

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 775 624**

51 Int. Cl.:

**B23K 26/00** (2014.01)

**B23K 26/06** (2014.01)

**B23K 26/073** (2006.01)

**B23K 26/08** (2014.01)

**B23K 26/26** (2014.01)

**B23K 35/02** (2006.01)

**B23K 26/0622** (2014.01)

**B23K 26/22** (2006.01)

**B23K 26/24** (2014.01)

**B23K 26/324** (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.10.2016 PCT/EP2016/001810**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.05.2017 WO17076494**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.10.2016 E 16793748 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2019 EP 3370913**

54 Título: **Método para ensamblar dos componentes en el área de una zona de ensamblaje mediante al menos un rayo láser, y método para producir una costura de ensamblaje continua**

30 Prioridad:  
**02.11.2015 DE 102015014060**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**27.07.2020**

73 Titular/es:  
**FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. (100.0%)  
Hansastraße 27C  
80686 München, DE**

72 Inventor/es:  
**BRITTEN, SIMON;  
MEHLMANN, BENJAMIN;  
OLOWINSKY, ALEXANDER y  
GILLNER, ARNOLD**

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

ES 2 775 624 T3

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

**DESCRIPCIÓN**

Método para ensamblar dos componentes en el área de una zona de ensamblaje mediante al menos un rayo láser, y método para producir una costura de ensamblaje continua

5 La presente invención se refiere a un método para ensamblar dos componentes en el área de una zona de ensamblaje mediante al menos un rayo láser y a un método para producir una costura de ensamblaje continua con las características indicadas en el preámbulo de la reivindicación 1.

10 Por el documento EP 1 349 696 A1 (WO 02/051580 A1) se conoce un método de este tipo.

Ya se conocen diferentes métodos que se utilizan para ensamblar dos componentes.

15 Siempre que en el presente documento se mencione la expresión "ensamblar", se refiere a la unión de dos componentes en el área de una zona de ensamblaje, en cuya área los dos componentes se unen entre sí por fusión.

En el estado actual de la técnica se utilizan diferentes métodos para ensamblar componentes.

20 En la soldadura por rayo láser convencional, los dos elementos de ensamblaje se ponen en un contacto lo más estrecho posible entre sí. Idealmente no existe ningún intersticio entre los dos componentes. No obstante, debido a inexactitudes de los componentes, frecuentemente existe un intersticio que ha de ser llenado mediante el proceso de soldadura. En la soldadura por rayo láser convencional, los dos elementos de ensamblaje se funden localmente mediante el rayo láser, calentándose y fundiéndose localmente el primer elemento de ensamblaje mediante el rayo láser de tal modo que el segundo elemento de ensamblaje se funde al mismo tiempo por conducción térmica. En la soldadura profunda, la fusión del segundo componente tiene lugar de tal modo que el rayo láser penetra a través de un capilar de vapor en el primer componente y de este modo la radiación láser incide directamente sobre el segundo componente. En cualquier caso, en la soldadura por rayo láser convencional, el tamaño de la zona de fusión en los dos componentes se determina mediante el aporte continuo de energía láser.

30 En la soldadura de pico por láser se sueldan entre sí chapas metálicas delgadas en una disposición solapada. El material necesario para producir la unión por soldadura procede exclusivamente del elemento de ensamblaje superior, de modo que no es necesario ningún material adicional. El método permite llenar el intersticio entre los elementos de ensamblaje con distancias de hasta un 100% del espesor de material del elemento de ensamblaje superior. Con este método se han de evitar salpicaduras y ensuciamientos en el proceso de soldadura de construcciones de acero, aumentando al mismo tiempo la tolerancia de intersticio entre los elementos de ensamblaje. El proceso se desarrolla en dos fases. La etapa de calentamiento previo sirve para fundir el material en el elemento de ensamblaje superior. Para obtener una lenteja fundida estable, la potencia de pulso se elige de tal modo que no se supere el umbral de proceso para la soldadura profunda. De este modo se logra que el material se funda hasta la cara inferior del elemento de ensamblaje superior y que la energía inducida adicionalmente en la fase de pico esté completamente disponible para la desviación de material. La fase de pico se inicia mediante un aumento de la potencia, limitado en el tiempo, a continuación de la fase de calentamiento previo, y sirve para desviar el material fundido hacia el elemento de ensamblaje inferior. El aumento de la temperatura hasta la evaporación se lleva a cabo mediante un aumento de la potencia dentro de un pulso de láser con diámetro de foco invariable. Se sobrepasa la temperatura de ebullición en la superficie del baño de fusión y se evapora material. En este contexto, el retroceso de las partículas de vapor que salen aceleradas de la masa fundida genera una presión sobre la superficie del baño de fusión.

50 Otro método conocido es el *Laser Droplet Welding* (LDW), que consiste en un método de soldadura sin contacto utilizando un material adicional que se incorpora al proceso en forma de un alambre. Este método sirve para ensamblar componentes electrónicos mediante bolas de soldadura que se funden del alambre (soldadura en ángulo). El dispositivo correspondiente consiste en un sistema para la alimentación automática de alambre y un sistema de láser para proporcionar la radiación de proceso. El alambre de soldadura se alimenta verticalmente para facilitar el goteo de la masa fundida. Para asegurar un calentamiento homogéneo del alambre de soldadura, el aporte de energía tiene lugar mediante tres rayos láser desplazados 120° y enfocados al alambre. Una disposición alternativa con rayo láser desde arriba y alimentación lateral del alambre posibilita un calentamiento previo del sustrato mediante radiación láser desenfocada.

55 Una modificación del método LDW anteriormente descrito consiste en el, así llamado, *Laser Droplet Brazing*, en el que una preforma metálica se posiciona previamente en una boquilla, se funde con un rayo láser y se sopla hacia afuera mediante presión de gas de nitrógeno en dirección a la pieza de trabajo.

60 Otro método conocido, el *Laser Impact Welding* (LIW) sirve para ensamblar componentes metálicos fijos en forma de chapa mediante propulsión inducida por láser del componente superior sobre el elemento de ensamblaje inferior. Esta soldadura de impacto aprovecha el efecto consistente en que mediante el aporte de una gran presión sobre dos superficies limpias se forma una unión firme; según la hipótesis usual, esta es la consecuencia de una difusión y recristalización a través de los límites de material de los elementos de ensamblaje. El punto de fusión de los dos materiales no tiene importancia.

- 5 Un tipo de soldadura de impacto es la soldadura por choque, en la que un elemento de ensamblaje más ligero experimenta una alta aceleración y choca a alta velocidad contra su equivalente. La presión que se produce en este proceso es suficiente para soldar los dos elementos de ensamblaje. Si para la aceleración del elemento de ensamblaje más ligero se genera un plasma con ayuda de ondas electromagnéticas agrupadas en haz, se habla de *Laser Impact Welding* (LIW). Las presiones aplicadas son del orden de  $10^9$  Pa.
- 10 El *Solder Jet Bumping* sirve para ensamblar sistemas microópticos mediante bolas de soldadura (soldadura en ángulo) y tiene lugar, de modo similar al *Laser Droplet Brazing*, con un soplado con nitrógeno de la masa fundida de soldadura.
- 15 El método LIFT (*Laser Induced Forward Transfer*) utiliza radiación láser para transferir material de una capa donadora a una capa receptora a través de un intersticio. En este contexto, la capa donadora se aplica sobre una capa de soporte que presenta un alto grado de transmisión para la longitud de onda del láser de procesamiento. Para transferir el material donador, el rayo láser se enfoca a través de la capa de soporte a la superficie límite con la capa donadora. La energía aportada por la irradiación a la capa donadora conduce al calentamiento de ésta. De este modo, el material comienza a fundirse en este lugar. El frente de fusión se extiende hacia la superficie libre del material donador, hasta que la presión en la superficie límite, condicionada por evaporación de material, es suficiente para soltar el material donador de la capa de soporte y acelerar el mismo hacia la capa receptora.
- 20 El documento EP 1 349 696 A1 (WO 02/051580 A1) describe un método para soldar piezas solapadas entre sí mediante al menos un rayo láser. El método se realiza en al menos dos etapas. En una primera etapa se forma al menos una masa fundida en al menos una pieza con una primera intensidad de láser, que se elige de tal modo que se produce muy poca o ninguna evaporación. En otra etapa, la al menos una masa fundida se empuja hacia una segunda pieza con una segunda intensidad de láser, que se elige de tal modo que se produce evaporación. La segunda intensidad de láser es mayor que la primera intensidad de láser, de modo que la al menos una pieza y la otra pieza se sueldan entre sí.
- 25 La presente invención tiene por objetivo especificar un método para ensamblar componentes metálicos más gruesos sobre un componente sensible con una capa metálica, en particular una metalización delgada (capa de ensamblaje inferior más delgada) sin que se produzcan daños en el componente inferior. En particular, el método ha de poder ser utilizado para el ensamblaje de componentes metálicos con capas metálicas sobre sustratos sensibles. Además se ha de especificar un método que posibilite la producción de una costura de ensamblaje con las ventajas correspondientes.
- 30 Este objetivo se resuelve mediante un método con las características indicadas en la reivindicación 1 y un método con las características indicadas en la reivindicación 10, sirviendo este último método para producir una costura de ensamblaje continua. En las reivindicaciones subordinadas se indican formas de realización preferidas del método.
- 35 Por sustratos sensibles se han de entender aquellos sustratos que tienden a agrietarse debido a un alto gradiente de temperatura y de las tensiones resultantes de ello, o que se degradan a causa de altas temperaturas locales. En el primer caso se puede tratar por ejemplo de películas metálicas delgadas sobre semiconductores y cerámicas, en el segundo caso de capas metálicas sobre plásticos.
- 40 De acuerdo con el método según la invención para ensamblar dos componentes en el área de una zona de ensamblaje se llevan a cabo las siguientes etapas de método utilizando al menos un rayo láser.
- 45 En primer lugar, un primer componente se posiciona en el área de la zona de ensamblaje separado térmicamente a distancia de un segundo componente, dejando un intersticio de ensamblaje entre el primer y el segundo componentes, visto en la dirección del espesor de los componentes. La anchura del intersticio de ensamblaje (en la dirección del espesor de los componentes) se mide teniendo en cuenta que la masa fundida producida en el primer componente se ha de desviar hacia el segundo componente mediante una presión de vapor y ha de entrar en contacto con éste. El espesor respectivo del componente, la temperatura y por lo tanto la viscosidad en la masa fundida, y la tensión superficial en la masa fundida en comparación con el estado no fundido influyen en la capacidad y el comportamiento de movimiento.
- 50 En una primera fase, el al menos un rayo láser, visto en la dirección del espesor de los componentes, se dirige al primer componente sobre la superficie de éste orientada en sentido opuesto al segundo componente. La superficie irradiada con el rayo láser se designa como superficie de irradiación  $A_L$ .
- 55 Siempre que en el presente documento se hable de una dirección del rayo láser, esta dirección se refiere a la dirección del rayo procedente de una óptica de enfoque hacia el componente.
- 60 Mediante este rayo láser se funde localmente el primer componente en todo su espesor, al menos correspondientemente al tamaño de la zona de ensamblaje. Es esencial elegir la energía absorbida en el primer componente a través del rayo láser, designada como  $Q_{L,a}$ , de modo que se cumpla la siguiente condición:
- 65

$$Q_{L,a} = \int \dot{Q}_{L,a} dt = Q_{B1} + \int \dot{Q}_{kond1} dt + dH_{M1} + Q_{B2} + \int \dot{Q}_{kond2} dt + dH_{M2}$$

con

$$Q_{L,a} = \int \dot{Q}_{L,a} dt$$

energía absorbida en el primer componente

$$Q_{B1} = \rho_1 \cdot A \cdot s_{B1} \cdot c_{p1} \cdot (T_{m1} - T_0)$$

energía necesaria para generar una lenteja fundida local en el primer componente

con  $\rho_1$  = densidad del primer componente,

$A_1$  = superficie de la lenteja fundida proyectada en la dirección del rayo láser,

$s_{B1}$  = espesor del primer componente,

$c_{p1}$  = capacidad térmica del primer componente,

$T_{m1}$  = temperatura de fusión del primer componente,

$T_0$  = temperatura ambiente

$$\int \dot{Q}_{Kond1} dt = Q_{kond1}$$

pérdidas térmicas por conducción en el primer componente

$dH_{M1}$

entalpía para un cambio de fase de material en el primer componente

$$Q_{B2} = \rho_2 \cdot A \cdot s_{B2} \cdot c_{p2} \cdot (T_{m2} - T_0)$$

energía necesaria para producir una película de masa fundida local en el segundo componente

con  $\rho_2$  = densidad del primer componente,

$A_2$  = superficie de la película de masa fundida proyectada en la dirección del rayo láser,

$s_{B2}$  = espesor de la película de masa fundida en el segundo componente,

$c_{p2}$  = capacidad térmica del segundo componente,

$T_{m2}$  = temperatura de fusión del segundo componente,

$T_0$  = temperatura ambiente

$$\int \dot{Q}_{Kond2} dt = Q_{kond2}$$

pérdidas térmicas por conducción en el segundo componente

$dH_{M2}$

entalpía para un cambio de fase de material en el segundo componente

En el primer componente se forma una lenteja fundida a partir del material fundido.

5

Después, en una segunda etapa, se aplica al menos un impulso de presión sobre la masa fundida en dirección al segundo componente hasta que la lenteja fundida, debido al impulso de presión, se desvía al intersticio de ensamblaje, llena el intersticio de ensamblaje y entra en contacto con el segundo componente. Mediante el contacto de la lenteja fundida con el segundo componente tiene lugar una transferencia de energía al segundo componente y, mediante la transferencia de energía, en el segundo componente se produce un perfil de temperatura tal que sobre la parte superior del componente se alcanza la temperatura de fusión de éste. Otro aspecto esencial consiste en que la profundidad de penetración del calor en el segundo componente se regula sobre la base de un tiempo de contacto, designado como  $t_{contacto}$ , de tal modo que a una profundidad predeterminada del segundo componente no se supera una temperatura de deterioro, designada como  $T_{deterioro}$ , que deteriora el segundo componente.

10

15

El tiempo de contacto  $t_{contacto}$  es el tiempo entre un primer contacto de la lenteja fundida con el segundo componente y la solidificación del material fundido en la lenteja fundida.

20

La temperatura de deterioro  $T_{deterioro}$  en el segundo componente se define como la temperatura  $T$  en la profundidad  $z_{krit,B2}$  del segundo componente en la dirección de su espesor, con la que bien se produce un deterioro del material situado debajo de la metalización o debajo de la capa metálica del segundo componente, bien tiene lugar un desprendimiento de la capa metálica situada sobre la superficie del segundo componente del material subyacente del segundo componente.

25

Mediante el método según la invención se posibilita un ensamblaje de componentes metálicos más gruesos sobre componentes más sensibles con capa de metalización delgada, sin que se produzcan deterioros en el segundo componente, el componente inferior. En particular, el método según la invención se puede utilizar en caso de sustratos sensibles para el segundo componente.

30

El método según la invención se utiliza en particular en el ensamblaje de un elemento de ensamblaje superior (visto en la dirección de la radiación láser) más grueso sobre un elemento de ensamblaje inferior más delgado, y en el componente inferior solo se produce un depósito de energía mínimo. Esto significa que, debido a un desacoplamiento térmico del componente superior y el componente inferior, en el componente inferior solo se produce un aporte de energía o solo se absorbe una energía  $Q_{L,a}$  tal que se produce un espesor de película de masa fundida delgado, pero suficiente para unir los dos componentes mediante unión por material. Por ello es esencial el intersticio entre los dos

35

componentes, a través del cual se realiza el desacoplamiento térmico. En el método según la invención, la fusión del segundo componente se produce principalmente a partir de la energía contenida en la masa fundida del primer componente. La potencia del rayo láser se reduce en el momento de ensamblaje propiamente dicho, que se considera como el momento en el que tiene lugar un contacto entre la masa fundida y el segundo componente. También resulta ventajoso que se reduzca o minimice la energía necesaria para el proceso de ensamblaje. En un método, el control del aporte de energía al primer componente se lleva a cabo de tal modo que el rayo láser, si bien genera la lenteja fundida y en caso dado también ejerce el impulso de presión sobre la masa fundida, no atraviesa la lenteja fundida. De este modo se garantiza que la superficie del segundo componente no es sometida a un aporte energético del rayo láser.

No obstante también está previsto que el aporte de energía en la lenteja fundida en la segunda fase se realice de tal modo que el rayo láser atraviese el primer componente sin producir primero una masa fundida en el segundo componente, o a lo sumo fundiendo el segundo componente de forma insignificante, y que la temperatura de la masa fundida que llena el intersticio no aumente más. El impulso de presión sobre la lenteja fundida, que se ha formado en el primer componente, se provoca en la segunda fase mediante una evaporación de material. Debido a este impulso de presión se produce una transferencia de la lenteja fundida, que no se desprende, desde el primer componente hacia el segundo componente, que resulta en un contacto entre la lenteja fundida del primer componente y la cara superior del segundo componente orientada hacia el primer componente. Después, el segundo componente se calienta y se funde superficialmente por la energía térmica acumulada en la masa fundida que se encuentra en el intersticio, de modo que las masas fundidas de los dos componentes se unen.

Estos impulsos de presión se pueden producir mediante el rayo láser que genera la lenteja fundida en el primer componente. No obstante también está previsto que estos impulsos de presión sean ejercidos mediante una herramienta de irradiación, por ejemplo un haz de electrones, una descarga de cámara hueca, una presión de gas o presión de fluido, un impulso mecánico, un campo eléctrico, una atracción electrostática, la utilización de un efecto de Bernoulli.

Además está previsto utilizar determinadas técnicas de modulación para lograr una transferencia de baja energía de la masa fundida desde el primer componente hasta el segundo componente a través del intersticio. El proceso se regula preferiblemente de tal modo que se evita o al menos se minimiza un paso del rayo láser a través de la lenteja fundida.

Mediante una técnica de modulación adaptada se logra una distribución temporal y/o local de una evaporación del material del primer componente en el área de la lenteja fundida, para desviar ésta selectivamente a través del intersticio. Mediante este control temporal y/o espacial de la evaporación a través de técnicas de modulación correspondientes se controla la evaporación temporal y espacial del material del primer componente y, por lo tanto, la distribución de presión en la masa fundida, y de este modo se necesita y se aporta menos energía a los elementos de ensamblaje que la requerida por métodos del estado actual de la técnica.

En cambio, una distribución tridimensional de la evaporación y la presión conduce a una fuerte localización del área de evaporación y a un paso del rayo láser a través del primer componente y/o a un aporte de energía adicional al segundo componente, el componente inferior, aunque ya se ha alcanzado la conexión de la masa fundida con el segundo componente.

Está previsto que el/los impulso(s) de presión aplicado(s) en la segunda fase sea(n) provocado(s) por una modulación diferente de la radiación láser.

Además de una modulación de potencia temporal de la radiación láser y del foco del rayo láser, también está prevista una modulación de potencia local, una modulación de foco temporal del rayo láser, o una combinación de éstas.

Para una modulación de temperatura temporal en la superficie del primer componente, la energía absorbida  $Q_{L,a}$  en el primer componente a través del rayo láser se modula temporalmente en la segunda fase, reduciendo o aumentando el tamaño de la superficie de irradiación con una potencia de láser aproximadamente igual. Dicha reducción se realiza de tal modo que el radio del rayo se modifica variando la distancia de la lente de enfoque y el componente o cambiando la divergencia del rayo láser.

También está previsto modificar al mismo tiempo tanto la superficie de irradiación de la radiación láser sobre el primer componente como la potencia de láser irradiada. En este contexto se ha de tener en cuenta la relación

$$P_L = \int \frac{Q_{L,a}}{A_x} dt / t_P$$

, en donde  $P_L$  indica la potencia de láser,  $A_x$  el grado de absorción del primer componente para la radiación láser, y  $t_P$  el tiempo de proceso, es decir, el tiempo formado por la suma del tiempo de calentamiento y fusión del primer componente, el tiempo de contacto y de transferencia de calor al segundo componente. Sobre la base de esta relación, la superficie de irradiación se modifica de tal modo que en primer lugar se establece el área del primer componente en la que se forma una masa fundida y por lo tanto el contenido de energía en dicha masa fundida, y en segundo lugar se controla la temperatura superficial para la generación de una fase de vapor.

De forma especialmente preferida, la relación entre la potencia de láser irradiada en el primer componente, que está en correlación con la energía absorbida  $Q_{L,a}$  en el primer componente, y la superficie de irradiación  $A_L$  (superficie de irradiación de láser sobre el primer componente) se mantiene constante, y se lleva a cabo una reducción de la superficie de irradiación  $A_L$  para producir una temperatura más alta en el centro de la superficie de irradiación  $A_L$  debido a una reducción de las pérdidas por conducción en el primer componente.

La ventaja especial de la modificación de la superficie de irradiación en el sentido de aumentar la misma consiste en la reducción de energía necesaria y en una dinámica de movimiento controlada para la segunda fase, en concreto debido a que el aumento de la superficie de irradiación genera un menor gradiente de tensión superficial en el primer componente y, por lo tanto, una lenteja fundida más estable.

Una modulación de potencia temporal puede tener lugar mediante una modulación temporal de la radiación láser con una rampa de potencia, adaptada a la dinámica de la masa fundida, de la energía aportada al primer componente por la radiación láser (energía absorbida  $Q_{L,a}$ ), con una superficie de irradiación  $A_L$  invariable. Por rampa de potencia se ha de entender un aumento o reducción continuos o también una variación de relaciones pulso/pausa.

Una modulación temporal se puede llevar a cabo mediante aumentos de potencia o reducciones de potencia múltiples, que se acumulan escalonadamente, de la radiación láser en la fase de desviación de la lenteja fundida en el intersticio. Se obtienen intensidades intermedias adicionales que conducen a un ensanchamiento de la lenteja fundida en la fase de fusión, pero que se regulan de tal modo que se impide un paso de la radiación láser a través de la lenteja fundida.

En una forma de realización del método, el al menos un impulso de presión que se ejerce sobre la lenteja fundida para provocar un movimiento de la masa fundida hacia el segundo componente puede ser ejercido por otro rayo láser superpuesto al, al menos un, rayo láser; los dos rayos láser, es decir, el al menos un rayo láser con el que se genera la lenteja fundida en el primer componente y el rayo láser que ejerce el impulso de presión sobre la lenteja fundida, deberían presentar diferentes intensidades, diámetros de foco, longitudes de impulso (por ejemplo pulso ms, pulso ns) y/o longitudes de onda, de modo que mediante esta modulación de intensidad superpuesta temporalmente de los dos rayos láser superpuestos se posibilita un control independiente de la formación de masa fundida y la formación de vapor.

Mediante una reducción de potencia a corto plazo se puede lograr un aumento del espesor de película de masa fundida de la lenteja fundida, ya que, al reducir la presión de evaporación, la dinámica de la masa fundida provoca un cierre de los capilares de vapor. Dicha reducción de potencia no se lleva a cabo para provocar una oscilación de la masa fundida, sino para aumentar el baño de masa fundida en la fase de fusión impidiendo al mismo tiempo un paso de la radiación láser a través de la lenteja fundida hacia el segundo componente.

En una configuración del método, el otro rayo láser, que se ha indicado más arriba, o una fuente de radiación superpuesta al, al menos un, rayo láser se puede enfocar por encima de la primera pieza de trabajo y/o puede tener una longitud de onda que presenta una mayor absorción en una atmósfera ambiente/nube de plasma por encima del primer componente. Con esta medida, a través de la nube de plasma o a través de las partículas extrañas disueltas en el aire de la atmósfera ambiente se logra un aumento de la absorción y, de este modo, se provoca un aumento de la temperatura y de la presión por encima de la pieza de trabajo en la fase de desviación; el rayo láser se puede regular mediante variación de la potencia de láser, la duración del pulso y la frecuencia del pulso de tal modo que se evite un paso del rayo láser a través de la masa fundida.

Para una modulación de potencia local resulta ventajoso un calentamiento y la fusión del primer componente, y de este modo la desviación de la masa fundida en el intersticio mediante un movimiento circular perpendicularmente al eje del al menos un rayo láser, por ejemplo un movimiento de rayo anular, un movimiento de rayo en forma de 8 o un movimiento de rayo en forma de Lissajous con el al menos un rayo láser en el plano del primer componente. Esta medida conduce a un aumento de temperatura local y, de este modo, a una evaporación del material del primer componente.

Esta modulación de potencia local también reduce la energía necesaria en la fase de fusión del primer componente y conduce en la fase siguiente a una menor transferencia de energía al segundo componente, con lo que el segundo componente solo es sometido a una pequeña transferencia de energía.

Una adaptación de la distribución de intensidad del rayo láser en el área de la superficie de irradiación del primer componente puede tener lugar de una distribución de Gauss del perfil de radiación del rayo láser a una distribución en forma de rosquilla del perfil del rayo o a una distribución en forma de sombrero de copa del perfil del rayo. Esta modificación del perfil de radiación a partir de la distribución de Gauss da lugar a un control de la presión de evaporación local y posibilita una modificación de la sección transversal de conexión y del ángulo de flanco de la masa fundida que rebosa hacia el segundo componente. En este contexto, un ángulo de flanco es el ángulo entre la normal a la superficie sobre el segundo componente y la masa fundida de nuevo solidificada entre los dos componentes. Este ángulo de flanco debería estar en un intervalo de  $0-90^\circ$  con un ángulo pequeño entre la superficie del segundo componente y la masa fundida de nuevo solidificada.

- 5 El ensamblaje se puede llevar a cabo en una atmósfera ambiente adaptada a la distribución de tensión superficial deseada de la lenteja fundida para, a través de la atmósfera ambiente elegida, generar un flujo de la masa fundida en el centro de la lenteja fundida dependiendo del gas ambiente bien en el medio de la lenteja fundida, bien hacia el borde de la lenteja fundida. De este modo se logra un aumento de la temperatura central o un ensanchamiento de la lenteja fundida sin una modificación adicional de la potencia, con lo que se logra una generación directa de presión de vapor o también un aumento de la sección transversal de conexión.
- 10 También está previsto aumentar la absorción del primer componente y, por lo tanto, la energía absorbida  $Q_{L,a}$  en el primer componente mediante una modificación de la atmósfera ambiente. Para ello se utiliza oxígeno o nitrógeno, dependiendo del material.
- 15 Sobre el primer componente, sobre la cara de la superficie de irradiación, se puede aplicar una capa de revestimiento transparente a la radiación láser, para de este modo formar una cavidad de presión entre esta capa de revestimiento transparente y el primer componente. Esta cavidad de presión hace que el componente se funda debajo de la capa de revestimiento y, al evaporarse por debajo de la capa el vapor, no se pueda expandir, con lo que la presión aumenta.
- 20 El primer componente puede estar compuesto por dos capas, una capa superior y una inferior. Visto en la dirección del eje del rayo láser, la capa superior, sobre la que se dirige el rayo láser, presenta una temperatura de evaporación que es menor que la temperatura de evaporación de la capa inferior, pero que es mayor que la temperatura de fusión de la capa inferior, de modo que la capa superior se evapora ya cuando la capa inferior todavía es líquida. Mediante una combinación de materiales de este tipo se logra una minimización, gracias al material, del aporte de energía.
- 25 Como ya se ha descrito, el momento en el que la lenteja fundida que se ha conformado en el intersticio de ensamblaje llega a la superficie del segundo componente es un momento decisivo. Para determinar este momento o para registrarlo adicionalmente se puede llevar a cabo una medición de la temperatura, o de una magnitud del primer componente que esté en correlación con la temperatura, en el área de la lenteja fundida. A partir de una caída de la temperatura o una caída de la magnitud correlacionada se deduce el momento de un contacto de la masa fundida o de la lenteja fundida en el intersticio con el segundo componente, y en este momento se reduce o se concluye el aporte de energía, es decir la continuación de la absorción de la energía  $Q_{L,a}$  en el primer componente.
- 30 Dicho momento de desconexión de la alimentación de energía en la fase de desviación se puede determinar también a través de una medición pirométrica de la temperatura en la cara superior de la lenteja fundida, registrándose una caída repentina de la temperatura cuando la masa fundida entra en contacto con el componente inferior.
- 35 Para lograr una reducción de la energía necesaria al fundir el primer componente y un aumento de la lenteja fundida, al comienzo del proceso de ensamblaje en la primera fase se puede llevar a cabo un movimiento circular del rayo láser en el primer componente, pudiendo estar el diámetro del círculo en el intervalo de 50 - 1.000  $\mu\text{m}$ .
- 40 Los parámetros para un diámetro del movimiento del rayo, para la velocidad de avance del rayo láser a lo largo de la trayectoria circular y para la cantidad de círculos se adaptan en particular a las propiedades de los materiales y a los parámetros del rayo láser.
- 45 Una desviación de la masa fundida mediante una desviación del rayo en forma de un microanillo (modulación de potencia local) reduce adicionalmente la energía necesaria en la fase de fusión y conduce en la fase siguiente a una menor transferencia de energía al componente. En la segunda fase, el diámetro del movimiento circular del rayo láser se puede reducir a un diámetro de 0 - 100  $\mu\text{m}$ , de modo que se reduce la disipación de calor por conducción y, como consecuencia de ello, la temperatura en el centro de la lenteja fundida aumenta y de este modo se genera el impulso de presión en la lenteja fundida.
- 50 El registro del movimiento de la masa fundida también puede tener lugar a través de una medición de la geometría absoluta de la cara superior de la lenteja fundida, es decir, de la superficie del centro de la lenteja fundida con respecto a la superficie del primer componente, y un capilar de vapor formado en el primer componente y un paso del rayo láser a través de la masa fundida, para a partir de ello ajustar la desviación de la energía aportada a través de una regulación al primer componente por medio del rayo láser, controlando la duración de irradiación, la potencia del láser y la intensidad del láser. A partir de un registro de un movimiento de la lenteja fundida en la cara superior del primer componente en el área de la superficie de irradiación se puede determinar la magnitud de la energía absorbida  $Q_{L,a}$  en función del movimiento registrado de la lenteja fundida con una técnica de medición localmente selectiva.
- 55 Para ello está prevista por ejemplo una medición de posición interferométrica de la cara superior de la lenteja fundida. A través de la medición de la posición absoluta de la cara superior de la lenteja fundida y del capilar de vapor formado se detecta un paso del rayo láser a través de la masa fundida y la desviación de la masa fundida, con respecto a la cual se regula la potencia del láser.
- 60 También es posible llevar a cabo una medición de la desviación de la lenteja fundida en el intersticio eléctricamente a través de una variación de la resistencia o de la capacidad entre el primer y el segundo componentes. Mediante la
- 65

desviación de la masa fundida en el intersticio se provoca una variación de la resistencia o de la capacidad entre los componentes, de modo que el llenado del intersticio por medio de la lenteja fundida se puede vigilar sobre la base de esta variación.

5 También está previsto vigilar el proceso de ensamblaje acústicamente y deducir el momento del contacto de la lenteja fundida con el segundo componente a partir de la superación de un valor umbral de una emisión acústica. En este contexto se puede producir un estampido, que se utiliza entonces para reducir o finalizar el aporte de energía al primer componente. Para ello se pueden utilizar sensores acústicos con el fin de vigilar la formación de la masa fundida a partir de las señales acústicas registradas, ya que las señales acústicas varían en función del estado del capilar de vapor en el primer componente y de la desviación progresiva de la masa fundida hacia el segundo componente.

10 El método, tal como se ha descrito anteriormente, también es adecuado para producir una costura de ensamblaje continua de tal modo que soldaduras por puntos individuales realizadas de acuerdo con el método anteriormente descrito se combinan mediante solapamiento o yuxtaposición para formar una costura de ensamblaje continua desplazando el rayo láser progresivamente a lo largo de la costura de ensamblaje que ha de ser producida y llevando a cabo dicha soldadura por puntos en cada una de las posiciones desplazadas.

15 El método es especialmente adecuado para el ensamblaje de componentes en los que el sustrato subyacente del segundo componente consiste en cerámica, silicio, germanio, material de placas de circuitos impresos de compuestos de plástico/resina epoxi/FR4 o tipos de vidrio, en particular vidrio de sílice, y sobre el que está aplicada una capa metálica como elemento de ensamblaje.

Otros detalles y características de la invención se desprenden de las figuras adjuntas.

25 La figura 1 muestra una representación esquemática para ilustrar el método según la invención para ensamblar dos componentes.

La figura 2 muestra un diagrama que representa la temperatura T en función de la profundidad de penetración z en el segundo componente.

30 La figura 3 muestra una unión de ensamblaje llevada a cabo entre un sustrato de Cu de 200 µm de espesor sobre una metalización delgada de 35 µm y un sustrato de Si.

La figura 4 muestra tres fases (a), (b) y (c) para ensamblar dos componentes utilizando una modulación de potencia local.

35 La figura 5 muestra tres fases (a), (b) y (c) para ensamblar dos componentes utilizando una modulación de foco temporal a través de una variación de la superficie de irradiación.

La figura 6 muestra tres fases (a), (b) y (c) para ensamblar dos componentes utilizando una modulación de potencia temporal con un aumento de temperatura y un impulso de presión provocado por una evaporación.

La figura 7 muestra tres perfiles de potencia (a), (b) y (c) posibles para una modulación de potencia temporal de la radiación láser.

40 En la figura 1 está representado esquemáticamente un proceso de ensamblaje correspondiente al método según la invención para ensamblar dos componentes, un primer componente 1 superior y un segundo componente 2 inferior. El componente 1 superior tiene asignado el índice B1 en las magnitudes utilizadas, mientras que el componente 2 inferior tiene asignado el índice B2.

45 Al comienzo del proceso de ensamblaje, los dos componentes 1, 2 se posicionan a distancia separados térmicamente entre sí, de modo que entre los componentes 1, 2, en la dirección de su espesor indicada mediante la flecha 3 de dirección, queda un intersticio 4 de ensamblaje. El segundo componente 2 tiene en su cara orientada hacia el primer componente 1 una capa metálica 5, que ha de experimentar una unión de material con la masa fundida del primer componente. La anchura 6 del intersticio 4 de ensamblaje se dimensiona de tal modo que tenga la menor dimensión posible con la que todavía se logre una separación térmica de los elementos de ensamblaje, es decir, del componente 1 y del componente 2.

50 Después se dirige un rayo láser 7 en la dirección del espesor de los componentes 1, 2 hacia el primer componente 1, sobre la superficie 8 de éste orientada en sentido opuesto al segundo componente 2. La superficie irradiada con el rayo láser 7 o con varios rayos láser se designa como superficie de irradiación  $A_L$  y depende del diámetro del rayo láser 7 con el que incide sobre la superficie 8 del segundo componente 2. Mediante la energía  $Q_{L,a}$  aportada y absorbida en el primer componente 1, el primer componente 1 se funde localmente en todo su espesor. Mediante la separación térmica de los componentes 1, 2 a través del intersticio 4 de ensamblaje se requiere en conjunto menos energía en la fase de fusión del componente 1 superior, ya que, en primer lugar, no se produce ninguna transferencia térmica por conducción desde el primer componente 1 hacia el segundo componente 2 y, en segundo lugar, la fusión del primer componente no influye térmicamente en el segundo componente.

55 El tamaño de la zona de fusión, vista en la dirección de la superficie 8 del primer componente 1, debería corresponder al menos al tamaño de una zona de ensamblaje que haya de ser producida.

65

La zona de ensamblaje es el área de los dos componentes 1, 2 en la que los dos componentes 1, 2 se unen entre sí por fusión.

5 La energía  $Q_{L,a}$  absorbida en el primer componente 1 a través del al menos un rayo láser se regula de tal modo que se cumpla la condición:

$$\text{energía absorbida} = Q_{L,a} = \int \dot{Q}_{L,a} dt = Q_{B1} + \int \dot{Q}_{kond1} dt + dH_{M1} + Q_{B2} + \int \dot{Q}_{kond2} dt + dH_{M2}$$

con

$$Q_{L,a} = \int \dot{Q}_{L,a} dt$$

energía absorbida en el primer componente

$$Q_{B1} = \rho_1 \cdot A \cdot s_{B1} \cdot c_{p1} \cdot (T_{m1} - T_0)$$

energía necesaria para generar una lenteja fundida local en el primer componente

con  $\rho_1$  = densidad del primer componente,

$A_1$  = superficie de la lenteja fundida proyectada en la dirección de propagación del rayo láser en el primer componente,

$s_{B1}$  = espesor del primer componente,

$c_{p1}$  = capacidad térmica del primer componente,

$T_{m1}$  = temperatura de fusión del primer componente,

$T_0$  = temperatura ambiente

$$\int \dot{Q}_{Kond1} dt = Q_{kond1}$$

pérdidas térmicas por conducción en el primer componente

$dH_{M1}$

entalpía para un cambio de fase de material en el primer componente

$$Q_{B2} = \rho_2 \cdot A_2 \cdot s_{B2} \cdot c_{p2} \cdot (T_{m2} - T_0)$$

energía necesaria para producir una película de masa fundida local en el segundo componente

con

$\rho_2$  = densidad del segundo componente,

$A_2$  = superficie de la película de masa fundida proyectada en la dirección de propagación del rayo láser en el segundo componente,

$s_{B2}$  = espesor de la película de masa fundida en el segundo componente,

$c_{p2}$  = capacidad térmica del segundo componente,

$T_{m2}$  = temperatura de fusión del segundo componente,

$T_0$  = temperatura ambiente

$$\int \dot{Q}_{Kond2} dt = Q_{kond2}$$

pérdidas térmicas por conducción en el segundo componente

$dH_{M2}$

entalpía para un cambio de fase de material en el segundo componente

De este modo se ha completado una primera fase del método.

10 A continuación, en una segunda fase se aplica al menos un impulso de presión sobre el material fundido 9 o la lenteja fundida 10 en dirección (flecha 3 de dirección) al segundo componente 2, hasta que la lenteja fundida 10 se desvía en el intersticio 4 de ensamblaje a causa del impulso de presión. Después, la lenteja fundida 10 llena el intersticio 4 de ensamblaje y entra en contacto con el segundo componente 2, tal como está representado en la figura 1. Mediante el contacto de la lenteja fundida 10 con el segundo componente 2 se produce una transferencia de energía al segundo componente 2. Mediante la energía  $Q_{B2}$  transferida al segundo componente 2 y, por lo tanto, mediante la transferencia de energía al segundo componente 2, se produce un perfil de temperatura en el segundo componente 2 tal que sobre la cara superior de éste, que está cubierta por la capa metálica 5, se alcanza la temperatura de fusión. La película de masa fundida de la capa metálica 5 experimenta una unión de material con la lenteja fundida 10, que se solidifica al enfriarse y une los dos componentes.

15 20 La profundidad de penetración del calor en el segundo componente 2 se regula sobre la base de un tiempo de contacto  $t_{\text{contacto}}$ , designado como el tiempo entre un primer contacto de la lenteja fundida 10 con el segundo componente 2 y de la solidificación del material fundido 9 en la lenteja fundida 10, de tal modo que en una profundidad predeterminada del segundo componente 2 no se supera una temperatura de deterioro  $t_{\text{deterioro}}$  que deteriora el segundo componente 2. En este contexto se tienen en cuenta las pérdidas térmicas por conducción  $\int \dot{Q}_{Kond2} dt = Q_{kond2}$  en el segundo componente 2.

25 30 La temperatura de deterioro  $t_{\text{deterioro}}$  en el segundo componente 2 se define como la temperatura  $T$  en una profundidad  $Z_{\text{krit}}$  del segundo componente 2 ( $Z_{\text{krit},B2}$ ), vista en la dirección de su espesor 12, con la que bien se produce un deterioro del material situado debajo de la capa metálica 5 del segundo componente 2, bien tiene lugar un desprendimiento de la capa metálica 5 situada sobre el segundo componente 2 del material subyacente (material de base).

- 5 La fusión del elemento de ensamblaje superior, es decir, del componente 1 superior, por medio de la radiación láser se lleva a cabo con un sobrecalentamiento definido de la masa fundida en un área entre la temperatura de fusión y la temperatura de evaporación con arreglo a los elementos de ensamblaje, los componentes 1 y 2. Un sobrecalentamiento definido significa que la energía  $Q_{L,a}$  absorbida en el primer componente 1 no conduce a una evaporación completa de la lenteja fundida, pero tiene una magnitud tal que, después del contacto de la lenteja fundida con la capa metálica 10 del segundo componente y de la disipación de energía en el componente 2, la lenteja fundida no se solidifica inmediatamente, sino que la solidificación solo comienza una vez producida la unión por material de los dos componentes.
- 10 La desviación de la masa fundida 9 o de la lenteja fundida 10 a través del intersticio 4 de ensamblaje hacia el segundo componente 2 mediante una técnica de transferencia, por ejemplo una modulación de la radiación láser, se realiza aportando energía a la masa fundida 9 de tal modo que el área inferior de la lenteja fundida 10 entra en contacto con la cara superior del segundo componente 2 y se logra una transferencia de masa fundida. Después de la desviación de la masa fundida 9 o de la lenteja fundida 10 y de su contacto con el segundo componente 2, el aporte de energía y por lo tanto el aumento de la temperatura en la superficie límite entre la lenteja fundida 10 y la cara superior del segundo componente 2 se reduce de tal modo que se produce una mezcla suficiente de los elementos de ensamblaje, sin superar no obstante la temperatura crítica en la superficie límite entre la capa metálica sobre el segundo componente 2 y el material de sustrato respectivo.
- 15 El método según la invención aprovecha un sobrecalentamiento de fusión definido para calentar el componente 2 inferior como elemento de ensamblaje por encima de la temperatura de fusión  $T_{m2}$ . El exceso de energía necesario en la lenteja fundida se calcula como  $E_m = \rho c_p V \Delta T$ ; en este contexto,  $E_m$  es la energía necesaria para generar una película de masa fundida delgada en la capa metálica del componente 2,  $\rho$  es la densidad de la capa metálica del componente 2,  $c_p$  es el calor específico de la capa metálica del componente 2,  $V$  es el volumen de la película de masa fundida y  $\Delta T$  está dado por  $\Delta T = (T_{m, \text{elemento de ensamblaje inferior}} + \text{aumento de temperatura})$  para compensar pérdidas de calor por transmisión térmica y entalpía de fusión en el elemento de ensamblaje inferior. La masa fundida (material fundido) 9 se sobrecalienta con adaptación al volumen de masa fundida necesario y la energía  $E_m$  necesaria para fundir la metalización inferior (capa metálica 5). La capa metálica 5 puede consistir por ejemplo en una metalización de 20  $\mu\text{m}$  de espesor sobre un sustrato sensible a la temperatura. De acuerdo con el método, el elemento de ensamblaje inferior, el segundo componente 2, se funde únicamente con la energía  $Q_{B2}$  contenida en la masa fundida 9.
- 20 Para minimizar el aporte de energía en la fase de desviación, el proceso se dirige de tal modo que la desviación de la masa fundida sea la desviación mínima que todavía posibilite una conexión de la masa fundida con el componente inferior a través del intersticio elegido.
- 25 La conexión de la masa fundida con el componente inferior, y por lo tanto el proceso de ensamblaje, se logra en lo esencial únicamente mediante la energía presente en la masa fundida 9, de modo que todo el aporte de energía a los dos componentes y el aporte de energía al segundo componente 2 inferior se mantienen en un valor mínimo.
- 30 La técnica de modulación utilizada de acuerdo con el método según la invención para desviar la lenteja fundida 10 en el intersticio 4 de ensamblaje hacia el segundo componente se lleva a cabo de tal modo que la intensidad de la radiación láser, designada como  $I_2$ , en la fase de desviación sea inferior a un valor límite, designado como  $I_{\text{valor límite}}$  ( $I_2 < I_{\text{valor límite}}$ ), ya que de lo contrario se produce un paso significativo del rayo láser o de la radiación láser a través de la lenteja fundida 10 y se supera el límite de carga energética del componente 2 inferior. El valor límite  $I_{\text{valor límite}}$  depende, entre otras cosas, de la geometría y del material de los elementos de ensamblaje 1, 2 y de la técnica de modulación/focalización del rayo.
- 35 La masa fundida desviada conduce en una fase de conexión a una humectación de la masa fundida con la capa metálica del segundo componente 2 y a una unión de ensamblaje de los dos componentes 1, 2 a través del intersticio 4 de ensamblaje. Tal como ya se ha mencionado anteriormente, el aporte de energía externa a través de la radiación láser finaliza con el contacto de la masa fundida con el segundo componente 2 inferior, o poco después del mismo, con lo que el aporte de energía al componente 2 inferior ya solo tiene lugar principalmente mediante la energía ( $Q_{B2}$ ) contenida en la masa fundida 9.
- 40 La figura 2 muestra un diagrama que representa la temperatura  $T$  (en el segundo componente 2) en función de la profundidad de penetración  $z$  en el segundo componente 2. En este diagrama, la curva representada con línea discontinua y designada con  $t_{\text{contacto}}$  indica el perfil de la profundidad de penetración  $z$  en el segundo componente 2 a partir de un primer contacto de la lenteja fundida 10 con el segundo componente 2. Las otras dos curvas para  $t_{\text{máx}}$  en línea continua y para  $t_{\text{mín}}$  en línea de puntos indican los tiempos que se han de mantener como mínimo y como máximo para, en primer lugar, alcanzar la temperatura de fusión en la superficie del segundo componentes o, en segundo lugar, alcanzar una temperatura de deterioro crítica en la profundidad  $z_{\text{krit}}$  en el segundo componente.

Las curvas se derivan de la ecuación de calor unidimensional

$$T(z,t) - T_{\infty} = \frac{2 \cdot (q_F + I_{L,t})}{\rho \cdot c_p} \sqrt{\frac{t}{\kappa}} \operatorname{ierfc}\left(\frac{z}{\sqrt{4\kappa t}}\right)$$

con

- 5  $T(z,t)$ : perfil de temperatura en el segundo componente en la profundidad  $z$  en el momento  $t$   
 $T_{\infty}$ : temperatura ambiente  
*ierfc*: integral de error complementaria (*integral error function complement*)  
 $q_F$ : aporte de calor en el segundo componente 2 con  $q_F = Q/A_{\text{contacto}} = \alpha \cdot (T_1 - T_2)$  contacto  
 $I_{L,t}$ : intensidad de la radiación láser  $I$  transmitida a través de la masa fundida 9  
10  $\alpha$ : coeficiente de transferencia de calor entre el primer y el segundo componentes 1, 2  
 $T_1$ : temperatura en el primer componente 1 en el momento de contacto de la masa fundida 9 con el segundo componente 2  
 $T_2$ : temperatura en el segundo componente 2 en el momento de contacto de la masa fundida 9 con el segundo componente 2  
15  $t$ : tiempo a partir de un primer contacto de la masa fundida 9 con el componente 2  
 $A_{\text{contacto}}$ : superficie de contacto entre la masa fundida 9 y la capa metálica sobre el componente 2  
 $\kappa$ : conductividad térmica del (segundo) componente 2 inferior  
 $\rho$ : densidad del (segundo) componente 2 inferior  
 $c_p$ : capacidad térmica del (segundo) componente 2 inferior  
20  $z$ : profundidad en el componente medida desde la cara superior del segundo componente 2

En el eje de temperaturas están marcadas las temperaturas  $T_{\text{deterioro, B2}}(z=Z_{\text{krit, B2}})$  y  $T_{\text{fusión, B2}}(z=0)$ ; la temperatura  $T_{\text{deterioro, B2}}(z=Z_{\text{krit, B2}})$  indica la temperatura a la que se produce un deterioro en el segundo componente 2 en la profundidad  $z_{\text{krit}}(z_{\text{krit, B2}})$ , que está medida desde la cara superior del segundo componente 2, y que está indicada en la figura 1, mientras que  $T_{\text{fusión, B2}}(z=0)$  indica la temperatura de fusión en la superficie del segundo componente 2, es decir, en la profundidad  $z=0$ .

Se puede distinguir que mediante la regulación del aporte de calor  $q_F$  y del tiempo de contacto  $t_{\text{contacto}}$  a lo largo de la profundidad del componente, en el caso máximo sin pérdidas por conducción con  $Q(t)=\text{const.}$ ;  $Q_{B2}(t=t_{\text{contacto}})=Q_{B2}(t=t_{\text{solidificación}})$ , en la fase de enfriamiento en cualquier momento  $t$  tampoco se sobrepasa la temperatura de deterioro  $T_{\text{deterioro}}$  en la profundidad del componente  $z_{\text{krit, B2}}$  del segundo componente 2, vista en la dirección de su espesor. Por medio del gráfico de la figura 2 también se puede distinguir que el gradiente de temperatura en la profundidad del componente 2 se regula de tal modo que, después del calentamiento de la capa metálica del componente 2, en ningún momento se sobrepasa la temperatura de deterioro crítica. El aporte de energía al componente 2 se distribuye mediante transmisión térmica por conducción de tal modo que la temperatura en el componente 2 se compensa sin sobrepasar la temperatura crítica en la superficie límite entre la metalización y el sustrato.

La figura 3 muestra esquemáticamente una unión de ensamblaje a través de un intersticio 4 de ensamblaje establecido de acuerdo con el método según la invención entre un primer componente 1 superior y un segundo componente 2 inferior. El primer componente 1 superior consiste en un contacto de Cu de 200  $\mu\text{m}$  de espesor y el segundo componente 2 inferior consiste en un sustrato de silicio que está revestido sobre su cara superior con una metalización de cobre de 35  $\mu\text{m}$  de espesor (capa metálica 5). Esta representación ilustra que, para un contacto fundido de un contacto de conexión grueso con una metalización delgada sobre un sustrato sensible a la temperatura, la transferencia de energía se reduce aportando la proporción de energía esencial para la formación de la masa fundida en el contacto de conexión sin un contacto térmico con la metalización delgada. Si bien en el contacto de la masa fundida con la metalización la capa metálica se funde por la masa fundida caliente, en el enfriamiento posterior la energía aportada a la masa fundida pasa al contacto de conexión y no al componente sensible a la temperatura.

La figura 4 muestra tres fases (a), (b) y (c) para ensamblar dos componentes 1, 2 utilizando una modulación de potencia local. En estas figuras no está representada la capa metálica 5 sobre la cara superior del segundo componente 2. Al comienzo del proceso de ensamblaje (fase (a)), los dos componentes 1, 2 se separan de tal modo que entre los mismos se forma un intersticio 4 de ensamblaje con una distancia 6 definida (anchura del intersticio de ensamblaje). El rayo láser 7 utilizado o la radiación láser utilizada se dirige, en relación con un eje 14, con un movimiento circular sobre la superficie 8 del primer componente 1, de modo que el material del primer componente 1 se funde de forma circular. Correspondientemente, la zona del material fundido avanza más rápidamente en el área exterior, vista en dirección perpendicular al eje 14, que en un área central cerca del eje 14. A medida que avanza el aporte de energía a través de una rotación múltiple del láser correspondientemente al movimiento circular, el área interior también se funde mediante transmisión térmica, de modo que se produce una fase fundida uniforme. Después, en la fase (b), el radio del movimiento circular del rayo láser 7 se reduce en comparación con el radio en la fase (a), de modo que la temperatura en el centro de la masa fundida aumenta repentinamente y se sobrepasa el umbral de evaporación.

5 La desviación de la masa fundida se logra mediante evaporación a causa de un aumento de temperatura mediante un movimiento del rayo láser 7 en microanillos y una variación sucesiva del diámetro del movimiento circular (transición de la fase (a) a la fase (b)). En la fase (a) se puede provocar un calentamiento previo con un diámetro de círculo grande del movimiento del rayo de por ejemplo 200  $\mu\text{m}$  y después, para la fase (b), se puede provocar la desviación del material fundido 9 a través del diámetro decreciente del movimiento circular con un diámetro de 50  $\mu\text{m}$ . Por consiguiente, el diámetro del movimiento circular inicial se reduce aproximadamente en un factor 4. Para que no se produzca ninguna evaporación descontrolada, la intensidad de la radiación láser entre la fase (a) y la fase (b) se mantiene constante, o incluso se reduce en la fase de desviación (fase (a)) en comparación con la fase de calentamiento previo (fase (b)). De este modo se logra una transición homogénea entre la formación de la masa fundida y la evaporación con formación de presión controlada, que transfiere la masa fundida al intersticio de ensamblaje.

15 Cuando el material fundido 9 llega a la cara inferior del componente 1, el material fundido 9 llena el intersticio 4 de ensamblaje hasta que la lenteja fundida 10 topa con la cara superior del segundo componente 2. Este momento se registra mediante diferentes métodos, tal como se ha descrito más arriba, de modo que en dicho momento la potencia del rayo láser se reduce o se desconecta por completo. De esta forma se asegura que el material fundido 9 solo funde ligeramente el segundo componente 2 y se mezcla con esta masa fundida del segundo componente 2, de modo que después del enfriamiento se forma una unión de ensamblaje, que está representada en la fase (c) de la figura 4.

20 La figura 5 muestra tres fases (a), (b) y (c) para ensamblar dos componentes 1, 2 utilizando una modulación de foco temporal y a través de una variación de la superficie de irradiación. De nuevo, la fase (a) representa la fase de calentamiento, la fase (b) la fase de desviación y la fase (c) la fase de conexión.

25 En una modulación de foco temporal, es esencial variar la intensidad de la radiación láser 7 mediante variación dinámica del foco, por ejemplo a través de un telescopio electromagnético, con una potencia constante de la radiación láser.

30 En la fase de calentamiento previo (a), el componente 1 se irradia con un diámetro de rayo grande de la radiación láser 7, de modo que se forma una lenteja fundida 10 determinada de acuerdo con el diámetro del rayo y la transmisión térmica, ajustándose el diámetro 15 del rayo láser 7 de forma que en la superficie 8 no se produzca evaporación y no se forme ningún capilar. De nuevo, en el primer componente 1 se forma material fundido hasta que este material llega a la cara inferior del componente 1.

35 En la fase de desviación (b) siguiente, el diámetro 15 de la radiación láser 7 se reduce de tal modo que se alcanza la intensidad para llegar a la temperatura de evaporación y por encima del componente 1 se forma una nube de vapor 16 que ejerce una presión de vapor sobre la masa fundida (lenteja fundida 10). Alternativamente, esto también puede tener lugar mediante una ampliación del rayo láser 7 y una reducción consiguiente de la disipación de calor lateral, de modo que, también en este caso, en el centro de la lenteja fundida 10 se forma un lóbulo de evaporación que empuja la masa fundida hacia el componente 2.

40 En la fase de conexión (c), en la que la lenteja fundida 10 llena el intersticio 4 de ensamblaje, se aumenta de nuevo el diámetro 15 de la radiación láser 7 para evitar la formación de un capilar de vapor, que de lo contrario influiría térmicamente en el componente 2. Dependiendo de la geometría de ensamblaje y del material, la unión de ensamblaje se somete todavía brevemente a una radiación láser hasta que en la superficie límite entre los dos componentes 1, 2 se forma una zona fundida homogénea, que se solidifica después de desconectar el rayo láser 7. Una modulación de foco temporal de este tipo mediante la variación de la superficie de irradiación de la radiación láser 7 en el primer componente 1 tiene la ventaja de que se trabaja con una potencia constante de la radiación láser 7 y que la distribución local de la intensidad con la que la radiación láser 7 incide sobre la cara superior del primer componente 1 se lleva a cabo a través de la variación dinámica del foco.

45 La figura 6 muestra a su vez tres fases (a), (b) y (c) para ensamblar dos componentes 1, 2 utilizando una modulación de potencia temporal con un aumento de temperatura y un impulso de presión provocado por una evaporación. En la fase (a), la radiación láser 7 se dirige a la cara superior 8 del primer componente 1, de modo que, correspondientemente a la fase (a) anteriormente descrita por medio de la figura 5, en el primer componente 1 se forma material fundido 9. El tamaño del rayo láser 7 se mantiene invariable durante todo el proceso de ensamblaje.

50 En la fase (b) se aumenta la potencia para superar la temperatura de evaporación, de modo que, mediante la presión de vapor generada, la lenteja fundida 10 se mueve hacia el componente 2 y de esta forma llena el intersticio 4 de ensamblaje.

55 En la fase (c), la unión de ensamblaje se somete todavía brevemente a radiación láser 7 hasta que en la superficie límite entre los dos componentes 1, 2 se forma una zona fundida homogénea, que se solidifica después de desconectar el rayo láser. La figura 7 muestra tres perfiles de potencia (a), (b) y (c) posibles para una modulación de potencia temporal de la radiación láser, que se utiliza preferiblemente cuando se han de tener en cuenta diferentes condiciones de disipación de calor del componente 2 para generar una masa fundida homogénea en el componente 1. En estos

perfiles está trazada la potencia de la radiación láser en función del tiempo, es decir, el tiempo del proceso de ensamblaje.

5 El perfil (a) muestra un perfil rectangular de nuevo con una potencia constante en la fase de calentamiento previo y un aumento escalonado de la potencia para la fase de conexión, que después se mantiene constante en la fase de conexión.

10 El perfil (b) muestra un perfil que se puede designar como perfil de pico, con una potencia constante en la fase de calentamiento previo y picos de potencia cada vez más altos durante la fase de conexión.

El perfil (c) muestra un perfil en rampa, en el que la potencia de la radiación láser se mantiene constante a lo largo de la fase de calentamiento previo (FCP), que corresponde a las fases (a) de las figuras 5 y 6, mientras que la potencia aumenta en forma de rampa para la fase de conexión que sigue a la fase de calentamiento previo.

15 De estos perfiles, el perfil (a) se debería utilizar cuando la geometría del componente 1 solo es ligeramente más grande que la metalización del componente 2 y consiguiente el aporte de energía en el componente 2 evita que se supere la temperatura crítica en el componente 2. En cambio, un perfil de pico (b) es preferible para casos en los que una alta disipación de calor en el componente 2 no permite una formación homogénea y suficiente de la lenteja fundida. En este caso, mediante una rápida modulación de potencia con potencia de pico creciente se posibilitan un depósito de energía controlado y una evaporación controlada, sin que el rayo láser pase a través de la lenteja fundida del primer componente. El perfil en rampa (c) es preferible cuando se utilizan instrumentos técnicos de medición para controlar el proceso o cuando, después del contacto de la lenteja fundida con el componente 2, la disipación de calor en el componente 2 se vuelve tan alta que la masa fundida se solidifica demasiado rápidamente, de modo que no se logra una mezcla ni una resistencia de ensamblaje suficientes. En este caso, la energía necesaria se dosifica mediante el depósito de energía adicional.

20

25

REIVINDICACIONES

1. Método para ensamblar dos componentes (1, 2) en el área de una zona de ensamblaje, que define las superficies libres que han de ser unidas de los dos componentes, mediante al menos un rayo láser (7), que comprende las siguientes etapas de método:

5 posicionar un primer componente (1) en el área de la zona de ensamblaje separado térmicamente a distancia de un segundo componente (2), visto en la dirección de su espesor, formando un intersticio (4) de ensamblaje, en donde el segundo componente (2) presenta una capa metálica (5) en la cara orientada hacia el primer componente (1), en una primera fase, orientar el rayo láser (7) en la dirección del espesor (11, 12) de los componentes (1, 2) hacia el primer componente (1), sobre la superficie (8) de éste orientada en sentido opuesto al segundo componente (2), designándose la superficie (8) irradiada por el rayo láser (7) como superficie de irradiación (A<sub>L</sub>), y fundir el primer componente localmente, al menos correspondientemente al tamaño de la zona de ensamblaje, en todo su espesor (11), y después, en una segunda fase, aplicar al menos un impulso de presión sobre la masa fundida en dirección al segundo componente (2) hasta que la lenteja fundida (10) se desvía al intersticio (4) de ensamblaje a causa del impulso de presión, llena el intersticio (4) de ensamblaje y entra en contacto con el segundo componente (2), y mediante el contacto de la lenteja fundida (10) con el segundo componente (2) se produce una transferencia de energía al segundo componente (2), **caracterizado por que** la energía (Q<sub>L,a</sub>) absorbida en el primer componente (1) a través del rayo láser (7) se elige de tal modo que se cumpla la condición:

$$\text{energía absorbida} = Q_{L,a} = \int \dot{Q}_{L,a} dt = Q_{B1} + \int \dot{Q}_{kond1} dt + dH_{M1} + Q_{B2} + \int \dot{Q}_{kond2} dt + dH_{M2}$$

Con

$$Q_{L,a} = \int \dot{Q}_{L,a} dt \text{ energía absorbida en el primer componente (1)}$$

$$Q_{B1} = \rho_1 \cdot A \cdot s_{B1} \cdot c_{p1} \cdot (T_{m1} - T_0) \text{ energía necesaria para generar una lenteja fundida (10) local en el primer componente (1)}$$

con  $\rho_1$  = densidad del primer componente (1),  
 $A_1$  = superficie de la lenteja fundida proyectada en la dirección de propagación del rayo láser,  
 $s_{B1}$  = espesor (11) del primer componente (1),  
 $c_{p1}$  = capacidad térmica del primer componente (1),  
 $T_{m1}$  = temperatura de fusión del primer componente (1),  
 $T_0$  = temperatura ambiente

$$\int \dot{Q}_{Kond1} dt = Q_{kond1} \text{ pérdidas térmicas por conducción en el primer componente (1)}$$

$dH_{M1}$  entalpía para un cambio de fase de material en el primer componente (1)

$$Q_{B2} = \rho_2 \cdot A_2 \cdot s_{B2} \cdot c_{p2} \cdot (T_{m2} - T_0) \text{ energía necesaria para producir una película de masa fundida local en el segundo componente (2)}$$

con  $\rho_2$  = densidad del segundo componente (2),  
 $A_2$  = superficie de la película de masa fundida proyectada en la dirección de propagación del rayo láser,  
 $s_{B2}$  = espesor de la película de masa fundida en el segundo componente (2),  
 $c_{p2}$  = capacidad térmica del segundo componente (2),  
 $T_{m2}$  = temperatura de fusión del segundo componente (2),  
 $T_0$  = temperatura ambiente

$$\int \dot{Q}_{Kond2} dt = Q_{kond2} \text{ pérdidas térmicas por conducción en el segundo componente (2)}$$

$dH_{M2}$  entalpía para un cambio de fase de material en el segundo componente (2)

con lo que en el primer componente (1) se forma una lenteja fundida (10) a partir del material fundido (9), y mediante la transferencia de energía en la segunda fase se produce un perfil de temperatura en el segundo componente (2) tal que sobre la superficie del segundo componente (2) se alcanza la temperatura de fusión del mismo, se forma una película de masa fundida, y la profundidad de penetración del calor, definida por

$$d_w = \sqrt{4kt_{\text{Kontacto}}} = \text{conductividad térmica}$$

en el segundo componente (2) se regula sobre la base de un tiempo de contacto ( $t_{\text{contacto}}$ ), designado como el tiempo entre un primer contacto de la lenteja fundida (10) con el segundo componente (2) y la solidificación del material fundido en la lenteja fundida (10), de tal modo que a una profundidad predeterminada del segundo componente (2) no se supera una temperatura de deterioro ( $T_{\text{deterioro}}$ ) que deteriora el segundo componente (2), definiéndose la temperatura de deterioro ( $T_{\text{deterioro}}$ ) en el segundo componente (2) como la temperatura T en la profundidad ( $Z_{\text{krit,B2}}$ ) del

segundo componente (2) en la dirección de su espesor, con la que bien se produce un deterioro del material situado debajo de la capa metálica (5) del segundo componente (2), bien tiene lugar un desprendimiento de la capa metálica (5) situada sobre el segundo componente (2) del material subyacente.

- 5      **2. Método según la reivindicación 1, caracterizado por que** el aporte de energía en la lenteja fundida (10) en la segunda fase se realiza de tal modo que el rayo láser (7) atraviesa el primer componente (1) sin producir primero una masa fundida en el segundo componente, y la temperatura de la masa fundida que llena el intersticio (4) no aumenta más, y el segundo componente (2) se calienta y se funde superficialmente mediante la energía térmica almacenada en la masa fundida que se encuentra en el intersticio (4), de modo que las masas fundidas de los dos componentes (1, 2) se unen, y por que después se provoca un impulso de presión sobre la lenteja fundida (10) en el primer componente (1) mediante una evaporación (16) de material.
- 10
- 3. Método según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por que** el/los impulso(s) de presión aplicado(s) en la segunda fase se provoca(n) mediante una modulación diferente de la radiación láser (7).
- 15
- 4. Método según la reivindicación 3, caracterizado por que** la temperatura superficial generada por el rayo láser (7) en el primer componente (1) se modula temporalmente en la segunda fase aumentando y disminuyendo el tamaño de la superficie de irradiación en función de la fase de proceso, con una potencia de láser aproximadamente igual.
- 20
- 5. Método según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que** el al menos un impulso de presión se lleva a cabo mediante otro rayo láser superpuesto al, al menos un, rayo láser (7), presentando los dos rayos láser diferentes intensidades, diámetros de foco, longitudes de impulso (pulso ms, pulso ns) y/o longitudes de onda.
- 25
- 6. Método según la reivindicación 5, caracterizado por que** el otro rayo láser se enfoca por encima de la primera pieza de trabajo (1) y/o tiene una longitud de onda que presenta una mayor absorción en una atmósfera ambiente/nube de plasma por encima del primer componente (1).
- 30
- 7. Método según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que** el ensamblaje se lleva a cabo en una atmósfera ambiente adaptada a la distribución de tensión superficial deseada de la lenteja fundida (10), generándose mediante la atmósfera ambiente elegida un flujo de la masa fundida en el centro de la lenteja fundida (10) hacia el segundo componente (2).
- 35
- 8. Método según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que** se lleva a cabo una medición de la temperatura o de una magnitud que está en correlación con la temperatura del primer componente (1) en el área de la lenteja fundida (10), y a partir de una caída de la temperatura o una caída de la magnitud correlacionada se deduce el momento de un contacto de la lenteja fundida (10) en el intersticio (4) con el segundo componente (2), y en este momento se reduce o se concluye la continuación de la absorción de la energía ( $Q_{L,a}$ ) en el primer componente (1).
- 40
- 9. Método según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que** se registra un movimiento de la lenteja fundida (10) en la cara superior del primer componente (1) en el área de la superficie de irradiación, y la magnitud de la energía absorbida ( $Q_{L,a}$ ) se regula en función del movimiento registrado de la lenteja fundida (10).
- 45
- 10. Método para producir una costura de ensamblaje continua combinando soldaduras por puntos, realizadas mediante el método según una de las reivindicaciones 1 a 9, mediante solapamiento para formar una costura de ensamblaje continua desplazando el rayo láser (7) progresivamente a lo largo de la costura de ensamblaje que ha de ser producida y llevando a cabo una soldadura por puntos en cada una de las posiciones desplazadas.**

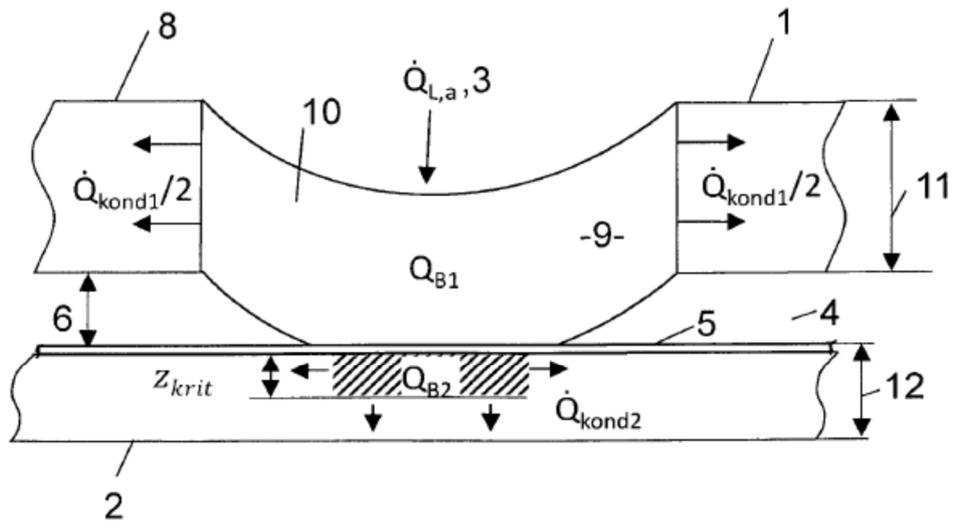


Figura 1

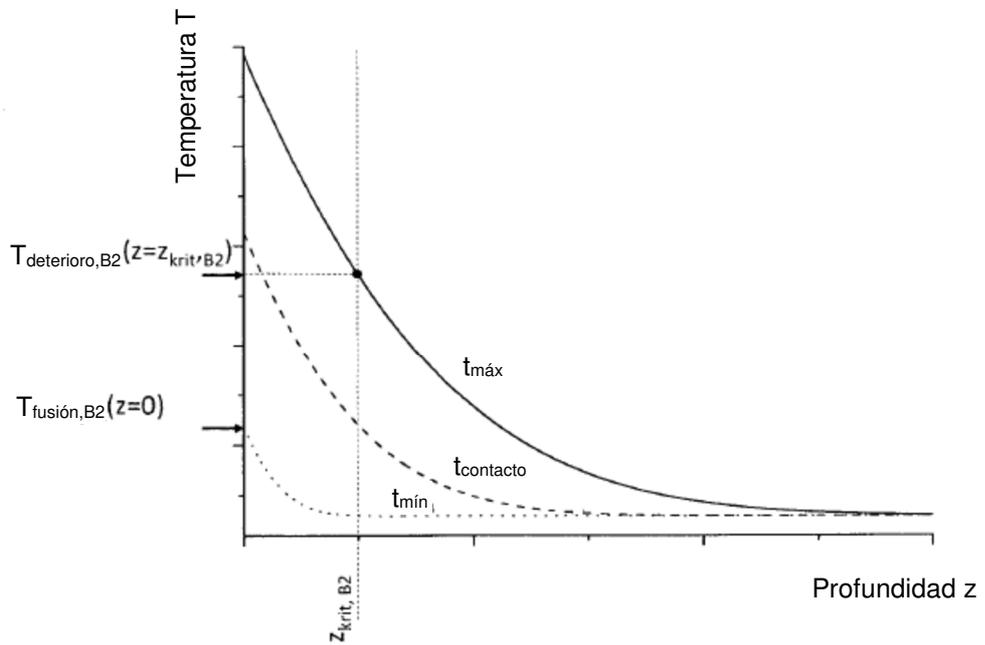


Figura 2

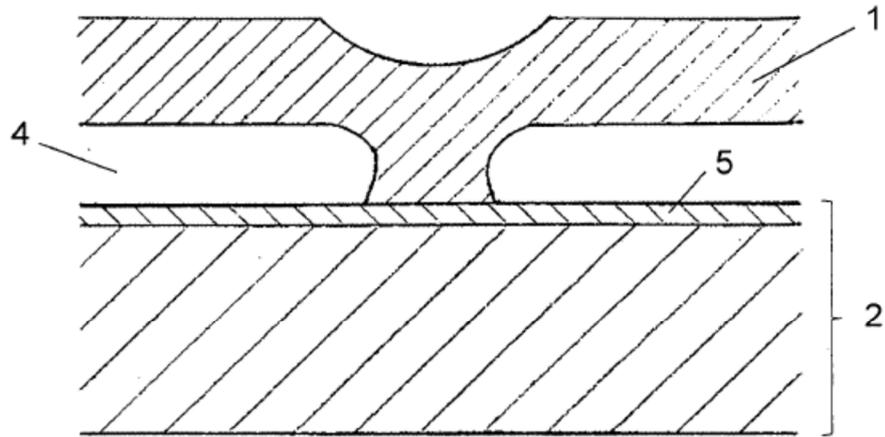


Figura 3

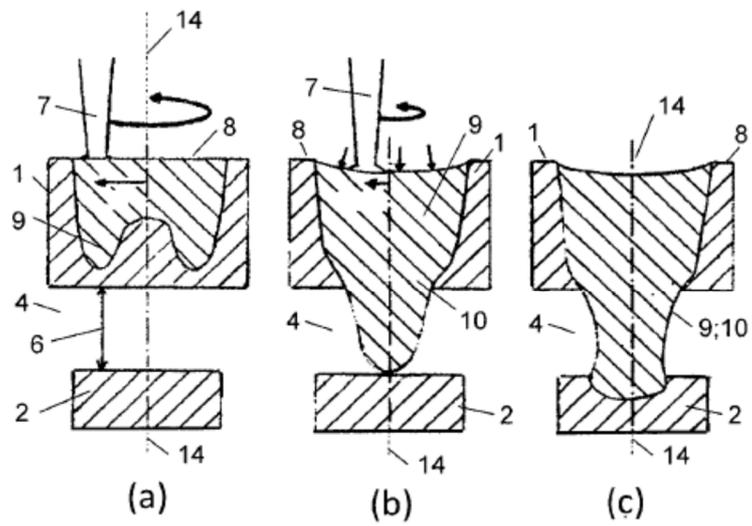


Figura 4

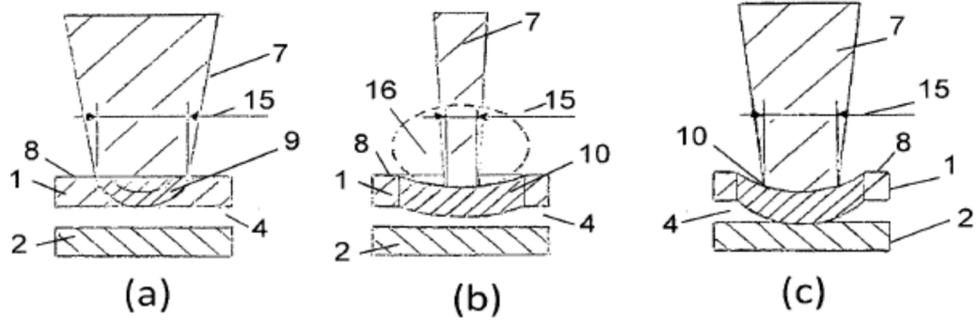


Figura 5

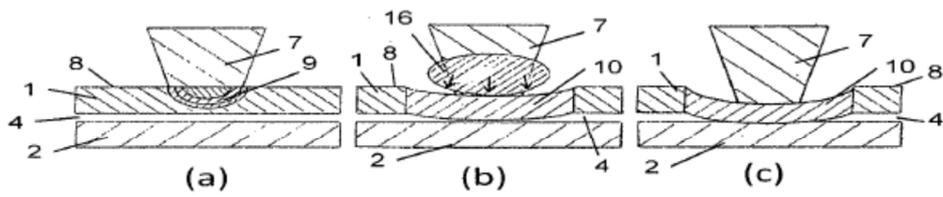


Figura 6

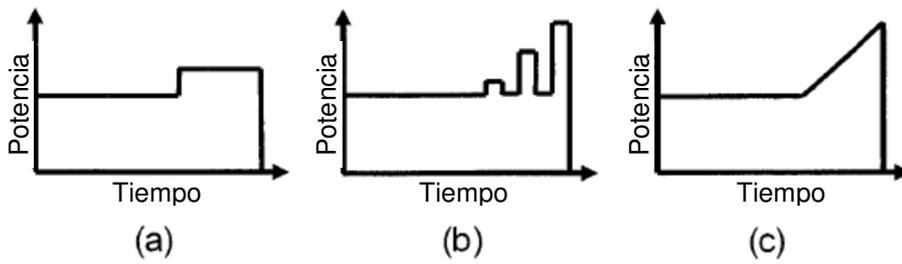


Figura 7