placa prensada tenía dos vigas prensadas, cada una de aproximadamente 20 mm de largo. Las muestras se soldaron durante aproximadamente 1 hora a aproximadamente 1200 °C.

Los resultados del ensayo de rastrel muestran el ancho de la aleación de soldadura encontrado en el área de unión creada entre el área de superficie plana y el contacto con una viga prensada en la muestra de ensayo que se ve en la Figura 1. Las mezclas se aplicaron sobre las superficies planas antes de calentar. Se estimó la cantidad de aleación de soldadura, véase la Figura 2, mediante una aproximación del área de la sección transversal del rastrel a dos triángulos formados a cada lado del centro de la junta. En la parte media no hay o hay cantidades muy pequeñas de "aleación de soldadura" adicional formada. El área de los dos triángulos se puede calcular midiendo la altura (h) y la base (b). El área total de los dos triángulos asciende a $(h) \times (b)$ ya que hay dos triángulos. El problema con este cálculo es que la altura es difícil de medir. Por tanto, usamos la siguiente ecuación para calcular las dos áreas de los triángulos:

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

A es el área total de los dos triángulos, X es el ancho total de la junta formada, B es la parte de la junta formada donde el volumen de la aleación de soldadura formada en el centro de la junta es insignificante. Por 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 de la viga prensada la placa base.

Para calcular el volumen del volumen total creado de la aleación de soldadura formada que fluyó a las grietas, la longitud de las dos vigas, es decir, cada viga es 20 mm, se multiplicó por A.

El área de los dos triángulos es el área estimada después de la soldadura en las Tablas 9 y 10. El volumen es el volumen de la aleación de soldadura formada en una de las vigas. Los resultados del ensayo de rastrel se muestran en la Tabla 9 y 10, y en la Figura 3. En la Tabla 9 y en la Tabla 10 v y h representan v = viga izquierda y h = viga derecha.

Tabla 9

Muestra N.º	Aglutinante aplicado Si + B [g]	Ancho [mm]	Área estimada después de soldadura [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
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
B2-1 h	0,10	1,92	0,07	1,4

(continuación)

Muestra N.º	Aglutinante aplicado Si + B [g]	Ancho [mm]	Área estimada después de soldadura [mm²]	Volumen [mm³]
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
Resultados del ensayo de rastrel, muestras A3,3 - B2/B4				

Tabla 10

Muestra N.º	Aglutinante aplicado Si + B [g]	Ancho [mm]	Área estimada después de soldadura [mm²]	Volumen [mm³]
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
F0-1 h	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
Resultados del ensayo de rastrel Muestras C1 a F0				

- 5 Los resultados de los anchos medidos y las áreas estimadas se presentan en las Tablas 9 y 10, y se ilustran en los diagramas de la Figura 3. Las cantidades aplicadas, véanse las Tablas 9 y 10, variaron de 0,06 gramos/3500 mm² a 0,96 gramos/3500 mm². Esto corresponde a de aproximadamente 0,017 mg/m² a 0,274 mg/mm², que se compara con aproximadamente 1,3 - 5,1 mg de mezcla por mm² utilizado en el ejemplo 2.
- 10 Se calcularon las líneas de tendencia $Y = K \times X + L$ para las mezclas. Y es el ancho de la junta [mm], K es la inclinación de la línea, X es la cantidad aplicada de mezcla [g] y L es una constante, véase la Figura 3. Por tanto, el ancho de la junta de soldadura:

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

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

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

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

Como se observa en el diagrama, la mezcla A3,3 de mezclas A3,3, B2, C1, D0,5, E0,3 y F0 proporcionan la mayor cantidad de aleación de soldadura en la junta en función de la cantidad de mezcla aplicada. La muestra F0 no dio juntas sustanciales por debajo de 0,20 g por 3500 mm².

Se midió la línea de tendencia $Y = K \times X - L$ para la mezcla, Y es el área [mm^2], K es la inclinación de la línea, X es la cantidad aplicada de mezcla [g] y L es una constante, véase la 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 de la Figura 4 para, por ejemplo, una cantidad de 0,18 g por 3500 mm^2 , excluyendo la muestra F0, debido a "ninguna" junta de soldadura y la muestra D0,5 debido a muy pocos datos, da valores para las muestras para el volumen creado de aleación de soldadura en la junta entre las dos vigas, como se ve a continuación.

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

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

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

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

También se ensayaron mezclas con una mayor fracción de boro, por ejemplo, G15, H100, I66 y J. Todas estas mezclas funcionaron de manera bastante similar a la mezcla A3,3 y B2 con respecto al volumen de aleación de soldadura creado. Sin embargo, la sección transversal metalúrgica de las muestras soldadas mostró que la cantidad de boruros era mayor. Para la muestra H100, es decir, boro puro, también se encontraron fases frágiles de alto contenido de cromo en la superficie donde se aplicó la mezcla anteriormente. Las fases duras fueron probablemente boruros de cromo, que reducen el contenido de cromo en el material circundante, disminuyendo así 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 un entorno no corrosivo. El efecto del boro podría reducirse cambiando el tratamiento térmico y/o utilizando un metal base más grueso que pueda "absorber" una mayor cantidad de boro. Para un material más grueso, es decir, $\geq 1 \text{ mm}$, este efecto de "absorber" el boro en la superficie también será menos severo, dado que la proporción del volumen superficial en comparación con el volumen de metal precursor es mucho menor que para un material delgado $< 1 \text{ mm}$ o $< 0,5 \text{ mm}$. 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 capa gruesa y quebradiza que contenía una fase de silicio. Esta capa tenía un grosor de $> 50 \%$ del grosor de la placa para algunas áreas de la muestra investigada. La fase similar también se encontró en la junta. Se encontraron grietas en esta fase, con una longitud $> 30 \%$ del grosor de la placa. Tales grietas disminuirán el rendimiento mecánico del producto unido y pueden ser puntos de inicio para grietas por corrosión y/o fatiga. La dureza media medida de la fase fue superior a 400Hv (Vickers). Esta fase quebradiza es probablemente mucho más difícil de disminuir, en comparación con la fase de boruro, mediante el uso de metal base más grueso o un cambio en el tratamiento térmico. Aún para el metal base más grueso, este efecto puede ser menos severo.

Ejemplo 6 Ensayo de tracción de una junta soldada

Las placas de ensayo aplicadas originales se cortaron en tiras. El tamaño de la placa era de aproximadamente 100 mm de ancho, 180 a 200 mm de largo y el grosor de 0,4 mm. El área aplicada para cada tira fue de 10 mm por 35 mm = 350 mm^2 . Una parte más gruesa, 4 mm, de acero inoxidable tipo 316L se colocó en el área aplicada cubriendo 30 mm de la superficie aplicada total de 35 mm. La parte más gruesa se colocó al final de la tira 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 mediante ensayos de tracción, si la junta es más que la placa. La placa más gruesa también era más ancha que las rodajas de 10 mm. Todas las muestras de ensayo se soltaron a aproximadamente 1200°C durante aproximadamente 1 hora.

Después de soldar, se realizó un ensayo de desprendimiento de 90° y la parte gruesa de la muestra de ensayo se montó horizontalmente en la parte inferior en una máquina de ensayo de tracción. La tira de soldadura estaba firmemente doblada 90° , en una dirección vertical y la tira se montó en la parte superior de la máquina de ensayo de tracción. La parte gruesa de las muestras de ensayo se montó para que pudiera moverse en dirección horizontal. Las muestras se cargaron y la unión de la soldadura se dividió o la tira falló/se agrietó.

Resultados

Los resultados se presentan como la fracción (%) de juntas no fallidas para cada condición. El ensayo falló si la placa era más que la junta, que resultó en que la articulación se dividió. Si la articulación fue más que la placa

(condición no fallida), la placa se agrietó/falló antes de la unión. Los resultados se resumen en la Tabla 11 y en el diagrama de la Figura 5.

Tabla 11

Mezcla de Si + B [g]	A3,3-1 Tasa de éxito [%]	B2-1 Tasa de éxito [%]	C1-1 Tasa de éxito [%]	D0,5-1 Tasa de éxito [%]
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	

5

Ejemplo 7

Para establecer la relación entre la cantidad aplicada y el riesgo de quemar agujeros a través de las placas, como se describe en el Ejemplo 2, se realizaron nuevos ensayos. Para todos los ensayos se usó la mezcla B2, véase la Tabla 6. A la mezcla se añadió el aglutinante B2 S-30. Las piezas de ensayo fueron de acero inoxidable circular tipo 316 con un grosor de 0,8 mm y un diámetro de 83 mm. Para todas las muestras, la mezcla se aplicó en el centro de la pieza de ensayo. El área aplicada fue de 28 mm², es decir, un punto circular que tiene 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 12. Posteriormente, las muestras de ensayo se pusieron a temperatura ambiente durante 12 horas. Las muestras se pesaron nuevamente.

10

15

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

20

La cantidad aplicada y los resultados de quemado para las muestras de 0,8 mm se resumen en la Tabla 12.

25

Tabla 12

Muestra N.º	Mezcla de Si + B y aglutinante húmedo adicional S-30 [g]	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]	Quemado a 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

(continuación)

Muestra N.º	Mezcla de Si + B y aglutinante húmedo adicional S-30 [g]	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]	Quemado a través [1] o [0]
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 la muestra 11 tiene una quemadura. La muestra 10 tiene 2,264 mg/mm² de cantidad aplicada de mezcla y la muestra 11 tiene 2,491 mg/mm². Para unir placas con un grosor inferior a 1 mm, existe riesgo con una cantidad dentro del intervalo de aproximadamente 2,830 mg/mm² a aproximadamente 3,114 mg/mm² de quemar a través de las placas, la cantidad en el medio de este intervalo es 2,972 mg/mm². Por tanto, para una placa con un grosor inferior a 1 mm, una cantidad inferior a 2,9 mg/mm² sería adecuada para evitar quemar la placa. El resultado también muestra que 2,491 mg/mm² quemará a través una placa que es menos gruesa que 0,8 mm y tiene una mancha circular que tiene un diámetro de 6 mm aplicado con la mezcla. Para muestras con áreas aplicadas más pequeñas, puede haber más mezcla aplicada por área que las muestras con áreas aplicadas más grandes.

Ejemplo 8

- 15 En el Ejemplo 8, una unión de soldadura entre dos placas de intercambiador de calor prensada se realiza de tres maneras diferentes. El grosor de las placas del intercambiador de calor es de 0,4 mm.

En la primera y segunda muestras de ensayo se usó un relleno de soldadura basado en hierro con una composición de acero inoxidable cercano tipo 316, véase el documento WO 2002/38327. El relleno de soldadura tenía una concentración de silicio de aproximadamente 10 % en peso, una concentración de boro de aproximadamente 0,5 % en peso y una cantidad disminuida de Fe de aproximadamente 10,5 % en peso. En la primera muestra de ensayo, el relleno de soldadura se aplicó en líneas y en la segunda muestra de ensayo, el relleno de soldadura se aplicó uniformemente en la superficie. En ambos casos, el relleno se aplicó después del prensado.

25 Después del ensayo de soldadura, la muestra 1 mostró que el relleno de soldadura aplicado en líneas se dibujó en las juntas de soldadura. Algunos de los rellenos de soldadura no fluyeron hacia la junta de soldadura y, por tanto, aumentaron el grosor localmente en la línea aplicada. Para la muestra de ensayo 2, el relleno de soldadura fluyó a las juntas de soldadura, sin embargo, algo en el relleno de soldadura permaneció en la superficie y aumentó el grosor. En ambas muestras de ensayo, 1 y 2, la cantidad de relleno de soldadura agregado correspondió a aproximadamente 15 % en peso del material de la placa.

En la muestra de ensayo 3, se utilizó la mezcla A3,3, véase la Tabla 7. La mezcla se aplicó uniformemente sobre la placa antes de presionar. La mezcla se aplicó en una cantidad que pudiera crear una junta de soldadura con tamaños similares a los de las muestras de ensayo 1 y 2.

La muestra de ensayo 3 se aplicó con una capa uniforme de A3,3. Esta cantidad corresponde a una relación en peso mezcla:material de placa de aproximadamente 1,5:100. Al realizar soldadura, se formó una aleación de soldadura principalmente del metal original. Esta aleación de soldadura fluyó a las juntas de soldadura. Por consiguiente, el grosor de la placa disminuyó ya que el material precursor se disolvió y atrajo a las juntas de soldadura.

Ejemplo 9 Ensayos con diferentes fuentes de Si y fuentes B

Los ensayos en el Ejemplo 9 se realizaron para investigar fuentes alternativas de boro y fuentes de silicio. La mezcla B2, véase la Tabla 7, se seleccionó como referencia para el ensayo. Las fuentes alternativas se probaron para su capacidad de crear una junta. Para cada experimento se ensayó una fuente alternativa de boro o una fuente alternativa de silicio. Cuando se utiliza una fuente alternativa, se supone que la influencia del elemento secundario es cero, que significa que solo se midió el peso de boro o silicio en el componente alternativo, véase la Tabla 13. Para la mezcla de referencia B2, la relación en peso entre silicio y boro es 10 a 2. Cada mezcla se mezcló junto con aglutinante S-30 y la mezcla se aplicó sobre una placa de acero de acuerdo con el Ejemplo 1. Todas las muestras se soldaron en un horno de vacío a 1210 °C durante 1 hora.

Tabla 13

Muestra	Fuente alternativa	Cantidad añadida de fuente de Si [g]	Cantidad añadida de fuente B [g]	Cantidad correspondiente Si [g]	Cantidad correspondiente B [g]
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

Se midió la línea de tendencia $Y = K \times X + L$ para la mezcla B2, Y es el ancho de la junta [mm], K es la inclinación de la línea para B2, X es la cantidad aplicada de mezcla [g] y L es una constante para ninguna cantidad aplicada de mezcla B2, véase la Figura 3. Por tanto, el ancho de la junta de soldadura $Y = 0,626 + 10,807 \times (\text{cantidad aplicada de mezcla})$.

En la Tabla 14 v y h representan l = viga izquierda y r = viga derecha como en el Ejemplo 5.

Tabla 14

Muestra	Cantidad aplicada [g]	Ancho calculado de la junta Y [mm ²]	Ancho medido de la junta [mm ²]
Si - B ₄ C - l	0,22	3,0	2,69
Si - B ₄ C - r	0,22	3,0	2,88
Si - FeB - l	0,26	3,4	1,73
Si - FeB - r	0,26	3,4	1,73
FeSi - B - l	0,29	3,8	2,1
FeSi - B - r	0,29	3,8	2,1
Si - NiB - l	0,39	4,8	2,69
Si - NiB - r	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 usó NiB, la cantidad creada de aleación de soldadura fue menor que para boro puro, sin embargo, NiB podría usarse si se desea un efecto de aleación de Ni.

Ejemplo 10 Ensayos de metales base

En el Ejemplo 10 se probó un gran número de metales base diferentes. Todos los ensayos, excepto el acero dulce y una aleación de Ni-Cu, se ensayaron según el ensayo Y.

Para el ensayo Y, se colocaron dos piezas de ensayo prensadas circulares con un grosor de aplicación de 0,8 mm una sobre la otra. Cada muestra tenía un haz circular prensado. Las caras superiores de las vigas se colocaron una hacia la otra creando una grieta circular entre las piezas. Para cada muestra, la mezcla B2 con el aglutinante S-20 se aplicó con un pincel. El peso de la cantidad agregada no se midió ya que el propósito del ensayo era investigar si era posible crear un relleno de soldadura y no ensayar cómo diferentes cantidades afectaron los resultados. En la Figura 6 se presenta una imagen de una de las muestras después de la unión.

La mezcla se aplicó a las muestras de acero dulce y a las muestras de Ni-Cu de la misma manera. Para el acero dulce, los ensayos realizados se realizaron como en el ejemplo 5 "ensayo de rastrel". El ensayo de Ni-Cu se realizó con dos piezas de ensayo planas. Todas las muestras, excepto Ni-Cu, se "soldaron" en un horno a aproximadamente 1200 °C, es decir, 1210 °C, durante 1 h en horno de vacío. La muestra de Ni-Cu se soldó a aproximadamente 1130 °C durante aproximadamente 1 h en el mismo horno de vacío. Después de "soldar" se había formado una junta entre las piezas para todos los ensayos realizados. También se observó un flujo de "aleación" creado que consiste principalmente en el metal precursor, en la articulación para todas las muestras ensayadas. Los resultados se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15

Muestra de material precursor N.º	Cr [% en peso]	Fe [% en peso]	Mo [% en peso]	Ni [% en peso]	Cu [% en peso]	Mn [% en peso]	¿Junta creada después de soldadura?	¿Flujo o aleación de soldadura después de soldadura?
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

(continuación)

Muestra de material precursor N.º	Cr [% en peso]	Fe [% en peso]	Mo [% en peso]	Ni [% en peso]	Cu [% en peso]	Mn [% en peso]	¿Junta creada después de soldadura?	¿Flujo o aleación de soldadura después de soldadura?
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 15 muestran que se forman aleaciones de soldadura entre la mezcla y el metal base para cada muestra 1 a 20. Los resultados también muestran que se crearon juntas para cada muestra ensayada.

Los resultados de los ejemplos 1 a 10 muestran que se necesitaba boro para crear una cantidad sustancial de aleación de soldadura, que pudiera llenar las articulaciones y también crear resistencia en las articulaciones. Los ejemplos también muestran que se necesitaba boro para la microestructura, ya que se formó una capa gruesa y quebradiza en las muestras sin boro.

Ejemplo 11 Ensayos de presoldadura

Se ensayaron cuatro materiales precursores diferentes en el Ejemplo 11. La mezcla que se utilizó para las piezas de ensayo fue la mezcla A3,3, véanse los ejemplos anteriores. Todas las mezclas se hicieron usando Si y B como fuentes depresoras del punto de fusión, dispersadas en una laca de Akzo Nobel (si no se indica nada más). El material precursor de las piezas de ensayo fue:

1. Acero inoxidable tipo 316 grosor 0,4 mm
2. Ni tipo 200 grosor 0,45 mm
3. Monel 400 grosor 1,0 mm
4. Hastelloy C2000 grosor 0,5 mm

Para el tipo de material 316, se aplicaron grandes piezas de ensayo, es decir, 323 mm x 123 mm de tamaño, con mezclas en donde el peso total de 2 gramos calculado sobre silicio y boro en la mezcla sin aglutinante, es decir, laca en cada pieza de ensayo grande. La cantidad calculada de silicio y boro corresponde a aproximadamente 0,05 mg/mm². Las piezas de ensayo se revistieron con la mezcla A3,3, usando Si elemental y B elemental en la mezcla. Las relaciones de silicio y boro en la mezcla A3,3 se pueden encontrar en la Tabla 4. Cada pieza de ensayo revestida se secó y curó a menos de 400 °C en aire. En ensayos con 316, a excepción del ensayo del horno de cinta, se utilizaron las piezas de ensayo grandes. Para el ensayo del horno de cinta, la pieza de ensayo se ajustó al ancho máximo del horno. Para los otros materiales se utilizaron 2-6 tamaños diferentes de piezas de ensayo, pero todo aplicado con 0,05 mg/mm² de silicio y boro.

Las piezas de ensayo se presoldaron según los siguientes ciclos de soldadura previa:

- VC1(T)-Ciclo de vacío, donde T es la temperatura máxima, tiempo de mantenimiento 1 h a temperatura máx.
VC2(T)-Ciclo de vacío, donde T es la temperatura máxima, tiempo de mantenimiento 2 h a temperatura máx.
BF(T, t)-Ciclo de horno de cinta en atmósfera de hidrógeno, donde T es la temperatura máxima y t es el tiempo aproximado a temperatura máx.

Los ciclos de presoldadura que se realizaron fueron:

Ensayos de Níquel tipo 200, Monel 400 y Hastelloy C2000,

- 1) ciclo VC1(1100 °C)

Ensayos de acero inoxidable tipo 316

- 2) ciclo VC2(1040 °C)
- 3) ciclo VC2(1060 °C)
- 4) ciclo VC2(1070 °C)
- 5) ciclo VC2(1080 °C)
- 6) ciclo VC2(1090 °C)
- 7) ciclo VC2(1100 °C)
- 8) ciclo VC2(1110 °C)
- 9) ciclo VC2(1120 °C)
- 10) ciclo VC2(1130 °C)
- 11) ciclo VC2(1140 °C)
- 12) ciclo VC2(1160 °C)
- 13) ciclo VC2(1180 °C)
- 14) ciclo VC2(1200 °C)
- 15) ciclo BF(1100 °C, 10 min)
- 16) ciclo BF(1130 °C, 10 min)

Análisis de sección transversal de las piezas de ensayo.

Las secciones transversales de todos los materiales pretratados se analizaron usando SEM-EDX (Microscopio de barrido electrónico-Espectroscopía de dispersión de energía). En las secciones transversales se analizó la composición para la capa de aleación de soldadura obtenida. Se midió el contenido de silicio en función de la profundidad desde la superficie de la placa donde se había aplicado la mezcla. Los resultados del análisis se resumen en la Tabla 16.

Tabla 16

Ensayo N.º	Contenido de silicio a diferentes profundidades de la superficie de la capa de aleación de soldadura [% en peso]							
	15 µm	30 µm	45 µm	60 µm	75 µm	90 µm	105 µm	120 µm
1) Ni 200	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	2-3	2-3	2-3
1) Monel 400	1,5-5	1,5-5	1,5-5	1,5-5	1,5-5	<0,3	<0,3	<0,3
1) C2000	3-6	3-6	3-6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
2) 316	5-6	5-6	5-6	5-6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
3) 316	5-6	5-6	5-6	5-6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
4) 316	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	<0,6	<0,6	<0,6
5) 316	5-7	5-7	5-7	5-7	5-7	<0,6	<0,6	<0,6
6) 316	5-6	5-6	5-6	5-6	5-6	<0,6	<0,6	<0,6
7) 316	4-6	4-6	4-6	4-6	4-6	<0,6	<0,6	<0,6
8) 316	5-7	5-7	5-7	5-7	5-7	<0,6	<0,6	<0,6
9) 316	4-7	4-7	4-7	4-7	4-7	4-7	4-7	<0,6
10) 316	4-8	4-8	4-8	4-8	4-8	<0,6	<0,6	<0,6
11) 316	3-8	3-8	3-8	3-8	3-8	<0,6	<0,6	<0,6
12) 316	4-7	4-7	4-7	4-7	4-7	<0,6	<0,6	<0,6
13) 316	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	<0,6	<0,6	<0,6
14) 316	3-6	3-6	3-6	3-6	3-6	<0,6	<0,6	<0,6
15) 316	4-9	4-9	4-9	4-9	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6

Los resultados de los ensayos muestran que hay capas formadas sobre los materiales precursores. Los contenidos de silicio son intervalos aproximados, pero difieren sustancialmente del contenido de silicio en el material precursor, es decir, menos del 0,6 % en peso. Los resultados de los ensayos muestran que la temperatura tiene efecto en la capa de aleación de soldadura formada, pero los resultados dependen más del tipo de material precursor.

Análisis magnético y análisis de forma para los materiales 316 pretratados

Se analizaron dos de los materiales pretratados, n.º 7, VC (1100 °C) y n.º 15 BF (1100 °C, 10 min). Ambas muestras pretratadas mostraron propiedades magnéticas para la capa superficial, claramente diferente del material principal, el acero inoxidable no magnético tipo 316. Las propiedades magnéticas se confirmaron ya que fue posible levantar las muestras pretratadas pero no las "muestras no tratadas" con un imán permanente. También se cambió la forma de las muestras pretratadas. Al inspeccionar las placas pretratadas oculares, se confirmó que las placas estaban dobladas con la superficie pretratada hacia afuera para la superficie convexa creada. Esto también significa que si el material no tiene la posibilidad de deformarse (como en este caso, una placa delgada), o si el material se trata previamente en ambos lados, estarán presentes tensiones de presión en la superficie. Las tensiones de presión pueden, por ejemplo, aumentar las propiedades de fatiga por presión.

Ensayos de dureza superficial:

5 Las capas superficiales de aleación de soldadura obtenidas se ensayaron para determinar su dureza. Las muestras que se analizaron fueron Níquel tipo 200, Monel 400, Hastelloy C2000, Acero inoxidable tipo 316 de la muestra de ensayo 15 BF (1100 °C, 10 min) y acero inoxidable tipo 316 de la muestra de ensayo 16 BF (1130 °C, 10 min) aplicados con A3,3 hecho con Si y B y A3,3 hecho con Si y B₄C. Los resultados se resumen en la Tabla 17.

Tabla 17

Monel 400, VC1 (1100 °C), aplicado con A3,3	
HV 0,05	Profundidad desde la superficie de aleación de soldadura [µm]
660	29
660	47
310	62
278	105
258	203
224	217
210	262
Níquel 200, VC1 (1100 °C), aplicado con A3,3	
HV 0,05	Profundidad desde la superficie de aleación de soldadura [µm]
401	14
396	29
258	47
221	83
234	126
Hastelloy 2000, VC1 (1100 °C), aplicado con A3,3	
HV 0,05	Profundidad desde la superficie de aleación de soldadura [µm]
441	15
404	25
288	50
267	77
255	92
241	119
244	161
SS Tipo 316 BF (1100 °C, 10 min), aplicado con A3,3	
HV 0,05	Profundidad desde la superficie de aleación de soldadura [µm]
374	26
298	33
330	44
277	77
274	108
SS Tipo 316 BF (1130 °C, 10 min), aplicado con A3,3 con B elemental	
HV 0,05	Profundidad desde la superficie de aleación de soldadura [µm]
787	14
277	29
228	48
201	96
178	151
231	218
SS Tipo 316 BF (1130 °C, 10 min), aplicado con A3,3 con B ₄ C	
HV 0,05	Profundidad desde la superficie de aleación de soldadura [µm]
909	17
589	48
261	53
253	77
227	134
213	168

(continuación)

HV 0,05	Profundidad desde la superficie de aleación de soldadura [μm]
SS Tipo 316 VC2 (1100 °C), aplicado con A3,3	
1049	22
509	32
326	52
265	69
229	105
207	168
SS Tipo 316 VC2 (1200 °C) aplicado con A3,3	
HV 0,05	Profundidad desde la superficie de aleación de soldadura [μm]
532	18
261	38
243	61
224	80
222	128
229	169

Resultados:

- 5 Los ensayos de dureza muestran que la dureza de la capa de aleación de soldadura es más dura que los materiales originales. Todos los materiales ensayados tienen una dureza inferior a aproximadamente 300 HV0,05 después de un ciclo de pretratamiento térmico o un ciclo de soldadura. La dureza de la capa superficial y el material primario se midió desde la superficie original del material precursor hasta una profundidad de 200 μm. El aumento de los valores de dureza correlacionó con el aumento medido anteriormente en Si en la capa superficial, la aleación de soldadura.
- 10 Los ensayos también muestran que la dureza es más alta en la superficie que cerca de los materiales principales.

Ejemplo 12 Ensayos de soldabilidad

- 15 En este ejemplo, se ensayaron las capas de aleación de soldadura obtenidas del ejemplo 11, tal como las muestras números 2 a 14. Se ensayó una muestra adicional y fue la muestra número 17, en donde el material fue SS tipo 316 sin tratar con mezcla aplicada. Los ensayos se llevaron a cabo con el propósito de descubrir si se podía crear una junta de soldadura entre un sustrato que tuviera una capa de aleación de soldadura y otro sustrato sin ninguna capa de aleación de soldadura.
- 20 Las piezas de ensayo fueron placas SS tipo 316, y los ensayos de soldadura se realizaron en ciclos de soldadura normales. El ensayo se realizó colocando la placa de ensayo pretratada con la capa de aleación de soldadura hacia arriba. Una placa prensada circular sin ninguna aleación de soldadura, véase la Figura 1, se colocó encima de la placa de ensayo pretratada en la capa de aleación de soldadura. Se aplicó un peso sobre la placa prensada circular para mantenerla en contacto con la placa de ensayo pretratada. La muestra de la placa de ensayo se expuso luego a un ciclo VC1 (T) al vacío a una temperatura de 1210 °C. El resultado se presenta como el tamaño del área de soldadura en función de la temperatura de pretratamiento. Las muestras se cortaron a través de la placa prensada circular y el ancho del centro de la junta obtenida se midió según la Figura 2. En la Tabla 18 se resume el ancho central promedio de cada muestra de ensayo.

30

Tabla 18

Muestra N.º	Temperatura de pretratamiento [°C]	Anchura central [mm]
1	1000	2,56
2	1040	2,45
3	1060	2,53
4	1070	2,53
5	1080	2,18
6	1090	2,14
7	1100	2,25
8	1110	1,99
9	1120	1,91
10	1130	2,25
11	1140	1,21
12	1160	1,87
13	1180	0,78
14	1200	0,00

Los resultados de estos ensayos muestran que cuanto mayor es la temperatura de presoldadura, menos se suelda la junta, es decir, la capa de aleación de soldadura de las muestras presoldadas pierde la propiedad de soldar las juntas. La anchura central pequeña es el resultado de una baja propiedad de soldadura. Al perder la propiedad de soldadura, las muestras presoldadas no pueden usarse para la soldadura sin agregar una aleación de soldadura o agregar una mezcla adicional de boro y silicio después de la etapa de presoldadura. La temperatura crítica depende del material precursor. Si el material precursor tiene un alto punto de fusión, entonces la capa de aleación de soldadura obtenida podría tener propiedades de soldadura a una temperatura de presoldadura más alta.

Ejemplo 13 Ensayos de tracción

Seis materiales precursores diferentes se ensayaron en el Ejemplo 13. Las muestras de ensayo se aplicaron con diferentes mezclas, las mezclas fueron A3,3, B2 y C1, todo hecho con Si y B como fuentes depresoras del punto de fusión, en una laca de Akzo Nobel (si no se dice nada más). Se aplicaron grandes piezas de ensayo de materiales precursores, es decir, 323 mm x 123 mm de tamaño, con mezclas. Un peso total de 2 g calculado sobre silicio y boro en la mezcla sin aglutinante, es decir, laca en cada pieza de ensayo grande, se aplicó a las piezas de ensayo grandes. La cantidad calculada de silicio y boro corresponde a aproximadamente 0,05 mg/mm².

Las muestras fueron de los siguientes materiales precursores:

1. SS Tipo 316 grosor 0,4 mm
2. Ni tipo 200 grosor 0,45 mm
3. Monel 400 grosor 1,0 mm
4. SS Tipo 254SMO grosor 0,4 mm
5. Acero dulce grosor 0,4 mm con un contenido de hierro > 97 % en peso
6. Hastelloy C2000 grosor 0,5 mm

En este ejemplo, las muestras de materiales estratificados de aleación de soldadura se ensayaron según el Ejemplo 11, muestra 1 (Hastelloy C2000).

En estos ensayos, se cortaron dos piezas para cada muestra de ensayo de tracción. Una de las piezas de ensayo se cortó de una placa no tratada del mismo material precursor que para la pieza pretratada, es decir, la pieza estratificada de aleación de soldadura, véase el ejemplo 11, o con una superficie aplicada con la mezcla A3,3 dispersa en una laca de Akzo Nobel. El tamaño de las piezas de ensayo fueron, 41-45 mm de longitud, y 11,3-11,7 mm de ancho. Cada pieza de ensayo se dobló en el medio, utilizando una herramienta de prensado. La forma de la parte superior de la herramienta de prensado era una placa de 3 mm de grosor de aproximadamente 150 mm de largo. La parte inferior de la herramienta está hecha de una placa gruesa con una "ranura mecanizada" con un radio de 1,9 mm. Al presionar, la pieza de ensayo se aplicó a la herramienta de prensado inferior con la superficie pretratada hacia abajo, donde después se presionaron/doblaron las placas en el medio de la longitud cuando se presionaron. A veces se hizo una flexión adicional a mano después del prensado, por ejemplo, si el material tenía un resorte grande hacia atrás o era "demasiado grueso".

Fijación de las muestras

Se colocó una primera pieza de ensayo doblada con la superficie pretratada o la superficie aplicada con la superficie tratada hacia arriba cuando se colocó sobre una placa de 1 mm (22 x 22 mm) con propiedades "no humectantes". Esta placa junto con la primera pieza de ensayo doblada se montó luego en la diagonal de un tubo que tenía una sección transversal cuadrada. Las dimensiones del tubo eran 17 x 17 mm en el interior y 20 x 20 mm en el exterior. El grosor del tubo era de aproximadamente 1,4 mm y la altura de 55 mm.

Se colocó una segunda pieza de ensayo doblada sin tratar que la parte curva de la segunda pieza de ensayo se colocó encima de la parte curva de la primera pieza de ensayo doblada. La segunda pieza de ensayo se colocó en el tubo en dirección perpendicular a la primera pieza de ensayo creando una pequeña área de contacto entre las dos piezas. Las muestras fijadas se calentaron luego en un ciclo VC1(1210 °C).

Ensayos de tracción

Las muestras de ensayo soldadas se montaron después de la soldadura en una máquina de ensayo de tracción "Sistema de ensayo automatizado de materiales de la serie IX de Instron Corporation". La velocidad de la cruceta fue de aproximadamente 1 mm/min. La carga se midió en kN. Los resultados del ensayo de tracción, tanto para las muestras pretratadas (PRE) como para las muestras no pretratadas se resumen en la Tabla 19.

Tabla 19

Hastelloy C 2000	
Muestra	Carga media a carga máxima [kN]
Producto estratificado de aleación de soldadura	1,144
Laca A3,3	1,330
Laca B2	1,214
Laca C1	1,325
Ni tipo 200	
Producto estratificado de aleación de soldadura	0,359
Laca A3,3	0,360
Monel 400 (1140 °C)	
Producto estratificado de aleación de soldadura	1,522
Laca A3,3	1,487
SS Tipo 254SMO	
Producto estratificado de aleación de soldadura	1,525
Laca A3,3	1,298
Laca C1	0,802
SS Tipo 316	
Ciclo BF(T,t) de producto estratificado de aleación de soldadura (realizado en hidrógeno (atm) a una temperatura de 1100 °C)	1,166
Laca A3,3	1,693
Laca B2	1,602
Laca C1	1,565

- 5 La Tabla 19 muestra que las juntas con soldadura de las muestras con una capa de aleación de soldadura tienen una resistencia a la tracción comparable a las uniones con soldadura de las muestras, que tienen una mezcla de silicio y boro dispersa en un aglutinante aplicado a la superficie. Los resultados de estos ensayos muestran, por tanto, que la selección del método de soldadura puede depender de otros aspectos además de la resistencia a la tracción esperada de las juntas producidas.

REIVINDICACIONES

1. Una mezcla mecánica de al menos un polvo de una fuente de silicio, en la que cada partícula es de una fuente de silicio, y al menos un polvo de una fuente de boro, en la que cada partícula es de una fuente de boro, y
5
 - en donde las partículas en los polvos tienen un tamaño medio de partícula inferior a 250 μm ,
 - en donde la mezcla comprende boro y silicio en una relación en peso de boro con respecto a silicio dentro de un intervalo de 5:100 a 2:1,
 - en donde el silicio y el boro están presentes conjuntamente en la mezcla en al menos el 25 % en peso, y
 - 10
 - en donde la al menos una fuente de boro y la al menos una fuente de silicio están exentas de oxígeno excepto por cantidades inevitables de oxígeno contaminante, y en donde la cantidad inevitable de oxígeno contaminante es inferior al 5 % en peso.
2. La mezcla según la reivindicación 1, en donde al menos una fuente de silicio se selecciona del grupo que consiste en silicio elemental, una aleación que contiene silicio, y un compuesto que contiene silicio y en donde al menos una fuente de boro se selecciona del grupo que consiste en boro elemental, una aleación que contiene boro y un compuesto que contiene boro.
3. La mezcla según una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en donde la fuente de boro es diferente de la fuente de silicio.
4. La mezcla según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la fuente de boro se selecciona de boro elemental, carburos de boro, boruros de níquel y boruros de silicio, y la fuente de silicio se selecciona de silicio elemental, ferrosilicio, siliciuros de hierro, carburos de silicio y boruros de silicio.
5. Una composición que comprende una mezcla según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.
6. La composición según la reivindicación 5, en donde la composición comprende además polvos de un material precursor, en donde el material precursor está presente en una cantidad inferior al 75 % en peso calculada sobre el peso total de silicio, boro y material precursor.
7. La composición según las reivindicaciones 5 o 6, en donde la composición comprende además polvos de una aleación de soldadura.
8. La composición según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en donde la composición comprende además al menos un aglutinante seleccionado de disolventes, agua, aceites, geles, lacas, barniz, polímeros, cera o combinaciones de los mismos, preferentemente el al menos un aglutinante se selecciona de poliésteres, polietilenos, polipropilenos, polímeros acrílicos, polímeros (met)acrílicos, alcoholes polivinílicos, poli(acetatos de vinilo), poliestirenos, ceras, o combinaciones de los mismos y en donde la mezcla está dispersa en el al menos un aglutinante.
9. La composición según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, en donde la composición es una pintura, o la composición es una pasta, o la composición es una dispersión.
10. Un producto que comprende una composición según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 9, y un sustrato, en donde dicho sustrato comprende un material precursor que tiene una temperatura de *solidus* superior a 1100 °C, y en donde al menos una parte del sustrato tiene una capa superficial de la composición.
11. El producto según la reivindicación 10, en donde la cantidad total media de silicio y boro de la capa superficial es inferior a 1 mg/mm².
12. El producto según las reivindicaciones 10 u 11, en donde el material precursor se selecciona del grupo que consiste en aleaciones basadas en hierro, aleaciones basadas en níquel, aleaciones basadas en cromo, aleaciones basadas en cobalto y aleaciones basadas en cobre que tienen un punto de fusión de al menos 1100 °C.
13. El producto según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en donde el material precursor 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, de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 8 % en peso de molibdeno, y equilibrado con hierro.
14. El producto según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en donde el material precursor comprende al menos del 80 % en peso de Ni.
15. El producto según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en donde el material precursor comprende más del 50 % en peso de Fe, menos del 13 % en peso de Cr, menos del 1 % en peso de Mo, menos del 1 % en

peso de Ni y menos del 3 % en peso de Mn.

16. El producto según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en donde el material precursor comprende más del 10 % en peso de Cr y más del 60 % en peso de Ni.

17. El producto según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en donde el material precursor comprende más del 15 % en peso de Cr, más del 10 % en peso de Mo y más del 50 % en peso de Ni.

18. El producto según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en donde el material precursor comprende más del 10 % en peso de Fe, del 0,1 al 30 % en peso de Mo, del 0,1 al 30 % en peso de Ni y más del 50 % en peso de Co.

19. Un método para fabricar un producto estratificado de aleación de soldadura, método que comprende las siguientes etapas:

- aplicar una composición según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 9 sobre un sustrato;
- calentar el sustrato aplicado a una temperatura inferior a la temperatura de *solidus* del sustrato para obtener una capa de fase fundida de aleación de soldadura; y
- enfriar el sustrato que tiene la fase fundida de aleación de soldadura para obtener un producto estratificado de aleación de soldadura, en donde la temperatura durante el calentamiento adicional es mayor que la temperatura de *solidus* de la aleación de soldadura obtenida.

20. Un método para proporcionar un producto que tiene al menos una junta con soldadura entre áreas de contacto entre sustratos, comprendiendo dicho método las siguientes etapas:

- aplicar una mezcla mecánica de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 sobre al menos un sustrato;
- ensamblar el al menos un sustrato con al menos un sustrato adicional, de modo que estén presentes al menos una fuente de silicio y al menos una fuente de boro entre las áreas de contacto de los sustratos;
- calentar los sustratos ensamblados a una temperatura de soldadura inferior a 1250 °C, en un horno al vacío, en un gas inerte, en atmósfera reductora, o combinaciones de los mismos; y
- enfriar los sustratos ensamblados para obtener el producto que tiene al menos una junta con soldadura entre las áreas de contacto de los sustratos.

21. El método según la reivindicación 20, en donde la fuente de silicio y la fuente de boro están dentro de la misma mezcla y el silicio y el boro están presentes en la mezcla dentro del intervalo del 25 % en peso al 100 % en peso, y que la mezcla es una mezcla mecánica de polvos.

22. El método según la reivindicación 20, en donde la fuente de silicio y la fuente de boro son la misma fuente, preferentemente la fuente son boruros de silicio.

23. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 20 a 22, en donde la etapa de aplicación comprende aplicar una composición según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 9 sobre al menos una parte de una superficie sobre al menos un sustrato.

24. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 20 a 23, en donde la etapa de calentamiento comprende calentar los sustratos ensamblados, obtener una aleación de soldadura fundida sobre el sustrato o sustratos y dejar que la aleación de soldadura fundida se transfiera mediante fuerzas de capilaridad a las áreas de contacto entre los sustratos.

25. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 20 a 24, en donde la etapa de calentamiento comprende calentar el producto a una temperatura de al menos 900 °C.

26. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 20 a 25, en donde el método comprende una primera etapa adicional después de la etapa de aplicación, la primera etapa adicional comprende calentar el producto de la etapa de aplicación a una temperatura que permita obtener una capa de aleación de soldadura sobre el sustrato, y enfriar el sustrato obtenido que tiene la capa obtenida de aleación de soldadura.

27. El método según la reivindicación 26, en donde el método comprende una segunda etapa adicional, en donde la segunda etapa adicional comprende el corte o la conformación o combinaciones de los mismos del sustrato que tiene la capa obtenida de aleación de soldadura.

28. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 20 a 27, en donde el producto con soldadura obtenido que tiene al menos una junta con soldadura se selecciona de intercambiadores de calor, reactores de placa, partes de reactores, partes de separadores, partes de decantadores, partes de bombas, partes de válvulas.

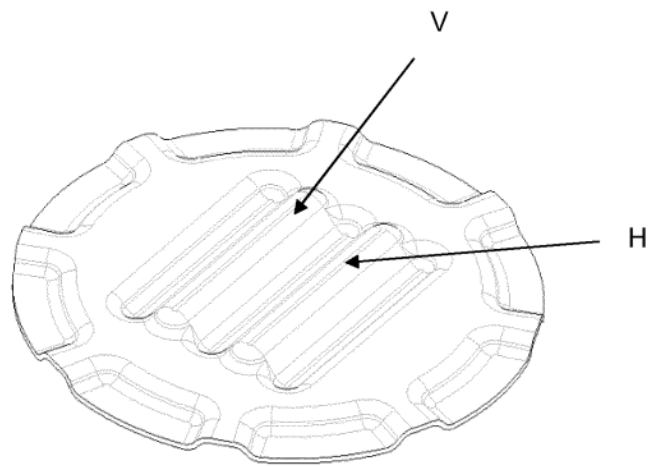


Figura 1

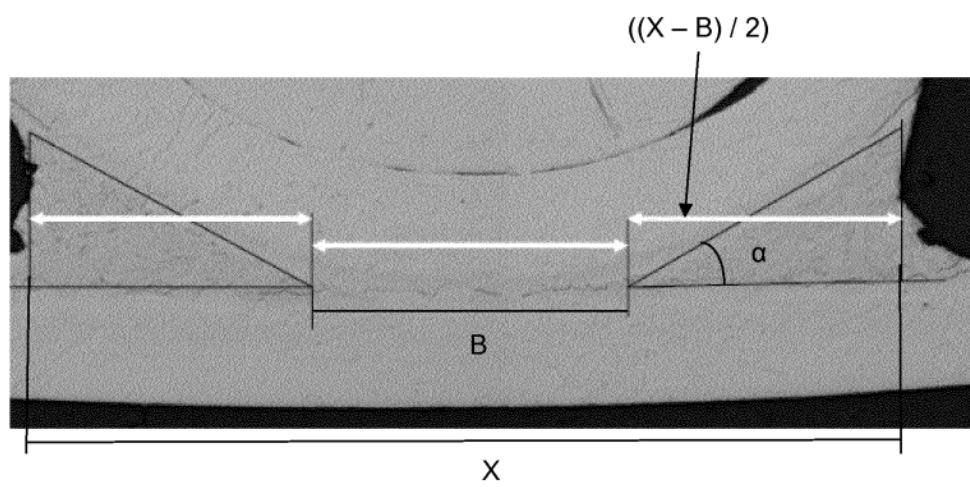


Figura 2

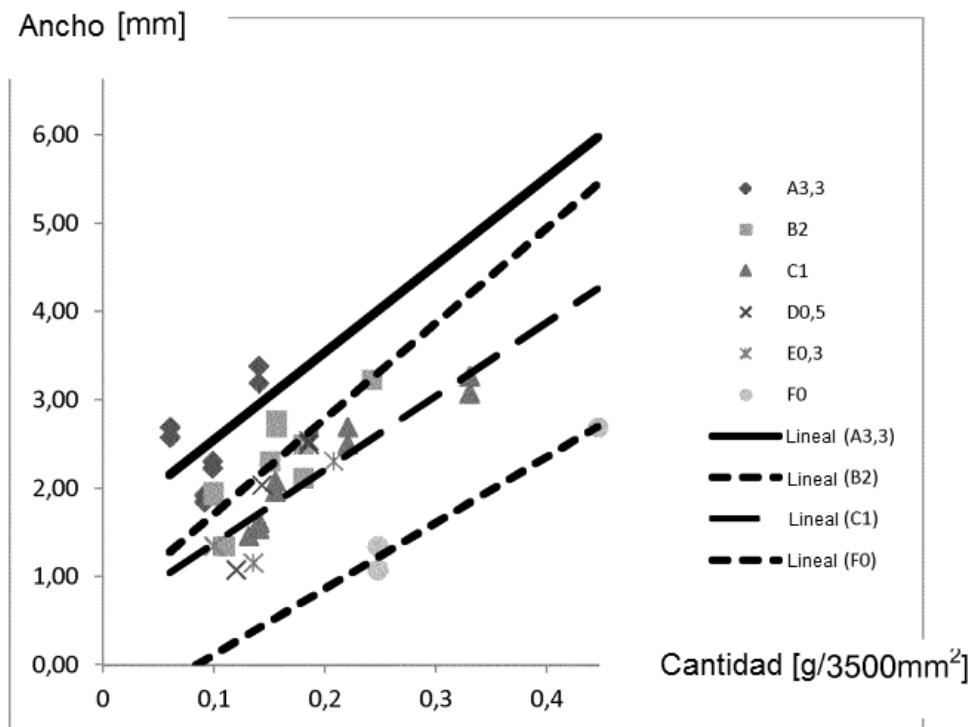


Figura 3

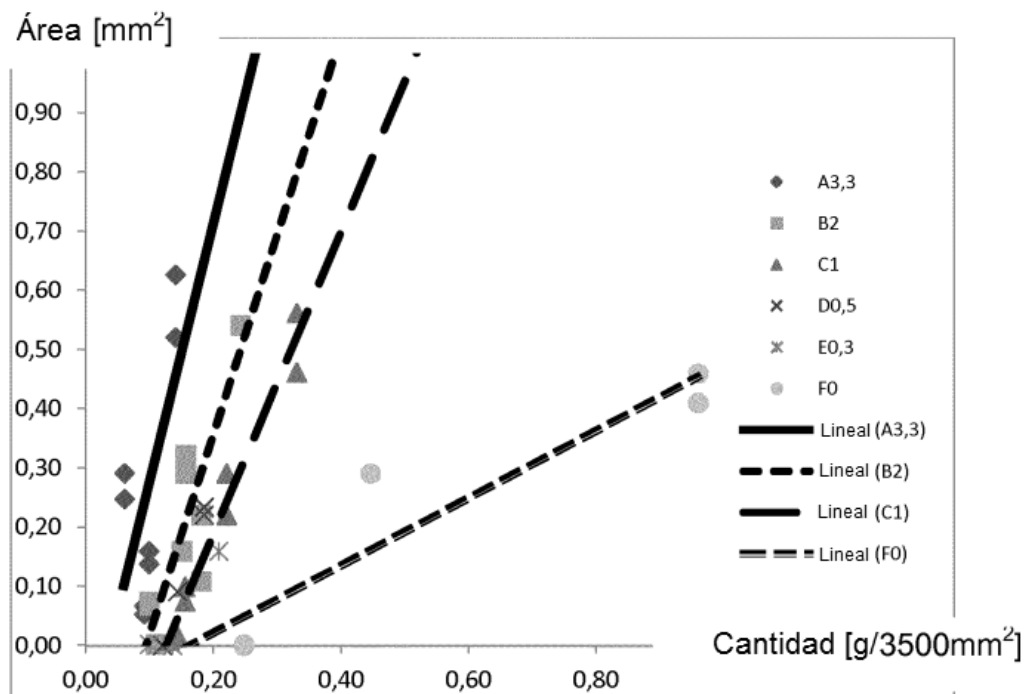


Figura 4

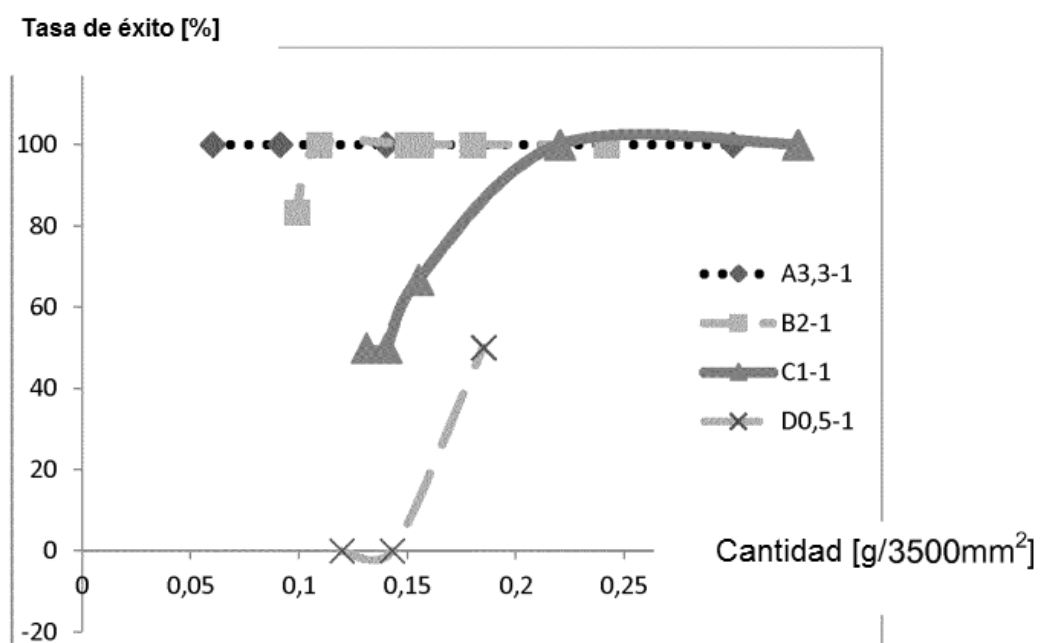


Figura 5

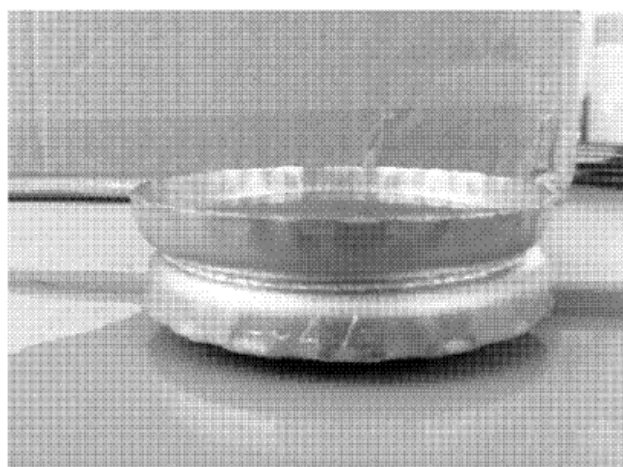


Figura 6