

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 663 693**

51 Int. Cl.:

B23K 15/00 (2006.01)
B23K 26/24 (2014.01)
B23K 26/26 (2014.01)
B23K 26/32 (2014.01)
B23K 26/30 (2014.01)
B23K 31/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.11.2013 PCT/GB2013/053004**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.05.2015 WO15071621**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.11.2013 E 13798375 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.02.2018 EP 3068574**

54 Título: **Método de soldadura de una primera y una segunda pieza de trabajo metálica con pulverización en frío de una capa del material de modificación de la soldadura a una de las superficies**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.04.2018

73 Titular/es:
THE WELDING INSTITUTE (100.0%)
Granta Park Great Abington
Cambridge CB21 6AL, GB

72 Inventor/es:
MITCHELL, TIMOTHY PHILLIP y
SMITH, SULLIVAN MANNING

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 663 693 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método de soldadura de una primera y una segunda pieza de trabajo metálica con pulverización en frío de una capa del material de modificación de la soldadura a una de las superficies

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un método de soldadura de una primera y una segunda piezas de trabajo metálicas y delgadas (véase por ejemplo el Documento de Patente de los EE.UU. de Número US4665294A), particularmente con vistas a producir soldaduras con tendencia reducida al agrietamiento. La invención incluye métodos para soldar aleaciones sensibles a las grietas, tales como aleaciones de aluminio, usando diversas técnicas de soldadura que incluyen haces de energía, junto con preformas asociadas y métodos para incorporar estas en un
10 automóvil, o a otros conjuntos.

Antecedentes de la invención

El agrietamiento por solidificación ocurre cuando se sueldan varias aleaciones de metal debido a la incapacidad del metal líquido para llenar los espacios entre el metal de soldadura que se solidifica. Esto se puede deber a que la deformación del baño de soldadura es demasiado alta (resistencia insuficiente en la soldadura para resistir las
15 tensiones por retracción) y/o que no hay suficiente líquido o metal líquido que sea capaz de penetrar en los espacios entre el metal de soldadura que se solidifica. Estos espacios se abren luego por las tensiones de retracción. En las soldaduras llevadas a cabo a altas velocidades de desplazamiento, se forma un baño de soldadura con forma de lágrima relativamente larga. El enfriamiento y la solidificación de la cola del baño de soldadura es difícil de alimentar desde el frente caliente y líquido, especialmente en aleaciones que contienen fases con amplios intervalos de
20 solidificación. En la Figura 1 se ilustra una grieta de soldadura. En la presente invención se solapa una primera pieza de trabajo en forma de placa 101 con una segunda pieza de trabajo en forma de placa 102. Se ha usado una soldadura 103 para unir las piezas de trabajo 101, 102. Sin embargo, se puede ver una grieta 104 importante en la zona de soldadura.

Tomando un ejemplo práctico, las aleaciones de aluminio de la serie "6xxx" son bien conocidas en la técnica y, en términos generales, son aleaciones de aluminio que contienen magnesio y silicio. Estas aleaciones se usan debido a sus ventajosas propiedades de tratamiento térmico y de mecanizado, que permiten el conformado de paneles relativamente fuertes y con un acabado superficial atractivo, entre otras aplicaciones. La susceptibilidad al agrietamiento es un problema bien conocido cuando se usa la soldadura por haz de energía con aleaciones de aluminio de la serie 6xxx. Para evitar el agrietamiento, a menudo se modifica la composición del metal de soldadura mediante la adición de un material relleno de la serie 4xxx, en forma de alambre o lámina. Sin embargo, al soldar
30 conjuntos complejos, los materiales de relleno convencionales pueden ser difíciles de introducir debido a un acceso limitado o, en el caso de los procesos por haz de energía, las potencialmente altas velocidades del proceso se pueden ver limitadas por la necesidad de introducir materiales de relleno, láminas o cuñas en línea, lo que hace que los procesos sean comercialmente poco atractivos. Reemplazar mayoritariamente las aleaciones de la serie 6xxx por las de la serie 4xxx no es conveniente; aunque las aleaciones de Al-Si tales como las de la serie 4xxx son aleaciones de colada bien conocidas con alta resistencia al desgaste, un bajo coeficiente de expansión térmica, buena resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas mejoradas en un amplio intervalo de temperaturas, y no son particularmente buenas por su maquinabilidad y otras características.

Las aleaciones de aluminio 6016, 6061 y 6082 son representativas de materiales que son sensibles a las grietas cuando se sueldan sin la adición del material de relleno apropiado. El uso de la aleación de aluminio 4047, u otras aleaciones de aluminio y silicio introducidas en la soldadura como alambre o lámina, puede eliminar el agrietamiento por solidificación en estas aleaciones debido al alto contenido de silicio.

La nomenclatura usada en la presente invención para representar los tipos de aleación de aluminio es según el Sistema Internacional de Designación de Aleaciones, tal como apreciarán los expertos en la técnica. El primer dígito representa la 'serie', mientras que los tres siguientes representan la aleación específica. Donde se use 'xxx', esto indica que se pueden sustituir varias aleaciones de la serie.

Los métodos de soldadura por haz de energía, por ejemplo, usando un haz de electrones o láser, se usan comúnmente para unir una amplia gama de materiales, incluidos los metales. Estos son procesos versátiles, basados en la fusión, que han encontrado una serie de aplicaciones en la industria; desde la soldadura de carrocerías y paneles de fuselaje de aeronaves hasta la soldadura de estructuras de construcción naval. Estos procesos se pueden usar para soldar una variedad de materiales, incluidos aceros al carbono, aceros inoxidables, titanio, aluminio y aleaciones de níquel.

La soldadura por Haz de Electrones (EB, por sus siglas en inglés) funde localmente el material en la interfaz de las dos piezas, formando una unión de alta integridad, normalmente "autógena", después de la solidificación. Por lo general, la soldadura por EB (por sus siglas en inglés) (pero no exclusivamente) tiene lugar en un entorno limpio por aspiración, puede trabajar desde largas distancias de separación y con una amplia gama de materiales y de espesores de piezas de trabajo.

Debido a su naturaleza cargada, los haces de electrones se pueden manipular a velocidades increíblemente altas usando bobinas magnéticas para efectuar múltiples soldaduras de manera simultánea. Un haz de electrones enfocado es muy intenso, y produce una alta relación de aspecto (ancho de soldadura estrecha:profundidad de soldadura grande) y a menudo se elige cuando se deben evitar el daño térmico y la distorsión excesiva, o se deben soldar secciones gruesas en una sola pasada. El proceso es ideal para muchas aplicaciones de aleación de aluminio, tales como complicados ensambles de intercambiadores de calor. En ciertas combinaciones de materiales, se logran velocidades de desplazamiento de soldadura mayores de 30 metros por minuto.

La soldadura por láser es un proceso de unión sin contacto, de línea de visión, caracterizado por su altamente enfocada densidad de energía, que es capaz de producir soldaduras de alta relación de aspecto en muchos materiales, incluidos los metales. Se puede realizar a presión atmosférica, aunque se requiere el blindaje con un gas inerte para los materiales más reactivos. Además, la soldadura por láser es de una relativamente baja aportación de calor, especialmente cuando se compara con los procesos de soldadura por arco.

Ambos procesos pueden producir haces que se pueden enfocar a puntos de diámetro de tamaño sub-milimétrico, permitiendo que se apliquen altas densidades de energía a la unión. Estas densidades de energía son suficientes para formar una soldadura de "ojo de cerradura" debajo del punto de incidencia del rayo láser. La alta productividad puede provenir de las rápidas velocidades de procesamiento que se pueden usar en materiales más delgados, o del hecho de que sólo se necesita una pasada para hacer una soldadura de penetración profunda en materiales más gruesos. Estas ventajas de productividad combinadas con la soldadura automática se pueden usar en operaciones de soldadura autónomas, repetibles y fiables. Dado que los aportes de calor son normalmente de un orden de magnitud menor que los aportes de los procesos de soldadura por arco, la soldadura por láser también es atractiva cuando se sueldan componentes que requieren una mínima distorsión térmica o cuando los materiales favorecen un bajo aporte de calor.

El uso industrial de la soldadura por láser se basa en requisitos tales como producción de alto volumen, alta calidad de soldadura y/o baja distorsión de soldadura. Una implementación especialmente flexible y de alta velocidad de la soldadura por láser es a través del uso de sistemas de galvanómetro de espejo para soldadura por láser de barrido. La soldadura con un haz de láser de barrido (denominado comúnmente como soldadura remota) es cada vez más popular para fabricar artículos de acero, debido a su alta fiabilidad y extremadamente alta velocidad de producción (se usan fácilmente velocidades de soldadura > 20 m/min).

Los cierres en estructuras de automóviles incluyen las piezas principales 'colgantes'; puertas, maletero y capó. Estas piezas generalmente se ensamblan fuera de la línea, y sólo se integran a la carrocería del automóvil hacia el final de la línea de producción. Por razones ambientales y de rendimiento del vehículo, la industria del automóvil está buscando lograr un ahorro de peso y una mejorada vida de corrosión mediante la adopción del aluminio para muchas de estas piezas 'colgantes'. En la actualidad, los métodos de unión predominantes para los cierres de aluminio son el remachado autoperforante, el remachado o el dobladillado en combinación con la unión adhesiva. Lamentablemente, estos enfoques son lentos. Además, la aplicación de los adhesivos puede ser complicada y problemática. En ciertos casos, el uso de adhesivo está limitado debido a la naturaleza tóxica de los epóxidos usados.

La soldadura con un haz de energía de alta velocidad no se puede aplicar en la actualidad con éxito a artículos de aluminio de la serie 6xxx, ya que la mayoría de los procesos de haz de energía de alta velocidad son de naturaleza autógena, y es difícil añadir materiales de relleno en línea y evitar el agrietamiento, como se describió anteriormente. Es posible evitar el agrietamiento mediante la adición de un material de relleno que contiene silicio, que altera la composición de la zona de soldadura a un estado "no sensible a las grietas". Desafortunadamente, con respecto a las adiciones del material de relleno, la soldadura remota depende de una gran distancia de separación desde el escáner a la pieza de trabajo, y esto combinado con las altas velocidades de proceso, hace imposible el uso de alambres de material de relleno aplicados de forma convencional.

Se ha propuesto una solución parcial a este problema usando un proceso de colada en 3 piezas para producir una chapa con núcleo de aleación de la serie 6xxx con superficies externas de la serie 4xxx (12 % Si). Cuando se suelda, la superficie externa se mezcla en la zona de soldadura evitando su agrietamiento. Una desventaja de este proceso es que la totalidad del área superficial de la lámina es una aleación de la serie 4xxx, lo que conduce a un peso adicional, una conformabilidad reducida y unas propiedades mecánicas desfavorables. El alto costo de este enfoque de colada en 3 piezas también es una barrera importante para la aceptación, especialmente en mercados sensibles a los costos, como es el mercado del automóvil.

Han habido otras propuestas para abordar este problema del agrietamiento al soldar ciertas aleaciones de aluminio.

El Documento de Patente de los EE.UU. de Número US6932879B describe un método de unión adhesiva de piezas de trabajo solapadas con inclusiones que mantienen espacios para la liberación de los gases durante la soldadura. Esto incluye la adición de aditivos ricos en silicio reductores de grietas para la soldadura de 6xxx, ya sea en el adhesivo o en la superficie de la pieza de trabajo en forma de polvo, suspensión, alambre, tableta, cinta o lámina. Los métodos divulgados en esta publicación tienen las mismas limitaciones que los adhesivos, como se explica a continuación.

El Documento de Patente de los EE.UU. de Número US4665294A describe el uso de una cuña de un material de relleno o de una aleación de aluminio 4047 para soldar carcasas electrónicas de aluminio 6061, el uso de una tapa de 4047 unida a una carcasa de 6061, y el uso de una suspensión que contiene silicio. Esta publicación también describe un sistema para proporcionar un metal aleado en forma de polvo fino (específicamente silicio de alta pureza) usando pulverización electrostática a la superficie de un aluminio 5052 o de la serie 6xxx antes de la soldadura por láser o por EB (por sus siglas en inglés).

La pulverización electrostática usa una pistola pulverizadora que imparte una carga eléctrica a las partículas pulverizadas de polvo, mientras que el sustrato que se va a revestir está conectado a tierra. Este proceso conlleva varias desventajas significativas, incluida la formación inconsistente del revestimiento debido a la acumulación de cargas, el espesor limitado de capa y la mala adhesión, que limita las operaciones de almacenamiento y de mecanizado antes de la soldadura. En aplicaciones particulares, la adhesión de las partículas es crucial. Por ejemplo, en el taller de carrocería del automóvil, las partículas sueltas sobrantes son altamente indeseables y pueden conducir a paneles mal acabados que son más propensos a problemas de corrosión (por ejemplo, corrosión galvánica en servicio). Es notable que el silicio depositado electrostáticamente en esta descripción no es un metal verdadero (el silicio es un metaloide). Es fortuito que el silicio sea beneficioso para evitar el agrietamiento en soldaduras de aluminio, aunque conlleva varios problemas en comparación con el uso de silicio aleado con metales, ya que no es posible que este método cree revestimientos metálicos uniformes y adheridos.

Es un objetivo de la invención mejorar los procesos de soldadura para permitir, por ejemplo, la soldadura exitosa de aleaciones sensibles a las grietas.

Sumario de la invención

Según la invención, se proporciona un método soldadura de una primera y una segunda piezas de trabajo metálicas, como se define en la reivindicación 1, en donde cada una de la primera y segunda piezas de trabajo metálicas con un espesor de menos de 1,5 mm, comprende:

a. aplicar una capa del material de modificación de la soldadura a una superficie de una o a cada una de las primera y segunda piezas de trabajo metálicas usando un proceso de pulverización, en donde el material de modificación de la soldadura es un material metálico y en donde cada uno del material de modificación de soldadura, la primera pieza de trabajo metálica, y la segunda pieza de trabajo metálica tienen un componente elemental mayoritario que es el mismo; y,

b. soldar las primera y segunda piezas de trabajo metálicas de tal manera que el material de modificación de la soldadura se incorpore en la soldadura.

Los inventores se han dado cuenta que para el proceso de soldadura es crítico poder suministrar una cantidad constante de material de modificación de la soldadura con una composición bien controlada. Esto se logra en la presente invención mediante el uso de un proceso de pulverización en frío. Estos procesos permiten que se coloque cuidadosamente una capa del material de modificación de la soldadura a lo largo de la trayectoria de una superficie a soldar, teniendo esta capa un espesor y una composición bien controlados, junto con una excelente estabilidad mecánica. El método proporciona ventajosamente una colocación precisa del material de modificación, de forma rápida y con propiedades mecánicas beneficiosas para procesos posteriores, tales como el conformado y/o la soldadura. El método es particularmente adecuado para el uso de procesos de soldadura por haz de alta velocidad, y en muchos casos sin el uso de un gas de protección debido a la cobertura de la superficie a soldar por el material de modificación. La estabilidad mecánica del material de modificación según los procesos de pulverización prevé el uso de conjuntos preformados (que se pueden almacenar fuera de la línea) con revestimientos bien adheridos que se pueden mecanizar. En el caso del proceso de pulverización en frío, se pueden tratar conjuntos de sección delgada con poco daño térmico.

El material de modificación de la soldadura se puede elegir para controlar un número de propiedades mecánicas del material de soldadura. Una de esas propiedades en las que se ha encontrado un beneficio particular es el control del comportamiento del agrietamiento de la soldadura.

Por ejemplo, el método comprende las etapas de revestir un sustrato de metal sensible a las grietas con un metal de aleación adecuado para modificar las propiedades metalúrgicas del metal sensible a las grietas (el "material de modificación") usando una técnica de pulverización en frío; y posteriormente llevar a cabo una operación de soldadura mediante la cual el metal de soldadura creado está libre de grietas.

El material de modificación de la soldadura se suministra a la soldadura durante el proceso de la soldadura de tal manera que típicamente el material de modificación de la soldadura se mezcla con el material procedente de las primera y segunda piezas de trabajo dentro del baño de soldadura. La elección de un material de modificación adecuado garantiza que se produzca una composición y una microestructura deseadas durante y como resultado del proceso de soldadura.

La invención se puede aplicar a un gran número de procesos de soldadura bien conocidos que incluyen procesos de soldadura por arco. Se puede usar con procesos de soldadura que tienen materiales de relleno suministrados por separado. Sin embargo, es particularmente ventajosa cuando se usa junto con procesos de soldadura autógena, es decir, cuando no se añaden materiales de relleno durante el proceso de soldadura. Esto incluye la soldadura por arco de tungsteno y gas, pero es más beneficiosa en procesos de soldadura de alta velocidad (velocidad de desplazamiento de soldadura de más de 1 metro por minuto). La provisión del material de modificación en la región de la unión antes de la aparición del baño de soldadura significa que el material de modificación está inmediatamente disponible en el baño de soldadura y, por lo tanto, no se imponen limitaciones a la velocidad de la soldadura, a diferencia de los procesos conocidos. Las técnicas por haz de energía de alta velocidad previstas para su uso con la invención, con una ventaja particular, incluyen los métodos de soldadura por láser o por haz de electrones (EB, por sus siglas en inglés).

Los procesos de pulverización en frío proporcionan un medio para producir una capa de espesor y composición predeterminadas, y una buena adhesión.

En los ejemplos comparativos, se pueden usar los procesos de pulverización térmica para depositar revestimientos gruesos, bien adheridos y uniformes de metales y no metales a una pieza de trabajo. El término "pulverización térmica" puede abarcar una amplia variedad de procesos de revestimiento en los que un material en polvo, alambre, varilla, suspensión o líquido se calienta hasta (o cerca de) su punto de fusión y se proyecta a alta velocidad hacia un sustrato. Los métodos de pulverización térmica incluyen pulverización por llama, pulverización por arco, pulverización por plasma, pulverización por oxi-combustible de alta velocidad (HVOF, por sus siglas en inglés), y pulverización por pistola de detonación (D-Gun). Los métodos de pulverización térmica generalmente permiten la colocación precisa del material de modificación de la soldadura, lo que es importante para reducir los innecesarios depósitos de material.

El proceso de pulverización en frío (también conocido como pulverización dinámica por gas frío) se usa para aplicaciones de revestimiento donde son beneficiosas bajas temperaturas de pulverización. En el enfoque de la pulverización en frío, los polvos sólidos (normalmente alrededor de 10-50 micrómetros de diámetro) se aceleran en chorros de gas supersónico a velocidades de entre 200 y 1.000 metros por segundo. Dependiendo del material a pulverizar, el gas de proceso se puede precalentar hasta 1.100°C (antes de la expansión). En la pulverización en frío, la materia prima no se alimenta a una llama o a un arco, sino que se alimenta a una corriente de gas. El tiempo de tránsito de la materia prima en la corriente de gas no es suficiente para provocar la fusión de la materia prima. Las principales ventajas sobre los procesos de pulverización térmica normales incluyen: el polvo permanece en la fase sólida, menores temperaturas superficiales del sustrato, menor oxidación del polvo y del material del sustrato, no hay transformaciones metalúrgicas y una reducida formación de tensión residual. El polvo se acelera e impacta en la superficie del sustrato donde se producen la deformación, el calentamiento local y la adherencia. Repitiendo este proceso, se puede construir una capa casi densa de espesor creciente.

Es preferible usar la técnica de la pulverización en frío, que permite la formación de un revestimiento relativamente uniforme y bien adherido. Una ventaja particular del uso de la pulverización en frío es la capacidad de revestir sustratos delgados de espesores <1,5 mm), según la presente invención, con un revestimiento de metal de baja porosidad (porosidad por debajo del 10 %, y más preferiblemente por debajo del 5 %, según se determina mediante el análisis semicuantitativo de imágenes), y sin una distorsión térmica considerable del sustrato. En la práctica, se observa una distorsión cercana a cero. Otra ventaja de la pulverización en frío es que se puede usar para revestir con precisión regiones en las que no es posible la inserción del material de modificación por otros métodos, tales como láminas o cuñas, debido a la complejidad de la junta. Además, la pulverización en frío puede proporcionar revestimientos bien adheridos que son particularmente adecuados para el mecanizado y el almacenamiento antes del ensamblaje y la soldadura.

La pulverización térmica y particularmente la técnica de pulverización en frío proporcionan beneficios en la gama de tipos de materiales que se pueden proporcionar en la capa de la superficie se se suelda. En particular, estas técnicas prevén el uso de una capa metálica, tal como una aleación con una composición modificada con respecto al material que se está soldando. El material de modificación de la soldadura es un material metálico con un componente elemental mayoritario que es el mismo que el de la primera o de la segunda piezas de trabajo metálicas. De este modo, si las piezas de trabajo son una aleación de aluminio de un primer tipo, el material de modificación de la soldadura puede ser una aleación de aluminio de un segundo tipo. Es particularmente ventajoso que el material de modificación de la soldadura tenga un componente elemental mayoritario que sea el mismo que el de las piezas de trabajo, ya que es muy probable que esto mejore la toma del material en el baño de soldadura. Las razones para esto incluyen la compatibilidad del material (el componente importante del material de modificación de la soldadura está en la forma correcta de aleación) y, en el caso del aluminio/silicio, los beneficios causados por la temperatura de fusión de la composición eutéctica disponible. Si se usara silicio puro, al tener una temperatura de fusión mucho más alta, esto provocaría cambios desfavorables en la dinámica de calentamiento (se vería afectada la absorción del haz a altas velocidades) y no se asimilaría tan fácilmente en el baño de soldadura. De manera similar, cuando las piezas de trabajo son un acero particular, se puede pulverizar una composición de acero diferente.

Particularmente en el caso de la pulverización en frío, la capa del material de modificación de la soldadura tiene preferiblemente una microestructura que comprende partículas deformadas. La capa del material de modificación de

la soldadura puede tener una microestructura que comprende una porosidad de menos del 10 por ciento en volumen, más preferiblemente menos del 5 por ciento en volumen. Es deseable minimizar la porosidad para mejorar el material de soldadura.

5 El espesor de la capa del material de modificación de la soldadura depende de varios factores, incluidos los materiales de las piezas de trabajo, su geometría, la sujeción/ajuste y el proceso de soldadura con sus parámetros asociados (tipo de soldadura, energía, velocidad, atmósfera, presión, volumen de soldadura, etc.). Se ha encontrado que un espesor de capa de entre 0,1 mm y 0,5 mm generalmente produce resultados beneficiosos para reducir el agrietamiento en las aleaciones de aluminio de la serie 6xxx, incluso en profundidades de soldadura superiores a 6 mm. Si se usan paneles más gruesos, es posible que se requiera más material de modificación de la soldadura para hacer frente a baños de soldadura más grandes. Por ejemplo, al soldar la aleación 6016 con 1,5 mm o menos de espesor de placa y soldarla con un láser en aire a velocidades de desplazamiento de alrededor de 11 metros por minuto, se ha encontrado que bastaría entre 0,1 mm y 0,2 mm de espesor del material de modificación para evitar el agrietamiento de la soldadura.

15 Los espesores de las capas mencionadas anteriormente se refieren a casos en los que solo una de las dos piezas de trabajo a unir tiene una superficie de soldadura que lleva el revestimiento del material de modificación de la soldadura. Cuando las superficies de cada una de las piezas de trabajo están revestidas, entonces el espesor del material se puede reducir en consecuencia (tal como la mitad para las piezas de trabajo similares revestidas). También se contempla que se puedan aplicar dos o más materiales modificadores de la soldadura diferentes, una capa diferente para las dos superficies opuestas a unir, y/o el uso de un sistema multicapa con subcapas de diferentes materiales. Esta última situación puede ocurrir cuando dos o más materiales diferentes no producen un revestimiento de baja porosidad al pulverizarse conjuntamente, o en el caso de que sean mutuamente reactivos de alguna manera incompatible.

25 El proceso se puede usar con altas velocidades de soldadura, tales como más de 5 metros por minuto, preferiblemente más de 10 metros por minuto. Por lo tanto, el proceso es beneficioso para la soldadura por haz de energía que típicamente ocurre a velocidades más altas que las del proceso de soldadura por arco.

30 Aunque en principio las primera y segunda piezas de trabajo se pueden disponer en una geometría apropiada para soldar antes de la etapa de pulverización, en la práctica suele ser ventajoso suministrar la capa del material de modificación de la soldadura antes de que las piezas de trabajo estén dispuestas y fijadas para soldar. Típicamente, esto incluye disponer las primera y segunda piezas de trabajo en una geometría de soldadura de tal manera que las primera y segunda piezas de trabajo estén adyacentes entre sí. Para una unión a tope, la superficie de soldadura que lleva la capa se coloca típicamente mirando hacia el otro miembro. Para una soldadura solapada, especialmente en piezas de trabajo más delgadas, la superficie de soldadura que lleva la capa está colocada idealmente frente a la fuente de energía de la soldadura y lejos del otro miembro, para promover la facilidad de ajuste. En piezas de trabajo más gruesas, puede ser mejor que la capa esté donde las piezas de trabajo estén en contacto entre sí. También es útil que la soldadura y el revestimiento de muchos ensambles solapados se formen desde adentro hacia afuera por razones cosméticas (se oculta el revestimiento y la soldadura, y son más fáciles el pintado y el acabado). Se contemplan un número de diferentes geometrías de soldadura, que serían obvias para el experto.

40 La invención no pretende limitarse a la producción de una única soldadura localizada o alargada. El método puede comprender además formar soldaduras usando el método en una pluralidad de ubicaciones discretas sobre una o en cada una de las primera y segunda piezas de trabajo aplicando el material de modificación de la soldadura pulverizado a ubicaciones separadas predeterminadas. Por lo tanto, la soldadura puede proceder en una serie de ubicaciones diferentes sobre una pieza de trabajo en particular, tal como podría ser el caso para ciertos productos complejos. Las soldaduras se pueden prever en serie o de forma simultánea. Si bien en la presente invención hay una discusión importante sobre la soldadura de aleaciones de aluminio, particularmente sobre las aleaciones de la serie 6xxx, se debe entender que la invención también es aplicable en principio a otras aleaciones, incluyendo al acero y a las aleaciones metálicas más especializadas a base de otros elementos. En principio, los materiales de las piezas de trabajo pueden constituir aleaciones diferentes, incluyendo las aleaciones de diferentes elementos mayoritarios, siempre que la microestructura de cualquiera de tales aleaciones de soldadura formadas a partir de las mezclas de las composiciones de las piezas de trabajo sean estructuralmente sólidas. Sin embargo, se apreciará que una aplicación práctica particularmente beneficiosa se encuentra en la soldadura de aleaciones de aluminio para la industria del automóvil, de tal modo que preferiblemente cada una de las primera y segunda piezas de trabajo sean piezas de automóvil.

55 Los artículos formados para su uso según la invención (donde se ha aplicado la etapa (a)), es decir, piezas de trabajo con un material de modificación previamente depositado en la región donde se formarán las soldaduras, son particularmente útiles para la manipulación y el almacenamiento debido a las propiedades robustas del revestimiento de material de modificación. Este material es preferiblemente un polvo depositado por pulverización en frío que generalmente se puede diferenciar de otros materiales o depósitos de material por la microestructura, que muestra un patrón característico de partículas deformadas, pero con una baja porosidad (típicamente 0-10 %, preferiblemente 0-5 %).

Como ejemplo, se deposita una capa pulverizada en frío de un material que contiene silicio (por ejemplo, una aleación de aluminio con un alto contenido de silicio, tal como las aleaciones de la serie 4xxx) sobre la superficie del componente metálico sensible a las grietas (tal como una aleación de aluminio de la serie 6xxx de bajo contenido de silicio) en una ubicación a unir, antes de soldar con un haz de energía de alta velocidad.

- 5 Aunque los parámetros usados en el método de soldadura de la etapa (b) variarán según el tipo de fuente de soldadura usada, en el caso de la soldadura por láser, se pueden usar muchas fuentes diferentes de láser con una variedad de potencias, distancias de separación, velocidades de soldadura, diámetros del punto láser y posiciones de enfoque. Igualmente, cuando se usa el EB (por sus siglas en inglés), la invención es aplicable a una variedad de potencias, condiciones de vacío, velocidades, y otros parámetros.
- 10 Aunque la discusión en la presente invención trata principalmente con aleaciones de aluminio sensibles a las grietas, en el contexto de la prevención de las grietas de soldadura, la invención es igualmente aplicable a otros metales que sufren de sensibilidad a las grietas u otros problemas durante la soldadura, tal como el acero inoxidable austenítico 304 usado con un material de modificación del tipo 308 o cromo. En el caso de las aleaciones de níquel, podría ser beneficioso un material de modificación rico en niobio. Para varios aceros inoxidables, se podrían usar adiciones de molibdeno para prevenir la segregación y mejorar la resistencia a la corrosión. En muchos casos, esto es generalmente análogo a la relación entre los metales y las aleaciones sensibles a las grietas y el material de relleno representativo que se usa al soldarlos para mejorar las propiedades de soldadura.
- 15

Breve descripción de los dibujos

- 20 Algunos ejemplos del método según la invención se describen ahora con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 ilustra un ejemplo de agrietamiento en caliente en una aleación de aluminio de la serie 6xxx soldada usando una operación convencional de soldadura por láser a alta velocidad;

La Figura 2 muestra una ilustración esquemática del método según un ejemplo; y,

- 25 La Figura 3 muestra un diagrama de flujo de las etapas de un proceso típico en una aplicación de automoción de la invención.

La Figura 4 muestra una sección transversal a través de piezas de trabajo unidas en una configuración a tope por un método según la invención.

La Figura 5 muestra una sección transversal a través de piezas de trabajo unidas en una configuración de solape por un método según la invención.

30 Descripción de los ejemplos preferidos

La Figura 2 ilustra las etapas del proceso típico de interés llevadas a cabo cuando se aplica una realización de la invención a un conjunto de piezas complejas donde el acceso limitado puede ser un problema, tal como el conjunto de piezas con configuraciones de línea de unión no lineal.

- 35 En este caso, se usa una aleación de aluminio 6061 o 6082 como pieza de trabajo 1 con una superficie curva (convexa) que formará parte de una línea de unión. La superficie convexa se convertirá en una superficie de soldadura y luego se revestirá con un cabezal de pulverización en frío 2. El cabezal de pulverización en frío 2 forma parte de un sistema de pulverización en frío CGT Kinetiks 4000® disponible comercialmente con una boquilla de polibenzimidazol (usada para depositar materiales dúctiles), montado en un robot de 6 ejes. El sistema de pulverización en frío permite controlar la temperatura del gas, la presión y los caudales mediante una interfaz de controlador lógico programable (PLC, por sus siglas en inglés).
- 40

El sistema de pulverización en frío aplica un material de modificación de la soldadura a la superficie convexa. En este caso, el material de modificación se muestra en 4. Este toma la forma de la aleación 4047 que se proporciona al sistema de pulverización en frío como un polvo.

- 45 Se proporciona una capa del material depositado a la superficie convexa, y el espesor de la capa se controla mediante repetidas pasadas sobre la superficie.

Los parámetros del Ejemplo usados para obtener revestimientos de espesor variable (dependiendo de la cantidad de pasadas del revestimiento que se hayan realizado) son los siguientes:

Tipo de gas de proceso y portador del polvo: nitrógeno.

Temperatura del gas: 400°C.

- 50 Presión del gas: 35 bares.

Caudal del gas portador del polvo: $3,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ($61,67 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$).

Alimentación: polvo Al-12Si (4047) con un intervalo de tamaño de partícula de $60 \pm 13 \text{ }\mu\text{m}$.

Velocidad de rotación de la rueda de alimentación del polvo: calibrada a 3,4 rpm, dando un flujo de polvo a una velocidad de alimentación de $14,5\text{-}15,10 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$ ($\sim 0,9 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$).

- 5 Los sustratos se prepararon antes del revestimiento mediante pulido usando papel de SiC de grano 320 (equivalente a un acabado de $46,2 \text{ }\mu\text{m}$) y con un papel de SiC de grano 600 (equivalente a un acabado de $25,8 \text{ }\mu\text{m}$), aunque esta etapa depende de las condiciones de la pieza de trabajo (pueden estar presentes revestimientos de corrosión o de protección), y no necesariamente se requiere.

Separación de la pistola: 20 mm.

- 10 Velocidad de pulverización lineal de la pistola (velocidad de desplazamiento transversal de la pistola): $100/150 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Desconexión de la pistola: 1 mm.

Después de la pulverización en frío, se elimina de la superficie cualquier material suelto. Esto se puede lograr por cualquier medio práctico tal como sacudidas/chorro de aire, enjuague, cepillado, etc.

- 15 Las secciones preparadas se pueden examinar usando microscopía óptica y someterlas a medición de la porosidad usando análisis semicuantitativo de imágenes usando, por ejemplo, un software de Manipulación de Imágenes GNU (GIMP, por sus siglas en inglés).

Un procedimiento sugerido para esto es el siguiente:

- 20 Se puede preparar una sección transversal metalográfica en una resina epoxi conductora de montaje en caliente. Para eliminar cualquier efecto asociado con el corte de la muestra, después del montaje, la superficie que se va a ver se puede volver a pulir manualmente usando un papel de SiC de grano 120 (equivalente a un acabado de 125 ppm). Se puede realizar un rectificado progresivo con granos más finos, terminando con papel de SiC de grano 2500 (equivalente a un acabado de $8,4 \text{ }\mu\text{m}$), seguido de un pulido automático con pastas de diamante sucesivamente más finas (3, 1 y $0,25 \text{ }\mu\text{m}$). Se puede realizar una adquisición de imágenes microscópicas usando un aumento de imágenes de 200x a lo largo de las secciones transversales pulidas de cada revestimiento. Debido al alto grado de contraste entre los poros oscuros (huecos) y el material de revestimiento más altamente reflectante, se puede establecer con precisión un límite para producir imágenes binarias que podrían dar una indicación de la porosidad aparente total. Se pueden adquirir un total de seis campos y este procedimiento logra un valor medio constante y representativo para la porosidad correspondiente. Cada imagen se puede recortar a un tamaño constante para eliminar la barra de la escala y la etiqueta en la parte inferior. Se puede usar una macro para seleccionar todos los píxeles más oscuros que un valor particular. Esta macro se puede repetir con un valor cada vez menor hasta que se alcanza un punto donde los píxeles seleccionados se corresponden estrechamente con la porosidad visible en la imagen. En este punto, se puede contar el número de píxeles y usar este número para calcular la fracción volumétrica de la porosidad según esta relación:

- 35 Porosidad aparente (% de área) = (Píxeles por encima del valor límite) / (Píxeles totales)

Esta fracción de área se puede calcular para cada imagen, y tomar un valor promedio a partir de todas las imágenes.

Usando el procedimiento anterior en el ejemplo discutido anteriormente, se obtiene un valor de la porosidad para los revestimientos del $\sim 2 \%$.

- 40 Volviendo a la Figura 2, habiendo revestido la superficie convexa de la primera pieza de trabajo con la aleación de aluminio de modificación de la soldadura, se obtiene entonces una segunda pieza de trabajo 3 que se va a unir a la primera pieza de trabajo 1. Como se muestra en la Figura 2, esto incluye una superficie cóncava que generalmente se adapta a la superficie convexa de la pieza de trabajo 1. Opcionalmente, la superficie de la segunda pieza de trabajo 3 también puede estar revestida con el material de modificación de la soldadura. Las piezas de trabajo 1, 3 con el(los) revestimiento(s) del material de modificación se unen a tope. Estas piezas se sujetan en su posición según la práctica normal de soldadura. Una vez sujetas, se usa un sistema de haz de electrones 5 para proporcionar un haz de electrones a la interfaz entre las piezas de trabajo (que incluyen el material de modificación de la soldadura). Esto se realiza dentro de un ambiente de vacío dentro del sistema de haz de electrones. El haz transita a lo largo de una trayectoria de línea de soldadura que sigue la interfaz. Los parámetros típicos del proceso para la soldadura por haz de electrones son los siguientes:

Tensión de aceleración (kV): 150

Corriente del haz (mA): 16

Velocidad (mm/min): 1.000

Deflexión del haz: Circular

Amplitud (mA): 0,15

Frecuencia (Hz): 500

5 Pendiente de entrada/salida (grados): 90

A continuación, en la Tabla 1 se muestran algunos resultados del ejemplo de soldaduras por EB (por sus siglas en inglés) usando diferentes combinaciones de materiales y espesores del material de modificación.

Tabla 1

Número de experimento	Material de la pieza de trabajo	Material de modificación	Resultado
1	6061 – ensayo fundido	No	Agrietada
2	6082 – ensayo fundido	No	Agrietada
3	6061 / 6061	No	Agrietada
4	6082 / 6082	No	Agrietada
5	6061 / 6061	Pulverización en frío de 4047 a 0,1 mm	Agrietada
6	6082 / 6082	Pulverización en frío de 4047 a 0,1 mm	Agrietada
7	6061 / 6061	Pulverización en frío de 4047 a 0,2 mm	Sin grietas
8	6082 / 6082	Pulverización en frío de 4047 a 0,2 mm	Sin grietas
9	6061 / 6061	Pulverización en frío de 4047 a 0,4 mm	Sin grietas
10	6082 / 6082	Pulverización en frío de 4047 a 0,4 mm	Sin grietas

10 A partir de estos resultados se puede ver que en este ejemplo se necesita un cierto espesor de material de modificación para obtener soldaduras libres de grietas.

15 La Figura 3 ilustra las etapas típicas del proceso general llevadas a cabo cuando se aplica un ejemplo de la invención a una aplicación de ensamblaje de automóvil. Los cierres de un automóvil normalmente requieren la unión de dos o más paneles de aluminio conformados por prensa en una configuración de solape. Un panel externo, que es el panel que se usará en el exterior visible del automóvil, generalmente es de una aleación de la serie 6xxx, por ejemplo, 6016. Se usa aluminio de la serie 6xxx para el panel exterior debido a su buena apariencia superficial, resistencia a la abolladura y formabilidad requerida.

20 Un panel interior puede ser de la serie 6xxx u otra aleación de aluminio. En algunos casos, se pueden usar tres paneles de aluminio, siendo el panel exterior de la serie 6xxx. Se requiere que los paneles exterior e interior estén unidos entre sí.

Con referencia a la etapa 300 en la Figura 3, los paneles se obtienen inicialmente en un estado conformado por prensa (preformados fuera de la línea). Después del conformado por prensa, los paneles se envían a una celda de pulverización en frío en la etapa 301. Los paneles también se pueden pulverizar antes del conformado por prensa, pero en este ejemplo se realiza el conformado por prensa antes de la pulverización en frío.

25 La metodología particular de pulverización en frío usada es como la descrita en relación con el Ejemplo EB (por sus siglas en inglés) anterior. Por lo tanto, en la etapa 302, el polvo del material de modificación de la soldadura se recubre por pulverización en frío sobre la superficie de un panel solo para proporcionar el material de modificación.

En cuanto al ejemplo del haz de electrones, el revestimiento se puede aplicar a uno o más paneles en una o en ambas superficies. En este caso, se usa un polvo de aluminio de la serie 4XXX.

5 El material de modificación se aplica en el área donde se realizará la soldadura remota por láser. El material de modificación de la soldadura se selecciona para alterar la composición química de la zona de soldadura y evitar el agrietamiento. En el presente ejemplo se realizó una profundidad de revestimiento del material de modificación de 0,2 mm. En el presente caso, la trayectoria de la pulverización en frío del material de modificación se tendió con un ancho de 5 mm, aunque esto puede variar en otras aplicaciones según la soldadura que se vaya a realizar.

10 Con el presente ejemplo, no es necesario realizar la etapa 302 inmediatamente antes de la soldadura, de hecho, esta etapa se puede realizar en una instalación completamente separada y en una fecha/hora anterior al proceso de la verdadera soldadura. Esto se debe a la estabilidad de la capa pulverizada en frío.

En la etapa 303, los paneles se colocan dentro de un aparato de soldadura automatizada por láser, que incluye un sistema de sujeción para disponer los paneles externo e interno en una estrecha proximidad con su(s) región(es) revestida(s) orientada(s) en la dirección de la fuente de energía.

15 En la etapa 304, el proceso de soldadura remota por láser se realiza por un robot (a menudo denominado "On the fly welding") o por un láser por escáner que emplea generalmente espejos accionados por un galvanómetro para permitir la manipulación del rayo láser. La fuente de láser puede ser una de las muchas disponibles comúnmente, incluidas láseres generados por fibra o disco, aunque estos tipos no se deben considerar exhaustivos, y están o pueden estar disponibles en el futuro otros tipos de láser, lo que obviamente sería adecuado para llevar a cabo la invención.

20 Los paneles de aluminio están sujetos en su posición. Las áreas para unir están típicamente en una configuración de solape para aplicaciones del automóvil, pero por supuesto también son posibles otras geometrías de unión.

El rayo láser se manipula para producir la soldadura en las ubicaciones deseadas, cada una de las cuales tiene la capa del material de modificación unida a su superficie. El material de modificación se puede depositar en cualquier cara de las placas que se sueldan.

25 El láser penetra en los paneles solapados, derritiendo total o parcialmente los materiales de los paneles solapados. El material de modificación sobre el área de calentamiento por el láser también se funde, se mezcla con el material fundido de los paneles lo que tiene como resultado una composición de metal de soldadura modificado que reduce la susceptibilidad a la formación de grietas, y produce juntas de baja porosidad y sin grietas hechas a altas velocidades de soldadura.

30 Una vez que se ha soldado cada una de las regiones, el conjunto de los paneles unidos se retira del aparato de soldadura y luego en la etapa 305 se somete a cualquier proceso adicional requerido, por ejemplo, fijación de componentes adicionales, montaje en un vehículo, tratamiento superficial o acabado.

35 A continuación, en la Tabla 1 se muestran algunos resultados del ejemplo de soldaduras por láser en dos láminas de 6016 de 1,0 mm en una configuración de solape. Se varió la velocidad de soldadura y se produjeron soldaduras en muestras de chapas de aluminio no revestidas y en muestras con una capa de pulverización en frío de 0,2 mm de espesor sobre la superficie superior de la chapa superior. A continuación, se enumeran otros parámetros fijos del proceso:

Láser de fibra-Yb IPG 5kW

Manipulación: manipulación impulsada por un robot que emplea un Kawasaki FS60

40 Soporte de distancia - 500mm

Diámetro del punto láser – 0,6 mm

Posición de enfoque: 0 mm, en la superficie del panel superior

Sin gas de protección

Tabla 2

Número de experimento	Material de modificación	Velocidad de soldadura	Penetración completa	Resultado
1	No	10 m/minuto	Si	Agrietada
2	No	12 m/minuto	Si	Agrietada
3	No	12,7 m/minuto	No	Agrietada
5	Pulverización en frío de 4047 a 0,2 mm sobre la superficie superior de la chapa superior	11 m/minuto	Si	Sin grietas
6	Pulverización en frío de 4047 a 0,2 mm sobre la superficie superior de la chapa superior	12 m/minuto	Si	Sin grietas
7	Pulverización en frío de 4047 a 0,2 mm sobre la superficie superior de la chapa superior	12,7 m/minuto	Si	Sin grietas
8	Pulverización en frío de 4047 a 0,2 mm sobre la superficie superior de la chapa superior	14 m/minuto	No	Sin grietas

5 La Figura 4 muestra una micrografía de la sección transversal a través de las piezas de trabajo soldadas del Experimento 10 en la Tabla 1. En la región donde se depositó el material de modificación de la soldadura, a lo largo de la línea central de la región de soldadura mostrada en la presente invención, no hay grietas aparentes y la soldadura es de una buena calidad.

10 La Figura 5 muestra una micrografía de la sección transversal a través de las piezas de trabajo soldadas del Experimento 7 en la Tabla 2. El material de modificación de la soldadura se depositó a lo largo de la superficie superior (frente a la fuente de calor de la soldadura) de la pieza de trabajo superior. La soldadura no muestra agrietamiento aparente o distorsión de la chapa.

REIVINDICACIONES

1. Un método de soldadura de unas primera y segunda piezas de trabajo metálicas delgadas (1, 3), caracterizadas porque cada una de las primera y segunda piezas de trabajo metálicas y delgadas (1, 3) con un espesor de menos de 1,5 mm, que comprenden:
- 5 a. aplicar una capa del material de modificación de la soldadura (4) a una superficie de una o de cada una de las primera y segunda piezas de trabajo metálicas (1, 3) usando un proceso de pulverización en frío; en donde el material de modificación de la soldadura (4) es un material metálico y en donde cada uno del material de modificación de la soldadura (4), la primera pieza de trabajo metálica (1), y la segunda pieza de trabajo metálica (3) tienen un componente elemental mayoritario que es el mismo; y,
- 10 b. soldar las primera y segunda piezas de trabajo metálicas de tal manera que el material de modificación de la soldadura (4) se incorpore en la soldadura.
2. Un método según la reivindicación 1, en donde el material de modificación de la soldadura (4) se mezcla con el material procedente de las primera y segunda piezas de trabajo (1, 3) dentro del baño de soldadura.
- 15 3. Un método según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el método de soldadura es un método autógeno.
4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la soldadura en la etapa (b) se realiza usando un método de soldadura con haz de energía.
5. Un método según la reivindicación 4, en donde el método de soldadura por haz de energía es soldadura por haz de electrones o soldadura por láser.
- 20 6. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el material de modificación de la soldadura (4) se pulveriza como un polvo.
7. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la capa del material de modificación de la soldadura tiene una microestructura que comprende partículas deformadas.
- 25 8. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la capa del material de modificación de la soldadura tiene una microestructura que comprende una porosidad de menos del 10 por ciento en volumen.
9. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el espesor de la capa es menor de 0,5 mm.
10. Un método según la reivindicación 9, en donde el espesor de la capa es mayor de 0,1 mm.
- 30 11. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además disponer las primera y segunda piezas de trabajo (1, 3) en una geometría de soldadura de tal manera que las primera y segunda piezas de trabajo estén adyacentes entre sí.
12. Un método según la reivindicación 11, en donde la geometría de soldadura es una configuración de superposición.
- 35 13. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la velocidad de soldadura es mayor de 10 metros por minuto.
14. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además formar soldaduras usando el método en una pluralidad de ubicaciones discretas sobre una o sobre cada una de las primera y segunda piezas de trabajo aplicando el material de modificación de la soldadura pulverizado a ubicaciones separadas predeterminadas.
- 40 15. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde cada una de las primera y segunda piezas de trabajo (1, 3) están conformadas a partir de una aleación de aluminio o de una aleación de acero.
16. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde cada una de las primera y segunda piezas de trabajo (1, 3) son piezas de automóvil.

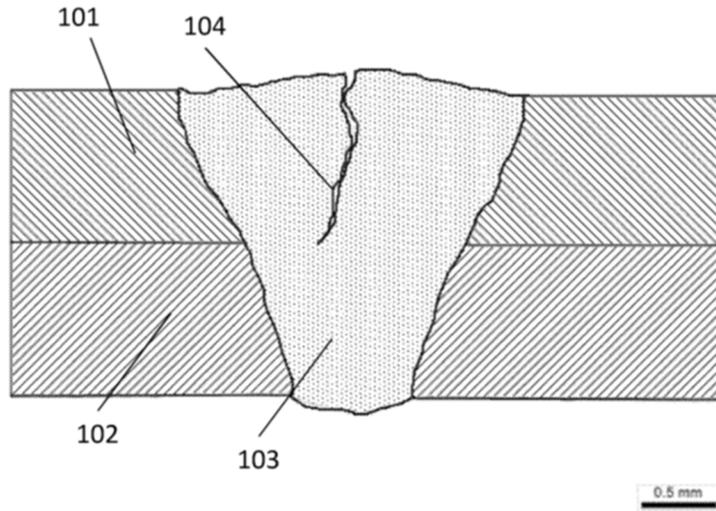


Figura 1

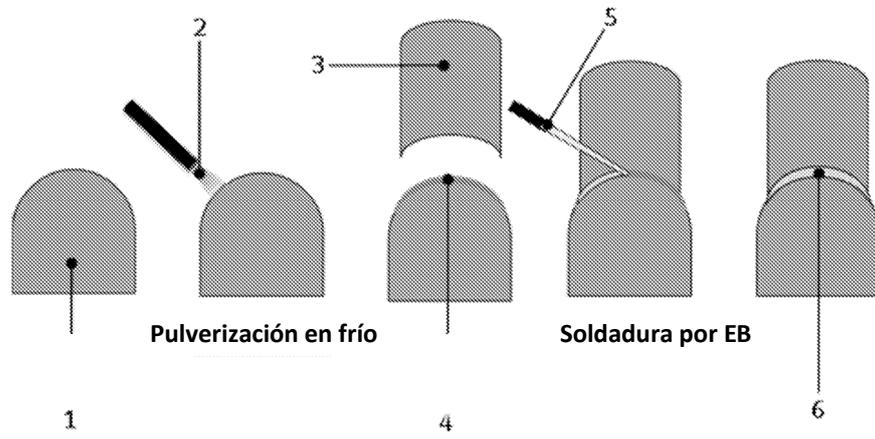


Figura 2

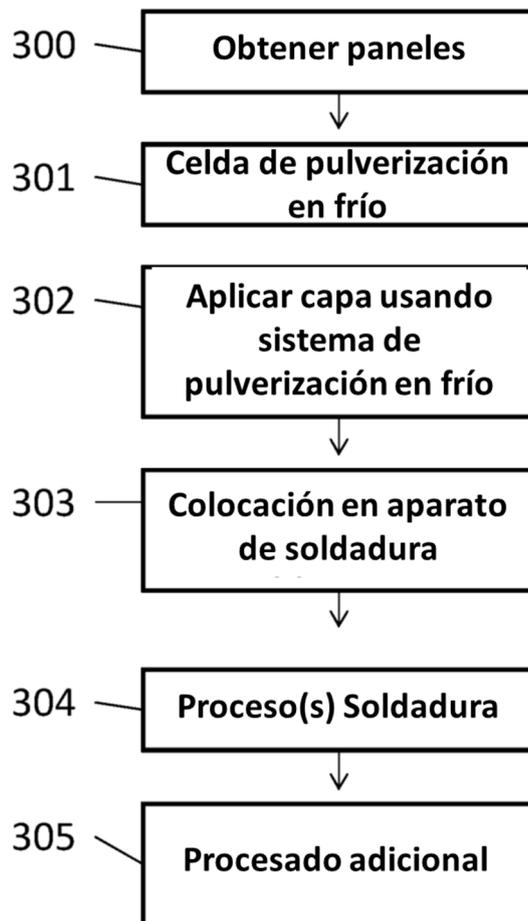


Figura 3

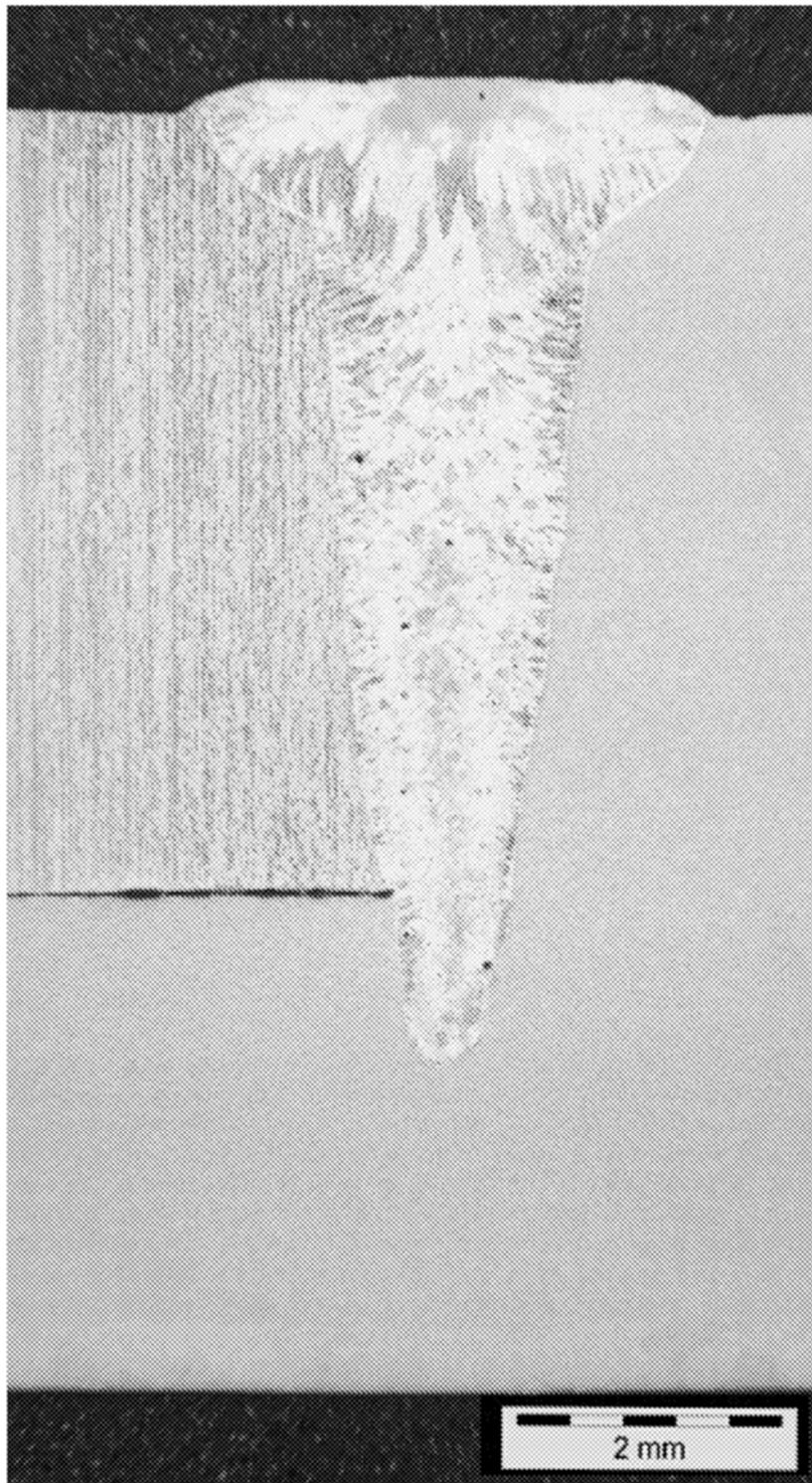


Figura 4

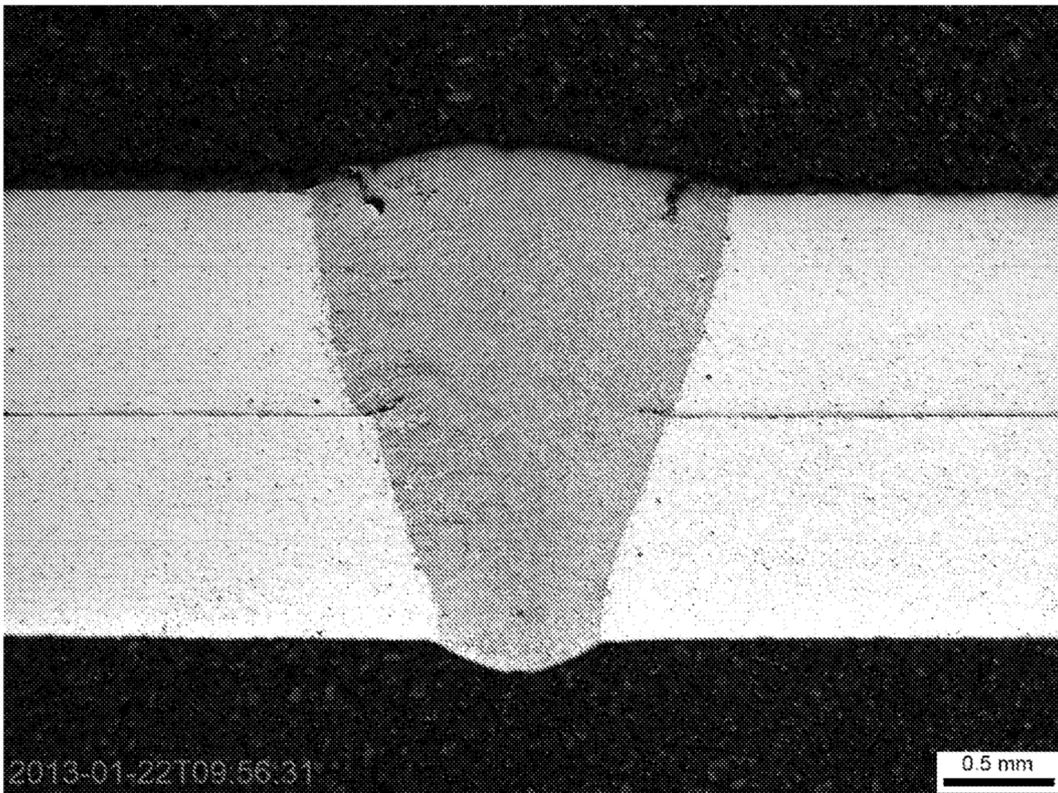


Figura 5