

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 380 245**

51 Int. Cl.:

**B23K 20/12** (2006.01)

**B23K 20/227** (2006.01)

**B23K 103/04** (2006.01)

**B23K 103/14** (2006.01)

**B23K 103/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07732854 .0**

96 Fecha de presentación: **15.05.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **2018241**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **28.01.2009**

54 Título: **Método de fricción y agitación y par de piezas de trabajo unidas mediante dicho método**

30 Prioridad:  
**15.05.2006 GB 0609669**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**09.05.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**09.05.2012**

73 Titular/es:  
**THE WELDING INSTITUTE  
Granta Park Great Abington,  
Cambridge CB21 6AL, GB**

72 Inventor/es:  
**RUSSELL, Michael, Jonathan;  
HORREX, Nathan, Leonard y  
ADDISON, Adrian, Charles**

74 Agente/Representante:  
**de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 380 245 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 fricción agitación y par de piezas de trabajo unidas mediante dicho método

La invención se refiere a métodos de fricción-agitación para unir o procesar metales y aleaciones metálicas de baja conductividad y de alta temperatura de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1. El documento US 2003/0201307 dio a conocer tales métodos.

En este contexto, definimos "metales y aleaciones metálicas de alta temperatura" como aquellos que tienen temperaturas de fusión por encima de la del aluminio, es decir, por encima de 700°C. Definimos "metales y aleaciones metálicas de baja conductividad" como aquellas que tienen una conductividad térmica menor que la del aluminio, típicamente por debajo de 250 W/m K, preferiblemente por debajo del 150 W/m K, y más preferiblemente por debajo de 100 W/m K. Los metales y las aleaciones metálicas de alta temperatura y baja conductividad tienen puntos de fusión elevados y resistencias elevadas e incluyen comúnmente aleaciones ferrosas, y materiales que contienen cantidades de níquel, cobalto, cromo, molibdeno, tungsteno, aluminio, titanio, niobio, tántalo, renio y zirconio. Algunos de estos tipos de material pueden ser denominados super-aleaciones. También incluyen aleaciones de titanio, que tienen un uso amplio en aplicaciones aeroespaciales de altas prestaciones y otras aplicaciones.

Los metales y las aleaciones metálicas de baja conductividad y alta temperatura han sido unidos convencionalmente mediante métodos de fusión pero se ha reconocido que sería ventajoso unirlos utilizando soldadura por fricción-agitación (FSW, *Friction Stir Welding*).

La soldadura por fricción-agitación es un método por el que una sonda de material más duro que el material de la pieza de trabajo es forzada a entrar en la región de unión en partes opuestas de las piezas de trabajo en cualquiera de los dos lados de la región de unión mientras se provoca un movimiento cíclico relativo (por ejemplo rotacional, orbital o recíproco) entre la sonda y las piezas de trabajo, por lo cual se genera calor por fricción que causa que las partes opuestas entren en una condición de plasticidad; se provoca entonces de manera opcional un movimiento relativo entre las piezas de trabajo y la sonda en la dirección de la región de unión; se retira la sonda; y se permite que las partes que alcanzaron la plasticidad se consoliden y unan las piezas de trabajo entre sí. En los documentos EP-A-0615480 y WO 95/26254 se describen ejemplos de soldadura por fricción-agitación.

Los beneficios de la soldadura por fricción-agitación han sido dados a conocer ampliamente en la técnica anterior, especialmente en comparación con técnicas convencionales de fusión por soldadura. Estos beneficios incluyen la eliminación de la necesidad de fungibles o materiales de relleno, una baja distorsión en soldaduras largas, la suficiencia de una preparación ligera de los materiales, una fase sólida (sin humos, porosidades o salpicaduras, menor entrada de calor, y evitación de la solidificación de un baño de fusión de soldadura), y excelentes propiedades mecánicas y características de formación en las uniones.

Las herramientas de fricción-agitación pueden utilizarse también para procesar una única pieza de trabajo. En el Procesamiento por Fricción-Agitación (FSP, *Friction Stir Processing*), una herramienta utilizada típicamente para FSW es forzada a moverse a través del material de una única pieza de trabajo para inducir un cambio en las propiedades de ese material en lugar de ser forzada a moverse a lo largo de la línea de unión para crear una soldadura. La acción de reprocesado termomecánico de la herramienta puede conducir a la aparición de cambios locales específicos en la microestructura, las propiedades físicas (comportamiento plástico, resistencia, etc.) y las propiedades químicas (resistencia a la corrosión, etc.). La técnica del FSP también ha sido utilizada para consolidar y reparar fundiciones y otras estructuras, ayudando a eliminar la porosidad y a mejorar las propiedades alrededor de los canales/orificios en, por ejemplo, culatas de fundición. Pueden encontrarse ejemplos de la técnica del FSP en los documentos US 6712916B, EP-A-1160029, JP 2005-324240A, US 2006-0032891A y US 6994916B.

Las herramientas de fricción-agitación están constituidas típicamente por una sonda o "perno" simplemente cilíndrica o ligeramente cónica que sobresale de un resalte de sujeción plano, con forma de domo o cónico de un diámetro mayor. En el documento GB-A-2306366 se describen ejemplos típicos de este tipo de herramienta. En la técnica anterior se conocen muchas modificaciones de la herramienta simple de perno. Otro tipo común de utillaje descrito de la técnica anterior es conocido como la "herramienta de carrete", tal como se describe en el documento EP-A-0615480. Este tipo de utillaje evita la necesidad de una pieza de soporte, requerida habitualmente para reaccionar ante la fuerza generada por la acción de la herramienta en la pieza de trabajo o las piezas de trabajo.

Se conocen otros ejemplos de herramientas, incluyendo aquellas que tienen superficies dotadas de textura, pernos roscados y estriados, aquellas que están constituidas por pernos y resaltes de sujeción intercambiables, y de combinaciones de materiales diferentes que dependen de la aplicación. Pueden encontrarse ejemplos de estas herramientas en los documentos WO 95/26254, WO 02/092273, US 6277430B1, WO 99/52669, EP-A-1361014, US 6676004B1, y muchos otros.

Los materiales de las piezas de trabajo típicas comúnmente unidas utilizando soldadura por fricción-agitación poseen una temperatura de fusión baja y en este contexto se denominan generalmente materiales o metales de baja temperatura. Los más comúnmente soldables mediante fricción-agitación de entre estos materiales son los metales

basados en aluminio, magnesio, cobre, plomo y otros materiales similares.

5 Se ha desarrollado mucho trabajo para unir materiales de alta temperatura mediante soldadura por fricción-agitación, con éxito diverso. Uno de los principales problemas cuando se realiza soldadura por fricción-agitación con materiales de alta temperatura radica en la selección del material correcto para la herramienta, que de manera convencional se ha centrado en metales refractarios o materiales cerámicos.

El documento WO 99/52669 considera la utilización de tungsteno puro, una aleación de tungsteno y renio, y carburo de tungsteno para materiales ferrosos; y materiales de cobalto, materiales cerámicos o ceraméticos para otras aplicaciones de alta temperatura.

10 El documento WO 01/85385 se refiere a la soldadura por fricción-agitación de MMCs, aleaciones ferrosas, aleaciones no ferrosas, y super-aleaciones utilizando una herramienta en la que el perno y el resalte de sujeción incluyen al menos un revestimiento constituido por un material super-abrasivo. Este material es típicamente nitruro de boro cúbico policristalino (PCBN, *Polycrystalline Cubic Boron Nitride*).

El documento GB 2402905 describe una herramienta fabricada a partir de un material refractario basado en tungsteno, que resulta útil para soldar materiales de alta resistencia tales como aleaciones de níquel y titanio.

15 Se ha alcanzado una calidad de soldado razonable al unir ciertos materiales de titanio utilizando herramientas de wolframio – renio de geometría estándar, aunque se ha informado de que con este tipo de utillaje se producen desequilibrios de calor entre la parte superior y la parte inferior de la soldadura, defectos vermiculares y problemas de chispas, debido a las altas velocidades de los resaltes de sujeción, y distorsión (ver "Una visión general de la soldadura por fricción-agitación Beta 21S Titanio", Loftus y otros, 5º Simposio FSW, Metz 2004). En este trabajo también se proponían métodos para superar estos problemas, que incluían la utilización de herramientas de carrete para equilibrar la entrada de calor.

20 El documento US-A-2003/0201307 describe un ejemplo adicional más de una herramienta de soldadura por fricción-agitación en la que una sonda se extiende entre los resaltes de sujeción, uno de los cuales gira con la sonda mientras que el otro gira de manera independiente a la sonda. Esto permite que los resaltes de sujeción puedan aplicar velocidades de calentamiento de superficie diferentes, lo cual es beneficioso cuando se sueldan materiales de propiedades distintas que requieren parámetros de soldadura distintos.

25 El documento US-A-5697544 describe una herramienta de soldadura por fricción-agitación en la que el perno es retráctil. La herramienta incluye una pareja de resaltes de sujeción separados en sentido radial que pueden girar a velocidades diferentes.

30 El documento US-A-2006/0289604 describe otro proceso de soldadura por fricción-agitación, de manera particular para aluminio y aleaciones de aluminio.

35 Cuando se lleva a cabo soldadura por fricción-agitación y procesamiento de materiales de alta temperatura utilizando las herramientas descritas en la técnica anterior aparecen varios problemas, y no sólo la degradación de los materiales de la herramienta, atribuida generalmente al elevado calor y a los esfuerzos generados durante la soldadura por fricción-agitación y el procesado de estos materiales de alta temperatura. También aparecen problemas cuando se controla la entrada de calor en materiales de alta temperatura, no sólo debido al sobrecalentamiento de la herramienta, sino también al sobrecalentamiento de la pieza de trabajo y a los desequilibrios térmicos a través del perfil de soldadura, tal como se indica en el trabajo de Loftus y otros, lo que puede conducir a unas propiedades de unión pobres. En ciertos materiales de alta temperatura, este efecto es debido comúnmente a la elevada entrada de calor proporcionado por la superficie de fricción relativamente grande del resalte de sujeción de la herramienta mientras se transmite una velocidad suficiente al perno para provocar la mezcla del material. Aunque algunos esfuerzos para enfriar la herramienta han tenido éxito para prolongar la vida de la misma, sólo han tenido un efecto limitado en las propiedades de la unión. La reducción del diámetro de la parte del resalte de sujeción de la herramienta puede reducir la entrada de calor, pero conduce también a una consolidación inadecuada del material y a la generación de grandes cantidades de chispas.

45 De acuerdo con la presente invención, un método de fricción-agitación incluye provocar la entrada de una sonda giratoria de una herramienta de fricción-agitación en una pieza de trabajo o en una región de unión entre una pareja de piezas de trabajo, donde la pieza de trabajo o cada pieza de trabajo son un metal o una aleación metálica de baja conductividad y elevado punto de fusión, es decir un metal o una aleación metálica con una temperatura de fusión por encima de la del aluminio y una conductividad térmica menor que la del aluminio, caracterizado porque la herramienta de fricción-agitación tiene un único resalte de sujeción desde el cual se extiende la sonda, donde el resalte de sujeción está en contacto con la pieza de trabajo o las piezas de trabajo y porque la sonda gira de manera relativa al resalte de sujeción, y porque el resalte de sujeción no gira de manera relativa a la pieza de trabajo o a las piezas de trabajo.

55 Hemos llevado a cabo un estudio detallado de la técnica de FSW con materiales de alta temperatura, particularmente metales, y hemos apreciado que el problema más serio es la generación de un calor excesivo en

estos materiales de alta temperatura y baja conductividad. El calor generado por la herramienta de FSW tiende a permanecer localizado alrededor del área de soldadura, lo que puede conducir a un sobrecalentamiento del material de la pieza de trabajo.

5 Incluso una reducción del diámetro del resalte de sujeción (para reducir la entrada de calor de superficie) no supera los problemas del sobrecalentamiento de superficie. Sin embargo, con la invención, es posible controlar la entrada de calor manteniendo una mezcla adecuada y una acción de consolidación.

10 Por consiguiente, en la invención, la sonda gira de manera separada con respecto a cualquier resalte de sujeción. La razón es que para unir materiales de alta temperatura y baja conductividad es muy favorable que no exista ninguna interdependencia directa entre una fuente de calentamiento de superficie y una fuente de calentamiento interno, tal como la existente cuando se utilizan herramientas de soldadura por fricción-agitación con cualquier sistema de sonda/resalte de sujeción fijo. El desacoplamiento giratorio completo del resalte de sujeción (o los resaltes de sujeción) y la sonda permite un suministro independiente de entrada de calor hacia y a través de un material. En particular, el perno transmite una velocidad suficiente para mezclar material mientras el resalte de sujeción o los resaltes de sujeción proporcionan una consolidación suficiente a la superficie del material sin provocar un sobrecalentamiento de superficie grueso.

15 El resalte de sujeción separado, que es estacionario con respecto a la pieza de trabajo, añade muy poco calor (si es que añade alguno) a la superficie de soldadura y por consiguiente evita los problemas de sobrecalentamiento de superficie que aparece en la técnica de FSW convencional con materiales de alta temperatura y baja conductividad. Cuando se proporciona un único resalte de sujeción y cuando el resalte de sujeción está en posición, apoyado contra la superficie superior de una pieza de trabajo, la herramienta de FSW giratoria consiste generalmente en un componente de sonda solamente, aunque es posible utilizar una configuración de sondas escalonadas. Esta sonda giratoria genera el calor que se necesita para el proceso de FSW, y pueden producirse soldaduras de buena calidad en materiales de alta temperatura y baja conductividad.

20 Es sabido que puede proporcionarse una herramienta de soldadura por fricción-agitación que posee una sonda y un resalte de sujeción separados pero nunca se ha reconocido que una herramienta tal sea particularmente ventajosa para su utilización cuando se sueldan materiales de alta temperatura.

25 Por ejemplo, el documento JP 2004-358513A describe una herramienta de soldadura por fricción-agitación para unir materiales que tienen una resistencia a la compresión baja (extrusiones) y características finas. Ésta utiliza una herramienta calentada y un resalte de sujeción independiente para reducir la dependencia geométrica del perno/resalte de sujeción y reducir por consiguiente el tamaño del perno y la fuerza necesaria cuando se unen piezas con geometría difícil. En ningún momento tiene como objetivo ocuparse de los problemas de la soldadura de materiales de alta temperatura mediante soldadura por fricción-agitación.

30 El documento US 6.811.632B describe un método y un aparato para unir materiales termoplásticos utilizando la técnica de FSW. El aspecto inventivo implica la utilización de una herramienta que está constituida por un perno y una superficie de contención estacionaria separados. La invención tiene como objetivo ocuparse de la cuestión de la expulsión material de material termoplástico que ocurriría de otro modo debido a la acción de un resalte de sujeción giratorio. Esta invención está destinada específicamente a la unión de materiales termoplásticos y en ningún momento sugiere que pudiesen unirse metales utilizando un aparato con características similares. Esta patente sugiere que los métodos de soldadura por fricción-agitación que funcionan para metales no funcionan para plásticos y viceversa. Se aducen muchas razones para esto basándose en las propiedades radicalmente diferentes de plásticos y metales. Éstas incluyen el hecho de que los plásticos se derriten durante el proceso mientras que los metales no lo hacen, que los metales necesitan que se transmita una cierta cantidad de fuerza para ayudar en la consolidación y en el flujo perpendicular de material mientras que los plásticos no lo necesitan. También se señala vivamente que la introducción de calor a través de la superficie estacionaria es crítica para el éxito del proceso en el caso de los plásticos. Esta patente apunta meramente a la unión de plásticos sin hacer ninguna mención a la unión de metales utilizando esta técnica. Se menciona específicamente que se necesita contención pero no presión por parte de una pieza de contención. Una presión en la dirección vertical influye en el material de manera diferente y provoca problemas en el caso de los plásticos. Debido a que las propiedades inherentes de los materiales de alta temperatura son inexistentes más todavía en los plásticos que en los metales, podría esperarse que se adoptara una estrategia opuesta.

35 El documento EP-A-1021270 se refiere a un aparato para unir piezas de trabajo utilizando la técnica de FSW. El aspecto inventivo implica la utilización de un perno y un cuerpo (la parte más baja de la cual constituye el resalte de sujeción, como en una herramienta FSW típica) que son desplazables entre sí, permitiendo que el perno y el cuerpo lleven a cabo patrones de movimiento diferentes de manera relativa entre ellos. La patente describe la utilización de un cuerpo puramente estacionario con la necesidad de suministrar calor adicional a la región de la unión debido a la falta de calor por fricción producido por la región del resalte de sujeción. Esta invención tiene como objetivo ocuparse de las cuestiones de los grosores variables en piezas de trabajo y el suministro de material adicional durante el proceso de unión. En ningún momento tiene como objetivo ocuparse de los problemas de soldar materiales de alta temperatura mediante soldadura por fricción-agitación y no puede realizarse ninguna conexión

obvia entre la utilización de un resalte de sujeción estacionario y la unión de materiales de alta temperatura. Debido a las mismas propiedades de los materiales de alta temperatura, una persona experta en la técnica esperaría una entrada de calor mayor.

5 Además de ser adecuada para la soldadura por fricción-agitación (FSW), la invención es aplicable a otras aplicaciones de fricción-agitación, incluyendo el procesamiento por fricción-agitación, la soldadura por puntos por fricción-agitación, la canalización por fricción-agitación y cualquier otra aplicación que utilice materiales de alta temperatura. Sin embargo, la invención será descrita principalmente con referencia a la técnica de FSW aunque se entenderá fácilmente de las características propias preferidas también son aplicables a otras aplicaciones.

10 Este método también puede ser utilizado para unir piezas con geometría de unión no plana, tales como el diámetro interno y externo de una tubería, una esquina o un chaflán, o incluso componentes escalonados. En estos casos, el resalte de sujeción, por ejemplo con forma de deslizador no giratorio, podría diseñarse para seguir la forma de un componente o la forma de la soldadura que debe formarse. Aún más, puede utilizarse para unir más de dos piezas de trabajo.

15 Para mejorar adicionalmente la calidad de la unión, podrían aplicarse revestimientos de superficie o tratamientos de superficie a los resaltes de sujeción y la sonda o a uno de ellos. Estos revestimientos y tratamientos podrían mostrar propiedades de baja fricción, resistencia al desgaste, resistencia a la temperatura, resistencia a la difusión, y baja reactividad y lubricación de estado sólido. Ejemplos de tratamientos incluyen nitrar, carburizar y nitrocarburizar. Ejemplos de revestimientos incluyen cerámicas tales como la alúmina, zirconia, nitruro de silicio y sialón; y metales refractarios tales como el molibdeno, hierro fundido y PCBN.

20 Puede aplicarse un gas inerte de apantallamiento a través del resalte de sujeción y alrededor del deslizador para evitar la oxidación y para ayudar en la refrigeración. Ejemplos incluyen argón y helio. Podría aplicarse un precalentamiento para pre-ablandar el material antes de la soldadura.

El resalte de sujeción o los resaltes de sujeción pueden ser refrigerados (agua, gas, sumidero de calor).

25 Podría aplicarse un post-calentamiento/refrigeración para controlar el ciclo térmico experimentado por el material de la pieza de trabajo detrás de la herramienta.

30 Podría adoptarse una estrategia de sondas gemelas para reducir las fuerzas laterales generadas y para mejorar la calidad de la soldadura y la vida útil de la herramienta. En este caso, podrían proporcionarse dos sondas giratorias que se extendiesen a través de aberturas respectivas en un único resalte de sujeción, donde las sondas estarían bien en línea con la dirección del movimiento de la sonda o bien ligeramente desplazadas. Las sondas podrían tener diferentes tamaños (longitud y/o espesor) y podrían girar en sentidos opuestos.

Podrían aplicarse múltiples sondas para el procesamiento de las diferentes áreas del material de la pieza de trabajo.

35 Durante un proceso de soldadura, el componente de sonda puede ser retraído de manera gradual para desaparecer de la soldadura, o puede ser extendido/retraído para procesar secciones más gruesas / más delgadas del componente, mientras el resalte de sujeción o los resaltes de sujeción permanecen en contacto con las piezas de trabajo.

El resalte de sujeción será normalmente un deslizador estacionario.

40 Construir el resalte de sujeción a partir de más de un tipo de material o más de una pieza es preferencial, y también utilizar una pieza insertada de alta temperatura o con un revestimiento especial para contener el material cerca de la sonda giratoria. Por ejemplo, un resalte de sujeción podría estar hecho primariamente de una aleación basada en níquel pero con una pieza insertada definida alrededor de una abertura a través de la cual se extiende la sonda, donde la pieza insertada está fabricada de un metal cerámico o refractario tal como los mencionados anteriormente.

La sonda podría estar acoplada a través de un soporte macizo al resalte de sujeción o podría disponerse un pequeño huelgo entre ellos.

45 El resalte de sujeción estará normalmente sujeto a una carga activa aplicada durante su utilización, típicamente de un valor entre 500 y 5.000 Kg, habitualmente alrededor de 3.000 Kg.

Pueden unirse o procesarse muchos tipos y combinaciones diferentes de material, incluyendo:

Titanio y aleaciones,

Hierro, aceros y otras aleaciones,

Níquel y aleaciones,

50 Vanadio y aleaciones,

- 5 Cromo y aleaciones,
- Manganeso y aleaciones,
- Cobalto y aleaciones,
- Zirconio y aleaciones,
- Paladio y aleaciones,
- Hafnio y aleaciones,
- Platino y aleaciones.

10 Pueden unirse combinaciones de materiales diferentes. Debido a la zona de calentamiento y de mezcla muy estrecha proporcionada por la sonda en solitario, la posición de la región de unión puede ser tal que se mezcle y se caliente preferentemente un material sobre el otro. Esto puede ser especialmente beneficioso cuando las propiedades de unión están comúnmente limitadas por la formación de compuestos inter-metálicos. El calentamiento de superficie reducido tiene el potencial para limitar la formación de inter-metales y hace posible la unión de muchas combinaciones de materiales distintos que no eran soldables anteriormente. De hecho, muchos materiales distintos diferentes de los metales y las aleaciones metálicas de alta temperatura y baja conductividad pueden unirse utilizando las herramientas de fricción-agitación descritas en esta especificación.

15 Además de facilitar la unión exitosa de materiales de alta temperatura, el método anteriormente citado también proporciona ventajas en el equilibrado de la entrada de calor en la región de unión cuando se unen materiales. El método puede adaptarse para proporcionar propiedades de unión y microestructuras específicas. El acabado superficial de las uniones realizadas utilizando el deslizador tiene generalmente una calidad mucho mejor que el producido mediante la utilización de otras técnicas, tanto de fricción-agitación como basadas en fusión.

Otras ventajas de esta estrategia incluyen:

20 La habilidad para producir soldaduras de buena calidad en un proceso FSW estable con materiales de alta temperatura y baja conductividad.

25 Una velocidad de soldadura mejorada con materiales de alta temperatura y baja conductividad comparada con la técnica FSW convencional (donde el sobrecalentamiento de la soldadura es el factor limitante).

Una calidad de la raíz de soldadura mejorada comparada con la técnica FSW convencional, y como también ocurre con la sonda giratoria en solitario, la entrada de calor a través de la soldadura está equilibrada de manera más uniforme.

30 Potencial para un desgaste reducido de la herramienta de FSW y vida útil de la herramienta mejorada debido a la distribución de calor más equilibrada en la soldadura.

La utilización de una sonda giratoria como una parte separada reduce el volumen del material de alta temperatura necesario para la herramienta FSW, lo que permite una calidad avanzada/mayor de los materiales que van a utilizarse en la herramienta, dando como resultado un rendimiento mejorado de la herramienta.

35 La utilización de un resalte de sujeción deslizador no giratorio y una entrada reducida de calor de superficie reduce la posibilidad de contaminación en la soldadura, especialmente cuando se unen materiales tales como el titanio, ya que el resalte de sujeción aísla la unión o la región procesada del ambiente externo.

Se describirán a continuación algunos ejemplos de métodos y aparatos para llevar a cabo métodos de acuerdo con la invención con referencia a los dibujos que acompañan, en los cuales:

40 Las Figuras 1 y 2 son fotografías que ilustran la apariencia de uniones entre materiales de alta temperatura utilizando un método FSW convencional;

La Figura 3 es un diagrama esquemático de un primer ejemplo de un aparato de FSW para llevar a cabo un método de acuerdo con la invención;

La Figura 4 es una sección transversal a través de un segundo ejemplo de aparato para llevar a cabo un método de acuerdo con la presente invención;

45 La Figura 5 es una fotografía de una junta de presión soldada fabricada utilizando un método de acuerdo con la invención; y,

La Figura 6 es una sección transversal tomada a través de la soldadura mostrada en la Figura 5.

- Las Figuras 1 y 2 ilustran los problemas que aparecen cuando se utilizan métodos FSW convencionales para soldar materiales de alta temperatura, en este caso dos piezas de trabajo de Ti-6Al-4V. Como puede verse en ambas Figuras, se produce un sobrecalentamiento grueso de la superficie de unión que conduce a un sobre-ablandamiento del material, un confinamiento inadecuado del material y un pobre acabado de la superficie. En la Figura 1, se utilizó un resalte de sujeción de 25 mm de diámetro con una sonda de 15 mm de diámetro, donde la sonda giró a 200 rpm y se desplazó a 100 mm/min. En la Figura 2 se utilizó un resalte de sujeción de 15 mm de diámetro con una sonda o perno de 6 mm de diámetro que giró a 250 rpm y se desplazó a una velocidad de entre 60 y 90 mm/min.
- La Figura 3 ilustra un ejemplo de un aparato simple para llevar a cabo un método de acuerdo con la invención. En este caso, una sonda 1 alargada se extiende cuando se aplica carga por un husillo 2 en una región 7 de unión entre una pareja de piezas 8, 9 de trabajo de metal de alta temperatura presionadas entre sí. El husillo de la máquina está montado en una cabeza 3 de soporte de la herramienta principal que a su vez está sujeta mediante un deslizador 4 no giratorio que define un componente de resalte de sujeción situado también debajo de la carga. La sonda puede estar hecha de una aleación refractaria tal como tungsteno o molibdeno o de manera alternativa podría estar basada en un material cerámico constituido por alúmina, zirconia y materiales de ese tipo. El deslizador 4 está fabricado típicamente de una aleación basada en níquel u otro material de alta temperatura y tiene una pieza insertada, tal como se describió anteriormente, situada cerca de la sonda 1.
- Durante la utilización, el husillo 2 de la máquina y por consiguiente la sonda 1 se hacen girar a alta velocidad, por ejemplo entre 10 y 1.000 rpm, típicamente a alrededor de 500 rpm, y la sonda se inserta entre las piezas 8, 9 de trabajo. A continuación, la sonda y el deslizador 4, que está en contacto con las superficies superiores de las piezas 8, 9 de trabajo, son forzados a moverse bajo la carga aplicada en la dirección de una flecha 10 con el fin de soldar por fricción-agitación las piezas de trabajo una con otra a lo largo de una región 5 de unión. La región recorrida por el deslizador 4, que no gira, se ilustra mediante el número de referencia 6.
- El aparato cuyo principio se muestra en la Figura 3 se muestra en una realización más práctica en la Figura 4. La Figura 4 ilustra la herramienta FSW constituida por una carcasa 20 principal que soporta de manera giratoria un husillo 13 de máquina a través de husillo 11 de soporte, donde el extremo superior se conectará con un motor de accionamiento para accionar de manera giratoria el husillo de máquina, y donde el extremo inferior está soportado por una cabeza 14 de soporte de herramienta principal fijada en la carcasa 20.
- Una sonda 17 de FSW está conectada al extremo del husillo 13 principal y sobresale a través de la abertura 21 existente en una parte 15 más baja de la carcasa 20.
- La parte 15 más baja de la carcasa 20 soporta un componente 18 deslizador no giratorio equivalente al resalte de sujeción de una herramienta FSW convencional, donde el componente deslizador tiene un cartucho 22 central de alta temperatura insertado en la abertura 21 de manera que define una abertura a través de la cual se extiende la sonda 17.
- Puede suministrarse gas inerte de apantallamiento a través de un orificio 12 de entrada de manera que salga a través de los orificios 16 de salida.
- La Figura 5 es una fotografía de una junta de presión soldada en Ti-6Al-4V fabricada mediante la utilización del aparato mostrado en la Figura 4. En este caso, la sonda tenía un diámetro de 8 mm, giraba a 300 rpm y se desplazaba a 80 mm/min. Debería apreciarse que no ha tenido lugar ningún acabado post-soldadura pero puede verse que se ha obtenido una unión muy mejorada. En la Figura 6 se muestra la misma junta en sección transversal.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1.- Un método de fricción-agitación que incluye provocar la entrada de una sonda (1) giratoria de una herramienta de fricción-agitación en una pieza de trabajo o en una región (7) de unión entre una pareja de piezas (8, 9) de trabajo, donde la pieza o cada pieza de trabajo es un metal o una aleación metálica de baja conductividad y elevado punto de fusión, es decir un metal o una aleación metálica con una temperatura de fusión por encima de la del aluminio y conductividad térmica menor que la del aluminio, caracterizado porque la herramienta de fricción-agitación tiene un único resalte (4) de sujeción desde el que se extiende la sonda, donde el resalte de sujeción está en contacto con la pieza o las piezas de trabajo, y porque la sonda gira de manera relativa al resalte (4) de sujeción, y porque el resalte (4) de sujeción no gira de manera relativa a la pieza o las piezas (8, 9) de trabajo.
- 10 2.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1, para unir una pareja de piezas de trabajo, que incluye adicionalmente el movimiento de la herramienta a lo largo de la línea (7) de unión entre las piezas (8, 9) de trabajo.
- 3.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1, para procesar una pieza de trabajo, que comprende adicionalmente el movimiento de la herramienta a lo largo de una línea (7) que se extiende a lo largo de la pieza de trabajo.
- 15 4.- Un método de acuerdo con la reivindicación 2 ó la reivindicación 3, en el que el resalte (4) de sujeción define una pieza deslizadora.
- 5.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el resalte (4) de sujeción tiene una forma adecuada para ajustarse a la forma de la superficie o las superficies de la pieza o las piezas (8, 9) de trabajo contra las cuales se apoya.
- 20 6.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que tanto la sonda (1) como el resalte (4) de sujeción o uno solo de ellos se proporciona con un revestimiento de superficie o un tratamiento de superficie que muestra una propiedad o más de entre las siguientes: baja fricción, resistencia al desgaste, resistencia a la temperatura, resistencia a la difusión, baja reactividad y lubricación de estado sólido.
- 25 7.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende adicionalmente suministrar un gas de apantallamiento a la región existente entre el resalte (4) de sujeción y la pieza o las piezas (8, 9) de trabajo.
- 8.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende adicionalmente suministrar refrigerante y/o lubricante a la región existente entre el resalte (4) de sujeción y la pieza o las piezas (8, 9) de trabajo.
- 30 9.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el resalte (4) de sujeción está formado por más de una pieza, donde la pieza más cercana a la sonda tiene un punto de fusión elevado.
- 10.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la pieza o cada una de las piezas (8, 9) de trabajo se selecciona de entre un grupo que comprende
- 35 Titanio y aleaciones,  
Hierro, aceros y otras aleaciones,  
Níquel y aleaciones,  
Vanadio y aleaciones,  
Cromo y aleaciones,
- 40 Manganeso y aleaciones,  
Cobalto y aleaciones,  
Zirconio y aleaciones,  
Paladio y aleaciones,  
Hafnio y aleaciones,
- 45 Platino y aleaciones.
- 11.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes para unir una pareja de piezas (8, 9) de trabajo, en el que las piezas de trabajo están constituidas por materiales diferentes.

12.- Un método de acuerdo con al menos la reivindicación 2 ó la reivindicación 3, en el que la sonda (1) se retrae, mientras gira, cuando la herramienta se acerca al final de la línea (7), mientras que el resalte de sujeción permanece en contacto con la pieza o las piezas de trabajo.

5 13.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el punto de fusión del metal o de la aleación metálica es mayor de 700°C.

14.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la conductividad térmica del metal o de la aleación metálica es menor de 250 W/m K.

Fig.1.

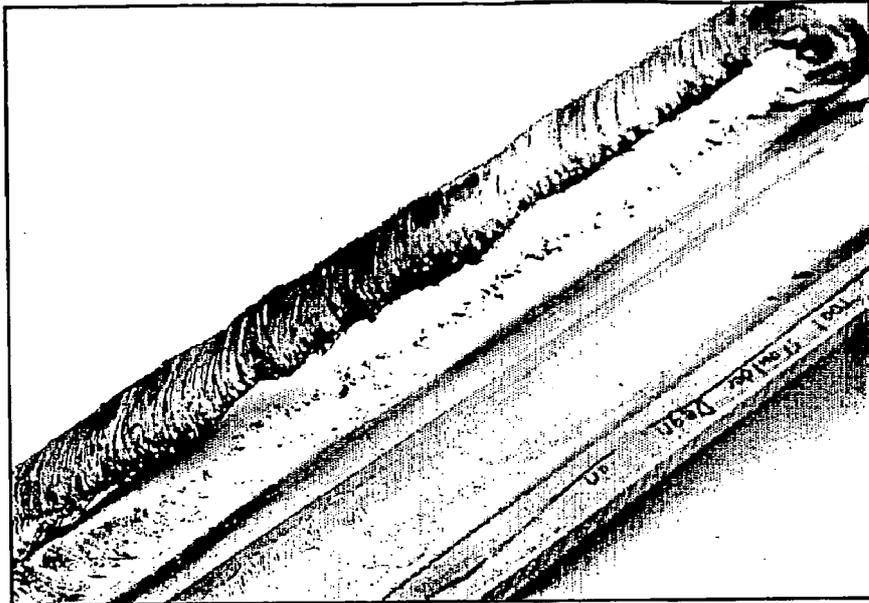


Fig.2.

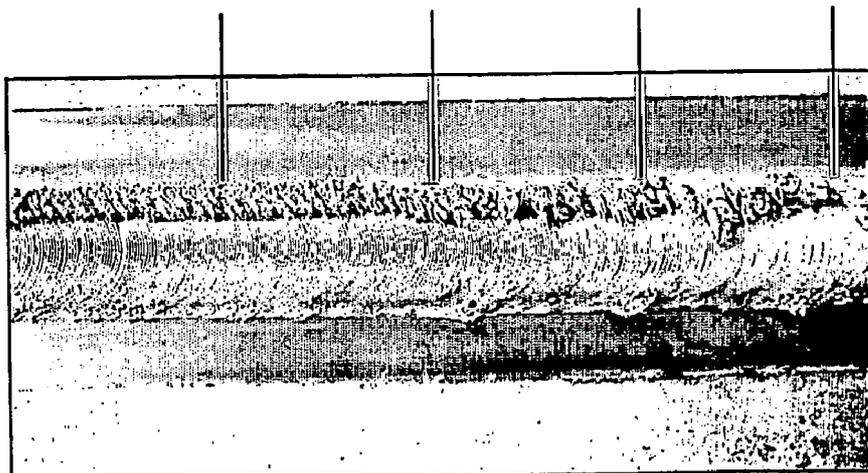


Fig.3.

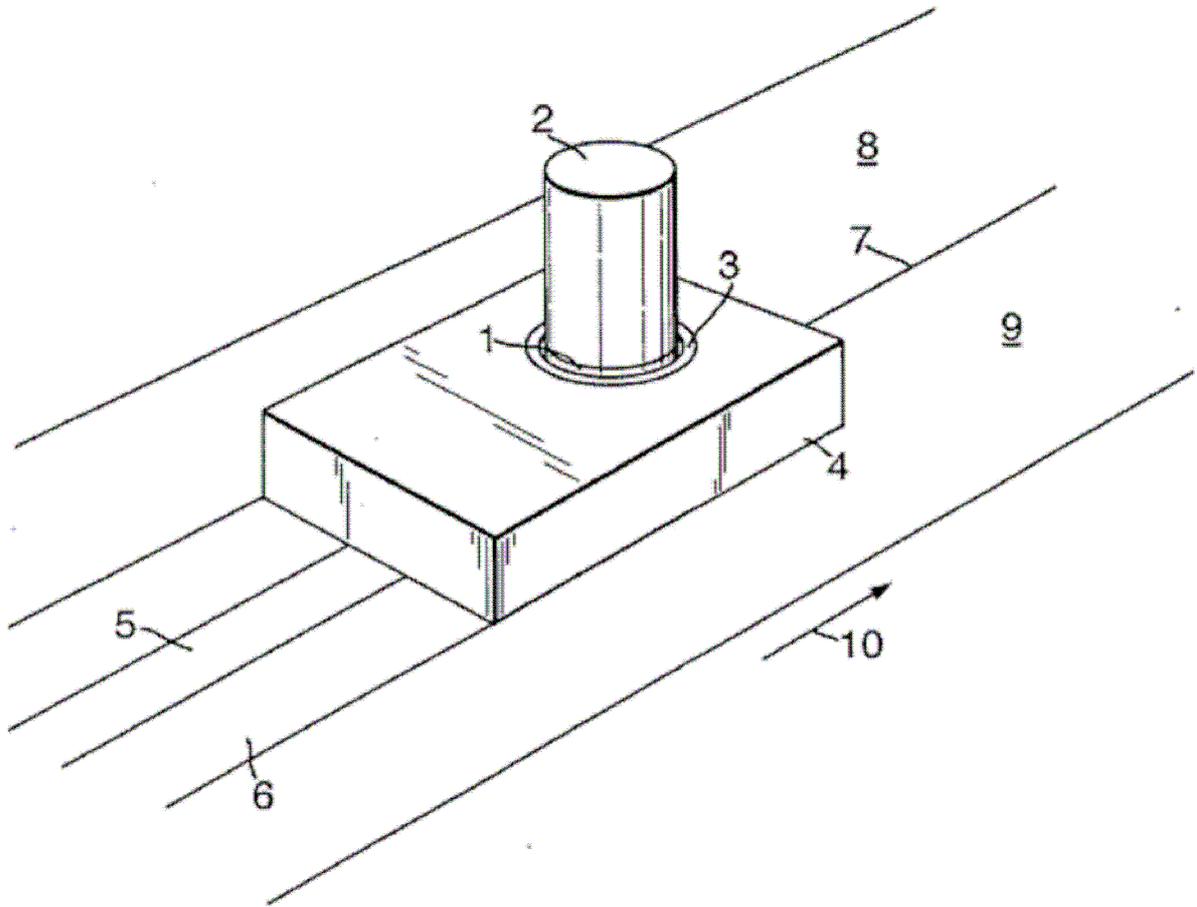


Fig.4.

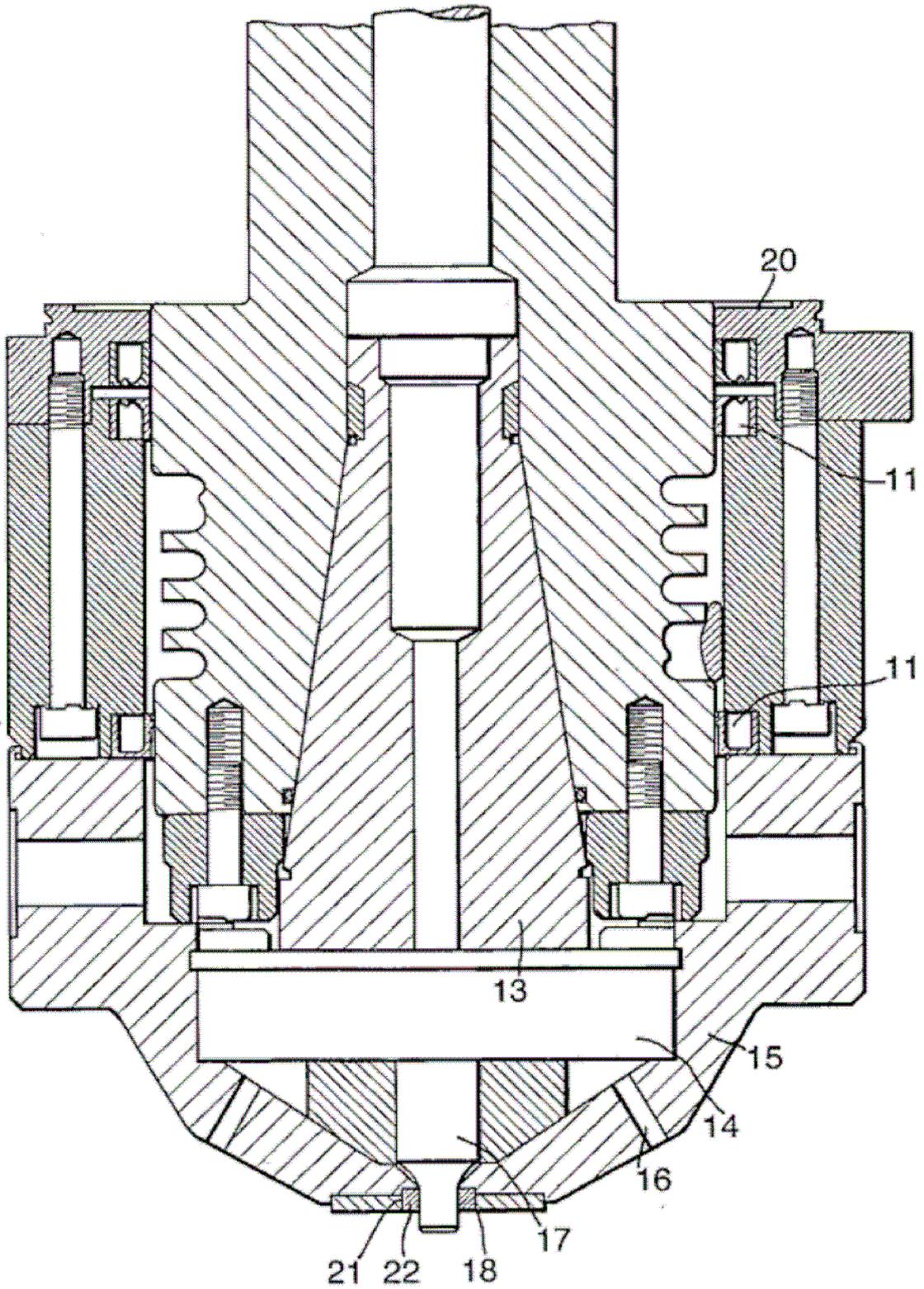


Fig.5.

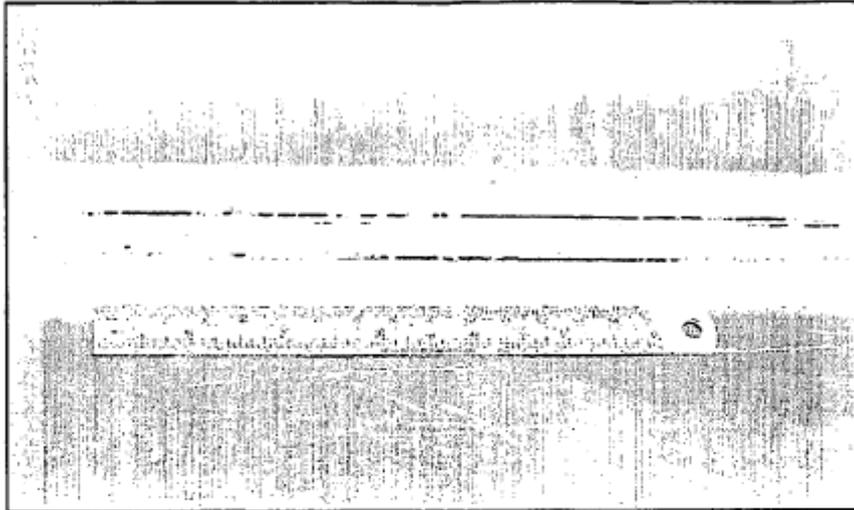
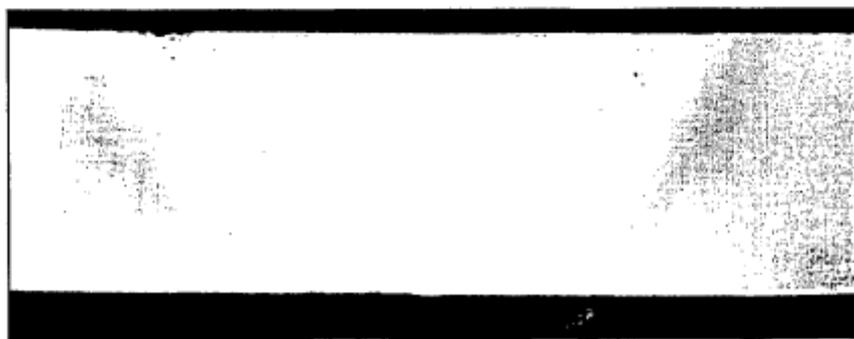


Fig.6.



2mm