

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 974 011**

51 Int. Cl.:

B23K 26/06 (2014.01)

B23K 26/242 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.11.2017** **E 21185765 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.01.2024** **EP 3915715**

54 Título: **Procedimiento y dispositivos de soldadura por láser para soldar profundamente una pieza de trabajo que implica la emisión de un haz láser en la abertura capilar generada por otro haz láser**

30 Prioridad:

15.11.2016 DE 102016222357

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

25.06.2024

73 Titular/es:

**TRUMPF LASER- UND SYSTEMTECHNIK GMBH
(100.0%)
Johann-Maus-Strasse 2
71254 Ditzingen, DE**

72 Inventor/es:

**HAUG, PATRICK y
SPEKER, NICOLAI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 974 011 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

Procedimiento y dispositivos de soldadura por láser para soldar profundamente una pieza de trabajo que implica la emisión de un haz láser en la abertura capilar generada por otro haz láser

5 La invención se refiere a un procedimiento para la soldadura profunda de una pieza de trabajo y a los correspondientes dispositivos de soldadura por láser, véanse las reivindicaciones 1, 14 y 15. Mediante la soldadura por haz láser se pueden unir piezas de trabajo entre sí a través de un cordón de soldadura estrecho y a una velocidad relativamente alta. Solo se introduce relativamente poca energía térmica en las piezas de trabajo, de modo que se produce poca o ninguna distorsión térmica.

10 Durante la soldadura por láser profunda, el material de la pieza de trabajo no solo se funde en la superficie, sino que también se forma un capilar de vapor en el baño de fusión en la dirección del haz. Esto permite que la radiación láser penetre a mayores profundidades, creando uniones más fuertes entre las piezas de trabajo.

15 Con haces láser de alta calidad, es decir, un producto de parámetro de haz pequeño (definido como ángulo de apertura * radio del haz láser en el punto más delgado, a menudo abreviado SPP), se puede lograr una profundidad de soldadura particularmente grande. Por otro lado, con haces láser de baja calidad, es decir, un producto con un parámetro de haz grande, se puede lograr una buena calidad de la costura de soldadura a velocidades de avance más altas.

La calidad del cordón de soldadura se ve especialmente afectada por la formación de salpicaduras de soldadura. El material líquido de la pieza de trabajo se expulsa del baño de fusión, creando muescas en el cordón de soldadura y dando como resultado una pérdida de material en el cordón de soldadura, debilitándole mecánicamente y también contaminando el entorno.

20 En el estado de la técnica se intentó influir en la calidad del proceso de soldadura mediante el uso de varios haces láser.

A partir del documento US 2006/0157457 A1 se conoce la superposición de un primer y un segundo haz láser sobre una pieza de trabajo. El punto del segundo haz láser es más pequeño que el punto del primer haz láser, estando el punto del segundo haz láser dentro del punto del primer haz láser. El segundo haz láser se dirige al capilar de vapor que se está formando. El objetivo del procedimiento es permitir una alta profundidad y anchura de soldadura, así como una alta velocidad de soldadura en piezas de trabajo con alta reflectividad.

30 Procedimientos similares, en los que un haz láser con un punto pequeño crea un capilar de vapor y se superpone a otro haz láser con un punto más grande para influir en el baño de soldadura circundante, se dan a conocer, por ejemplo, en el documento DE 10 2006 011 064 B4, el documento EP 1 007 267 B1, el documento DE 197 511 95, el documento DE 198 59 243 A1 y el documento JP 45 80065 A. El documento US 7.807.939 B2 describe un procedimiento de soldadura por láser en el que dos láseres irradian alternativamente una pieza de trabajo.

A partir del documento JP 2004 358 521 A se conoce, además, un procedimiento de soldadura por láser, en el que haces láser de diferentes fuentes láser o de la misma fuente láser se superponen y enfocan a diferentes profundidades de la pieza de trabajo. Un procedimiento similar que utiliza fuentes láser con diferentes longitudes de onda se da a conocer a partir del documento JP 2006 263 771 A.

35 El documento JP 2003 340 582 A propone dividir un haz láser en un haz principal de pequeño diámetro y alta energía, así como un haz secundario de mayor diámetro y menor energía y enfocarlos de forma diferente. Con el haz principal se crea un capilar de vapor.

40 El documento JP 2004 154 813 A (que da a conocer todas las características y etapas del preámbulo de la reivindicación 1) describe un procedimiento de mecanización con haz láser en el régimen de soldadura profunda, en el que se superponen un primer haz láser y un segundo haz láser, en el que un punto del segundo haz láser se encuentra dentro de un punto del primer haz láser en la superficie de una pieza de trabajo. Además, el documento DE 199 33 825 A1 describe un dispositivo de mecanización por láser, mediante el cual se superponen varios haces láser sobre el mismo eje y se orientan a una pieza de trabajo, estando los puntos focales de los haces láser superpuestos en diferentes posiciones.

Misión de la invención

45 La invención tiene por misión proporcionar un procedimiento de soldadura por láser profunda y los correspondientes dispositivos de soldadura por láser, en el que se pueda conseguir una buena calidad de costura con una gran profundidad de soldadura y una alta velocidad de avance.

Breve descripción de la invención

50 En la reivindicación 1 se define un procedimiento para soldar profundamente una pieza de trabajo de manera correspondiente a la invención.

Según la presente invención, la intensidad del primer haz láser se elige tan grande que ya sea capaz de generar un capilar de vapor en la pieza de trabajo (o bien en la interfaz de las partes de la pieza de trabajo que se deben conectar con la pieza de trabajo). De manera correspondiente, mediante el primer haz láser se crea ya una abertura en el plano de la

superficie de la pieza de trabajo.

El segundo haz láser, que es más pequeño que el primer haz láser, puede dirigirse a través de esta abertura, de modo que el segundo haz láser no incida en material fundido (o incluso en material sólido de la pieza de trabajo) que comprende la mayoría de las veces al menos el tercio superior (referido a la profundidad en la pieza de trabajo) de la pieza de trabajo.

- 5 Solo a una cierta distancia de la superficie de la pieza de trabajo, la mayoría de las veces en un tercio medio (referido a la profundidad en la pieza de trabajo) y un tercio inferior del capilar de vapor, se producen absorciones y reflexiones del segundo haz láser en la interfaz entre el capilar de vapor y el baño de fusión circundante, con liberación de energía.

De este modo, el segundo haz láser aprovecha la abertura del capilar de vapor creada por el primer haz láser para acceder a una zona más profunda del capilar de vapor sin (o con solo poca) pérdida de energía para liberar allí su energía.

- 10 La anchura del capilar KB del capilar de vapor en el marco del procedimiento según la invención corresponde esencialmente a la primera anchura B1 del primer haz láser (visto en el plano de la superficie de la pieza de trabajo); la mayoría de las veces se cumple en este caso que $|KB-B1| \leq 0,2 \cdot B1$, preferentemente $|KB-B1| \leq 0,15 \cdot B1$ y, a menudo, también que $|KB-B1| \leq 0,1 \cdot B1$. En muchos casos también se cumple $B1 \leq KB$.

- 15 Debido al bajo aporte de energía, en comparación con un solo haz láser, en la zona superior de la pieza de trabajo disminuye la dinámica del flujo de masa fundida en la zona superior del baño de fusión. Se reducen las velocidades de flujo de la masa fundida y se reduce la tendencia a turbulencias. Esto, a su vez, reduce la formación de salpicaduras o bien puede aprovecharse para una mayor velocidad de avance en el proceso de soldadura por láser. Al mismo tiempo, el segundo haz láser puede proporcionar mucha energía a mayores profundidades, con lo cual se puede aumentar la profundidad de soldadura en comparación con un solo haz láser de baja calidad y, además, se logra una forma de costura delgada.
- 20

- En el marco de la invención se puede conseguir una profundidad de soldadura predeterminada con una buena calidad de la costura con una potencia láser menor que en el estado de la técnica. Con ello, se aumenta la eficiencia energética, de modo que se pueden reducir los costes operativos y los costes de inversión. Además, el acoplamiento de energía más específico conduce a una menor entrada de calor en la pieza de trabajo (componente) y, por lo tanto, reduce las tensiones inherentes y la deformación de la pieza de trabajo.
- 25

La intensidad del primer haz láser es típicamente suficiente para crear un capilar de vapor (estable) en la pieza de trabajo con el primer haz láser solo; típicamente, la intensidad del primer haz láser es como máximo el doble de lo necesario para producir un capilar de vapor estable con el primer haz láser solo.

- 30 Las relaciones especificadas para las anchuras (por ejemplo, B1, B2, KB) se aplican al menos a lo largo de la dirección de avance (dirección de soldadura) del proceso de soldadura por láser y, típicamente, también con respecto a cualquier dirección dentro del (o paralela al) plano de la superficie de la pieza de trabajo. Preferiblemente, en el marco de la invención también se cumple que $B2 \leq 0,5 \cdot KB$ o $B2 \leq 0,4 \cdot KB$ o incluso $B2 \leq 0,3 \cdot KB$. También se cumple preferentemente, que $B2 \leq 0,5 \cdot B1$ o $B2 \leq 0,4 \cdot B1$.

- 35 Los haces láser primero y segundo se pueden generar con una fuente láser común o también con fuentes láser separadas. Típicamente, el primer haz láser y el segundo haz láser son coaxiales. Téngase en cuenta que (en el plano de la superficie de la pieza de trabajo) el segundo haz láser puede solaparse con el primer haz láser, o también el primer haz láser puede rodear al segundo haz láser en forma de un anillo.

- 40 De manera correspondiente a la invención, el segundo haz láser presenta una mejor calidad del haz (también denominada calidad del haz) que el primer haz láser, en particular con $SPP1 \geq 2 \cdot SPP2$, preferiblemente $SPP1 \geq 4 \cdot SPP2$, con $SPP1$: producto del parámetro del haz del primer haz láser, y $SPP2$: producto del parámetro del haz del segundo haz láser.

Con ello se podían lograr grandes profundidades de soldadura como también altas velocidades de avance con una buena calidad de la costura. En el marco de la invención, la ventaja de un SPP bajo, es decir, una calidad de haz alta, a saber, una gran profundidad de soldadura, se puede combinar con las ventajas de un SPP alto, a saber, una calidad de haz baja o bien una mejor calidad de la costura o una velocidad de avance seleccionable más alta.

45 Variantes preferidas de la invención

- En el caso de una variante preferida del procedimiento según la invención, el primer haz láser y el segundo haz láser tienen la misma posición de enfoque con respecto a una dirección z, que discurre perpendicular a la superficie de la pieza de trabajo, o posiciones de enfoque que están distanciadas entre sí por menos de 1 mm. En este caso se puede utilizar para ambos haces láser una óptica de imagen especialmente sencilla y especialmente común. Además, la energía del segundo haz láser puede incorporarse la mayoría de las veces a una profundidad especialmente grande; el perfil del haz del segundo haz láser puede aprovechar de manera óptima el espacio libre creado por el primer haz láser en el capilar de vapor.
- 50

- También se prefiere una forma de realización en donde las posiciones de enfoque del primer y segundo haces láser se encuentren en el plano de la superficie de la pieza de trabajo o debajo de la superficie de la pieza de trabajo dentro del capilar de vapor. Con ello se optimiza la calidad de la costura. Generalmente se encuentran focos comunes o bien el foco más profundo se encuentra a una profundidad máxima correspondiente a la mitad de la extensión en profundidad del
- 55

capilar de vapor o bien al espesor de la pieza de trabajo (respecto a la dirección z).

También es ventajosa una variante en la que para una primera potencia láser $L1$ del primer haz láser y una segunda potencia láser $L2$ del segundo haz láser se cumple lo siguiente: $L2 \geq L1$, preferiblemente $L2 \geq 2 \cdot L1$. Esto ha demostrado su eficacia en la práctica para obtener un gran aporte de energía a mayor profundidad en el capilar de vapor. En particular, se lograron también buenos resultados de soldadura con las mismas potencias de láser $L2 = L1$. La intensidad del segundo haz láser por sí sola también sería suficiente para crear un capilar de vapor en la pieza de trabajo. En la mayoría de los casos, todavía se cumple que $L2 \geq 5 \cdot L1$. Alternativamente, sin embargo, también se puede seleccionar $L2 < L1$. En general, la intensidad del segundo haz láser enfocado es al menos tan alta como la intensidad del primer haz láser enfocado.

También se prefiere una variante en la que para un primer ángulo de enfoque $W1$ del primer haz láser y un segundo ángulo de enfoque $W2$ del segundo haz láser se cumple que: $W2 \geq W1$. Especialmente, en el caso de una posición de enfoque común debajo de la superficie de la pieza de trabajo se puede evitar, en general, un contacto no deseado del segundo haz láser con la masa fundida cerca de la superficie de la pieza de trabajo. Además, a menudo se puede configurar una cáustica del haz especialmente estrecha (en comparación con el primer haz láser) del segundo haz láser. Alternativamente, también puede estar previsto que $W2 < W1$.

En el caso de una variante preferida está previsto que para una anchura mínima KD del capilar de vapor en el cuarto superior del capilar de vapor cerca de la superficie de la pieza de trabajo y para una anchura mayor $G2$ del segundo haz láser en el cuarto superior del capilar de vapor se cumpla que: $0,8 \cdot KD \geq G2$, preferiblemente $0,6 \cdot KD \geq G2$. De este modo se puede reducir el aporte de energía en el baño de fusión en el cuarto del capilar de vapor cercano a la superficie y se puede conseguir una calidad de la costura especialmente buena o bien una velocidad de avance especialmente alta. Respecto a una anchura mínima $K1$ del primer haz láser en el cuarto superior del capilar de vapor también se cumple preferentemente que $0,8 \cdot K1 \geq G2$ o $0,6 \cdot K1 \geq G2$.

También se prefiere una variante del procedimiento en la que el primer haz láser y el segundo haz láser estén alineados coaxialmente con un eje de haz común. Gracias a la alineación coaxial, el segundo haz láser puede penetrar en profundidades especialmente grandes de la pieza de trabajo sin incidir primero en la masa fundida. Además, el dispositivo de soldadura puede poseer una estructura sencilla.

Se prefiere un perfeccionamiento en el que el eje común del haz discurra esencialmente perpendicular a la superficie de la pieza de trabajo. Con ello se optimiza la profundidad de soldadura. En particular, el eje del haz se puede seleccionar con una desviación de la vertical de la superficie de la pieza de trabajo de 5° o menos, y preferentemente de 0° . Dependiendo del tipo de junta y cordón de soldadura, también se pueden utilizar otros ángulos de incidencia, especialmente con una desviación de más de 5° con respecto a la vertical de la superficie de la pieza de trabajo.

Preferiblemente, el primer y el segundo haz láser se conducen juntos en un conductor de luz, ya que de esta manera se puede conseguir una estructura especialmente sencilla para transportar la luz y representarla sobre la pieza de trabajo. En este caso, se puede usar una fibra común, p. ej., usando diferentes ángulos de acoplamiento de los haces láser, diferentes ubicaciones de acoplamiento en la superficie de entrada de las fibras (p. ej., céntrica y excéntrica), y/o diferentes longitudes de onda de los haces láser, o se pueden utilizar múltiples fibras o fibras de varios núcleos (es decir, varios núcleos de fibras situados uno al lado del otro o coaxialmente uno dentro del otro).

Además, se prefiere una variante que prevea que el primer y el segundo haces láser sean conducidos en una fibra 2 en 1 con una fibra del núcleo y una fibra anular, en particular donde el primer haz láser sea conducido en la fibra anular y el segundo el haz láser sea conducido en la fibra del núcleo,

que el primer y segundo haces láser emerjan de un extremo de la fibra 2 en 1 delante de la pieza de trabajo,

y que el extremo de la fibra con la fibra anular y la fibra del núcleo se reproducen en un foco común sobre o dentro de la pieza de trabajo mediante una óptica común, por lo que el primer y segundo haces láser se dirigen a la pieza de trabajo mediante la óptica común,

en particular, la óptica común comprende, preferiblemente de forma exclusiva, una lente de colimación y una lente de enfoque. Con esta variante se puede utilizar una estructura especialmente sencilla para transportar la luz láser y plasmarla sobre la pieza de trabajo.

En el caso de un perfeccionamiento ventajoso de esta variante está previsto que una fuente láser común genere un haz láser original, estando una primera parte del haz láser original acoplada excéntricamente en la fibra anular y formando el primer haz láser, y estando una segunda parte del haz láser original acoplada a la fibra del núcleo y formando el segundo haz láser. Esto hace posible utilizar una única fuente láser (fuente de haz) para proporcionar automáticamente un haz parcial de calidad de haz alto y un haz parcial de calidad de haz baja de una manera sencilla mediante acoplamiento (conjunto) en la fibra 2 en 1. Dependiendo de en cuál de las fibras esté acoplada la parte original del haz láser, ésta emerge del otro extremo de la fibra con diferentes características del haz láser. Para controlar los componentes del haz en la fibra del núcleo y la fibra anular, se puede proporcionar una placa de cuña que se puede mover hacia la trayectoria del haz láser original. Para generar diferentes características láser han demostrado ser especialmente ventajosas las fibras 2 en 1, que presentan una fibra del núcleo con el diámetro de fibra del núcleo más pequeño posible $\leq 150 \mu\text{m}$ y una fibra anular con un diámetro exterior mayor que tres veces el diámetro de la fibra del núcleo.

5 En el caso de una variante alternativa está previsto que una primera fuente láser genere el primer haz láser y una segunda fuente láser genere el segundo haz láser, y que el primer haz láser y el segundo haz láser estén superpuestos mediante un elemento divisor de haz. En el caso de la denominada tecnología de doble punto se pueden seleccionar libremente las fuentes láser para el primer y segundo haz láser. La construcción de un dispositivo de soldadura por láser correspondiente es en general sencilla y económica.

En el caso de un perfeccionamiento de esta variante, los haces láser superpuestos se dirigen sobre la pieza de trabajo mediante una óptica de enfoque común, en particular una lente de enfoque. Esto es especialmente sencillo y se ha acreditado en la práctica.

10 Otra forma de realización alternativa prevé que el primer y el segundo haz láser sean conducidos en una fibra de doble núcleo con dos fibras láser paralelas y adyacentes,

que el primer y segundo haz láser salgan de los extremos de la fibra de doble núcleo delante de la pieza de trabajo,

y que los extremos de las fibras láser se reproduzcan en un foco común sobre o dentro de la pieza de trabajo a través de una óptica común, por lo que los haces láser primero y segundo se dirigen hacia la pieza de trabajo mediante la óptica común,

15 en particular, en donde la óptica común comprende, preferiblemente de forma exclusiva, una lente de colimación y una lente de enfoque. Esto permite una construcción comparativamente sencilla de un dispositivo de soldadura por láser para transportar luz y reproducir los haces láser sobre la pieza de trabajo.

Los dispositivos de soldadura por láser diseñados para llevar a cabo el procedimiento según la invención, de manera correspondiente a la invención, se definen en las reivindicaciones 14 y 15.

20 Con estos dispositivos de soldadura por láser se pueden soldar piezas de trabajo, especialmente piezas de trabajo de acero, con una gran profundidad de soldadura y con una alta velocidad de avance y una buena calidad de la costura.

25 Otras ventajas de la invención se desprenden de la descripción y del dibujo. Asimismo, según la invención, las características mencionadas anteriormente y las que se detallan con más detalle se pueden utilizar individualmente o en grupos en cualquier combinación. Las realizaciones mostradas y descritas no deben entenderse como una lista exhaustiva, sino que más bien tienen un carácter ejemplar para describir la invención.

Descripción detallada de la invención y dibujo

La invención está representada en el dibujo y se explica con más detalle mediante ejemplos de realización. Muestran:

- La Fig. 1, un corte longitudinal esquemático a través de una parte de un dispositivo de soldadura por láser según la invención y una pieza de trabajo en el caso de una variante del procedimiento de soldadura profunda según la invención;
- 30 la Fig. 2, cortes transversales experimentales a través de un cordón de soldadura (en cada caso arriba) y vistas en planta de un cordón de soldadura (en cada caso abajo) durante la soldadura profunda con un haz láser de alta calidad de haz a), con dos haces láser según la invención b) y con un haz láser de baja calidad c), en el caso de baja velocidad de soldadura;
- 35 la Fig. 3, vistas laterales experimentales del baño de fusión durante la soldadura (en cada caso arriba), vistas en planta de la costura de soldadura (en cada caso en el centro) y secciones transversales a través de la costura de soldadura (en el caso abajo) en el caso de una variante según la invención con dos haces láser a) y con un haz láser b) en el caso de alta velocidad de soldadura;
- 40 la Fig. 4, vistas oblicuas experimentales del baño de fusión durante la soldadura en el caso de utilizar un haz láser a) y en el caso de una variante según la invención con dos haces láser b);
- la Fig. 5, una vista esquemática de una primera forma de realización de un dispositivo de soldadura por láser según la invención en tecnología de doble punto con un elemento divisor de haz;
- 45 la Fig. 6, una vista esquemática en corte longitudinal a través de una fibra 2 en 1 (arriba) para usar con la invención, así como un conjunto generador de haz asociado (abajo);
- la Fig. 7, una vista esquemática de un conjunto de fibra de doble núcleo para usar con la invención;
- la Fig. 8, una representación esquemática de las cáusticas de haz del primer y segundo haces láser en una variante del procedimiento de soldadura por láser según la invención, con aproximadamente los mismos ángulos de apertura;

50

la Fig. 9, una representación esquemática de las cáusticas de haz del primer y segundo haz láser en una variante del procedimiento de soldadura por láser según la invención, con ángulos de apertura desiguales.

Introducción

5 En la soldadura profunda por haz láser, el movimiento relativo entre el haz láser y la pieza de trabajo mueve un capilar de vapor (ojo de cerradura) a través de un baño líquido de masa fundida. En el caso de una velocidad de avance demasiado alta, se desprenden con ello muchas salpicaduras de masa fundida y la calidad del cordón de soldadura se reduce debido a la formación de muescas.

10 En el caso de la soldadura profunda convencional por haz láser, la mayor parte de la energía del láser se absorbe en la zona superior del capilar de vapor. En esta zona el haz láser incide por primera vez sobre la pieza de trabajo. Aquí también suele situarse el plano focal. Por consiguiente, aquí es donde se encuentra la mayor densidad de potencia.

Al aumentar la energía absorbida, aumenta la dinámica del flujo de masa fundida y, al alcanzar valores críticos, se producen los efectos negativos antes mencionados, que provocan una pérdida de masa en la costura y/o un comportamiento cíclico pronunciado del flujo de masa fundida.

15 Si se utiliza un haz láser con muy buena calidad del haz (también llamada calidad del haz), la profundidad de soldadura resultante aumenta (en el caso del mismo aporte de energía) en comparación con un láser de baja calidad del haz. Sin embargo, el límite de una buena calidad del cordón de soldadura se desplaza hacia velocidades de avance más bajas. Los inventores parten de la base de que esto se debe a una densidad de potencia particularmente alta absorbida cerca de la superficie. Además, en el caso de utilizar un haz láser de alta calidad, se crea un capilar de vapor más estrecho, que a altas velocidades amenaza con colapsar más rápidamente que un capilar de vapor más ancho provocado por un haz láser de menor calidad del haz.

20 Con la presente invención se desplaza parcialmente el acoplamiento de energía a zonas más profundas del capilar de vapor, de modo que se consiguen altas profundidades de soldadura con buena calidad de costura en el mayor intervalo de velocidades posible.

Realización del procedimiento según la invención

25 La Fig. 1 muestra en un corte longitudinal esquemático la zona del baño de fusión 1 en una pieza de trabajo 2, que precisamente se está soldando con un dispositivo de soldadura por láser 3 según una variante del procedimiento de soldadura profunda según la invención (en la Fig. 1 solo se representa parcialmente). La dirección de soldadura (relativa) SR se dirige aquí hacia la izquierda, por ejemplo moviendo la pieza de trabajo 2 (con el dispositivo de soldadura por láser 3, que por lo demás está estacionario) hacia la derecha.

30 Un primer haz láser 11 y un segundo haz láser 12 son guiados aquí coaxialmente a lo largo de un eje 4 del haz común y se enfocan sobre la pieza de trabajo 2 mediante una óptica de enfoque 5 del dispositivo de soldadura por láser 3, por ejemplo alrededor de dos partes de la pieza de trabajo cuya superficie de contacto está en el plano del dibujo de la Fig. 1 para soldar la pieza de trabajo 2. El eje 4 del haz discurre aquí perpendicular al plano de la superficie de la pieza de trabajo OE. Ambos haces láser 11, 12 disponen aquí de un perfil de intensidad sustancialmente simétrico en rotación ("circular") (con respecto al eje 4 del haz). Los lugares donde la intensidad ha caído a la mitad de la intensidad máxima pueden usarse como limitaciones de los haces láser 11, 12.

35 En la variante representada, los dos haces láser 11, 12 tienen su foco en el plano de la superficie de la pieza de trabajo OE, de modo que los haces láser 11, 12 presentan aquí respectivamente su diámetro más pequeño ("cintura"). El diámetro (FWHM) del primer haz láser 11 en el plano de la superficie de la pieza de trabajo OE, denominado primera anchura B1 del haz, es significativamente mayor que el diámetro (FWHM) del segundo haz láser 12 en el plano de la superficie de la pieza de trabajo OE, llamada segunda anchura B2 del haz, aquí con aprox. $B2=0,25 \cdot B1$. En general, la cáustica del haz del segundo haz láser 12 es más pequeña que la cáustica del haz del primer haz láser 11.

40 El primer haz láser 11 posee por sí solo suficiente intensidad para generar un capilar de vapor 6 en la pieza de trabajo 2. Correspondientemente, la anchura KB del capilar de vapor 6 en el plano de la superficie de la pieza de trabajo OE es aproximadamente tan grande como la primera anchura B1 del haz; en la variante mostrada, KB es ligeramente mayor que B1, aquí aprox. con $KB=1,15 \cdot B1$. Alrededor del capilar de vapor 6 se dispone masa fundida (material de pieza de trabajo fundido), estando situada la mayor parte del baño de fusión 1 detrás del capilar de vapor 6 (referido a la dirección de soldadura SR).

45 Dado que la segunda anchura B2 del haz del segundo haz láser 12 es claramente menor que la primera anchura B1 del haz del primer haz láser 11, el segundo haz láser 12 puede pasar a través de la abertura 7 del capilar de vapor 6 sin chocar con la masa fundida del baño de fusión 1. En la variante mostrada, la primera absorción parcial 8 del segundo haz láser 12 en la interfaz del capilar de vapor 6 solo se produce en un tercio medio (referido a la dirección z hacia dentro de la pieza de trabajo 2) del capilar de vapor 6, y la parte no absorbida de la radiación se refleja, como se muestra con líneas discontinuas el segundo haz láser 12 reflejado. De manera correspondiente, el segundo haz láser 12 apenas introduce energía en el baño de fusión 1 cerca de la superficie. Obsérvese que el primer haz láser 11 ya es parcialmente absorbido y parcialmente reflejado por primera vez claramente más arriba, véase el primer haz láser 11 reflejado dibujado con una

línea de puntos.

5 En el cuarto superior 9 del capilar de vapor 6 se puede determinar la anchura (diámetro) G_2 más grande del segundo haz láser 12 (aquí en el borde inferior del cuarto superior 9) y la anchura (diámetro) KD más pequeña del capilar de vapor 6 (aquí también en el borde inferior del cuarto superior 9). Asimismo, se puede determinar la anchura más pequeña (diámetro) K_1 del primer haz láser 11 (aquí en el borde superior del cuarto 9, es decir, en el plano de la superficie de la pieza de trabajo). En la variante mostrada se cumple que aprox. $G_2=0,46 \cdot KD$ y, además, que aprox. $G_2=0,5 \cdot K_1$. Debido a que G_2 es claramente más pequeña que KD o K_1 , la irradiación de la energía del segundo haz láser 12 puede ser transmitida adicionalmente al baño de fusión 1, especialmente en la zona inferior del capilar de vapor 6, y precisamente no en el cuarto superior 9.

10 Mediante la irradiación de energía del segundo haz láser 12 en la zona más profunda del capilar de vapor 6 se puede reducir la dinámica del baño de fusión, especialmente cerca de la superficie. Las turbulencias disminuyen o bien se reducen. Con ello disminuye la separación de salpicaduras de soldadura y se reduce la ondulación de la costura de soldadura resultante.

15 En la forma de realización mostrada, el producto de parámetros de haz SPP1 del primer haz láser es aprox. 2,7 veces mayor que el producto de parámetros de haz SPP2 del segundo haz láser 12, es decir, el segundo haz láser 12 tiene la mejor calidad de haz. Típicamente, se selecciona un haz láser multimodo como primer haz láser (con calidad baja del haz). Los productos de parámetros de haz SPP1, SPP2 se pueden determinar como producto de los respectivos ángulos de enfoque (ángulo de apertura en el campo lejano) W_1 , W_2 con los radios de los respectivos haces láser 11, 12 en el lugar más estrecho del punto cóustico (aquí las anchuras B_1 , B_2 del haz reducidas a la mitad). En la variante mostrada $W_1 < W_2$, aquí con aprox. $W_1=0,68 \cdot W_2$.

20 Para producir una costura de soldadura de alta calidad con una velocidad de avance elevada (velocidad de soldadura), el primer haz láser 11 inicia la formación del capilar de vapor (ojo de cerradura) 6 con un diámetro suficientemente grande, en particular la abertura superior 7. Al mismo tiempo (aquí coaxialmente) se dirige o enfoca por el segundo haz láser 12 en el capilar de vapor 6 formado, siendo la cóustica del haz del segundo haz láser 12 más pequeña que la del primer haz láser 11. La energía del segundo haz láser 12 es solo absorbida/acoplada en una zona inferior del capilar de vapor 6. La energía absorbida en la zona superior del capilar de vapor se reduce respecto al estado de la técnica y aumenta en la zona inferior; de este modo se aumenta la profundidad de soldadura y siendo posibles, a pesar de ello, velocidades de avance elevadas.

Resultados experimentales

30 Para las imágenes de la **Fig. 2**, piezas de trabajo de acero estructural se sometieron a una soldadura ciega con a) un haz láser con SPP = 2 mm*mrad, diámetro de foco 150 μ m, fuente láser TruDisk 5000.5, además con b) según la invención dos haces láser coaxiales con SPP = 2 mm*mrad y SPP = 8 mm*mrad, diámetro de foco 150 μ m y 300 μ m, fuente láser TruDisk 5000.5 y TruDisk 16002, y además con c) un haz láser con SPP = 8 mm*mrad, diámetro de foco 300 μ m, fuente láser TruDisk 16002. En todos los casos la velocidad de avance fue de 1 m/min y la potencia total del láser $P = 2$ kW, en el caso b) con 1 kW por cada haz láser. La posición de enfoque fue de -4 mm en la pieza de trabajo.

35 Como se puede ver en las imágenes en sección transversal superior en la Fig. 2, se podría lograr una profundidad de soldadura de 6,1 mm con un haz láser con SPP 2 mm*mrad, y únicamente una profundidad de soldadura de 4,0 mm con un haz láser con SPP 8 mm*mrad con la misma potencia del láser. Combinando dos láseres con SPP 2 mm*mrad y SPP 8 mm*mrad, con la misma potencia total, se pudo lograr una profundidad de soldadura de 4,6 mm, es decir, claramente mayor que con un haz láser con SPP 8 mm*mrad.

40 En el caso de una la velocidad de avance relativamente baja de 1 m/min, se logró una calidad de la costura aceptable en todas las piezas de trabajo, véanse las imágenes de la vista en cada caso inferior.

45 Si se selecciona una velocidad de avance más alta, la calidad de la costura se ve más influenciada. Para la **Fig. 3** se soldaron de nuevo piezas de acero estructural, por un lado, con a) según la invención dos haces láser coaxiales con SPP = 12 mm*mrad y SPP = 3 mm*mrad y, por otro lado, con b) un haz láser con SPP = 8 mm*mrad. La potencia total del láser fue de 5 kW cada uno (en el caso de dos haces láser, ambos de 2,5 kW cada uno), la posición de enfoque de -2 mm y la velocidad de avance de 8 m/min.

50 En las vistas laterales tomadas durante el proceso de soldadura en cada caso arriba, se puede ver que con los dos haces láser a), se obtiene un baño de fusión tranquilo, mientras que con un haz láser b) se produce una expulsión considerable de gotitas de masa fundida (salpicaduras de soldadura). La calidad de la costura, como se puede ver con ayuda de la vista en el centro de la Fig. 3, es muy buena cuando se utilizan dos haces láser a), mientras que cuando se utiliza solo un haz láser b) se obtiene una costura de soldadura irregular con numerosos cordones. En las imágenes en sección transversal en la parte inferior de la Fig. 3 también se puede ver que en b) la costura de soldadura forma una depresión notable debido a la pérdida de material y presenta crestas superficiales irregulares, mientras que en a) no hay depresión y se puede reconocer un abultamiento de soldadura central simétrico.

En la **Fig. 4** los cortes de imagen más grandes se muestran en vista oblicua al soldar piezas de acero estructural, en el caso de a) con un haz láser, diámetro de foco de 440 μm , y en el caso de b) con dos haces láser según la invención, diámetro de foco de 110 μm y 440 μm . La velocidad de avance fue en cada caso de 10 m/min, la potencia total del láser fue de 5 kW cada uno (en el caso de dos haces láser, ambos de 2,5 kW cada uno) y la posición de enfoque fue de -2 mm en cada caso.

En el caso de utilizar solo un haz láser a) se produce una expulsión considerable de salpicaduras de soldadura en forma de cola hacia atrás, mientras que cuando se utilizan dos haces láser b) solo se observa una expulsión mínima de salpicaduras de soldadura.

Dispositivos de soldadura por láser

En la **Fig. 5** se representa, en un dibujo esquemático, una forma de realización de un dispositivo de soldadura por láser 3 según la invención. El dispositivo de soldadura por láser 3 representado funciona con la denominada tecnología de doble punto con un elemento divisor de haz 20.

El dispositivo de soldadura por láser 3 comprende una primera fuente láser 21, que genera un primer haz láser 11 con una calidad de haz típicamente baja. En caso necesario, el primer haz láser 11 puede transportarse parcialmente a través de una fibra óptica 22. Además, está prevista una segunda fuente láser 23, que genera un segundo haz láser 12 con una calidad de haz típicamente alta. En caso necesario, el segundo haz láser 12 también puede transportarse parcialmente a través de una fibra óptica 24. El primer haz láser 11 se colima (paraleliza) a través de una primera óptica colimadora 25 y se dirige hacia el elemento divisor de haz 20 (normalmente un espejo semitransparente). El segundo haz láser 12 se colima (paraleliza) a través de una segunda óptica colimadora 26 y también se dirige hacia el elemento divisor de haz 20. El segundo haz láser 12 está girado 90° con respecto al primer haz láser 11, y el elemento divisor de haz 20 está dispuesto en un ángulo de 45° con respecto a los haces láser 11, 12.

En este caso, en una prolongación del eje del segundo haz láser 12 está dispuesta una denominada trampa de haz 16.

El lugar de soldadura 27 está situado aquí en la prolongación del eje del primer haz láser 11. El haz total 28 formado por porciones del primer haz láser 11 y del segundo haz láser 12 detrás del elemento divisor de haz 20 se enfoca con una óptica de enfoque común 29 para el primer y segundo haz láser 11, 12 y se dirige sobre una pieza de trabajo 2 a ser soldada. El foco (común) 14 se encuentra aquí en el plano OE de la superficie de la pieza de trabajo.

La pieza de trabajo 2 está dispuesta aquí sobre una mesa de desplazamiento 13, con la que la pieza de trabajo 2 se puede mover a lo largo del eje de haz 4 (dirección z) del haz total 28, en particular para ajustar la posición de enfoque, y también en las direcciones perpendiculares al mismo (dirección x y dirección y) para moverse a lo largo de una costura de soldadura deseada.

La **Fig. 6** muestra arriba un corte longitudinal esquemático de una fibra 2 en 1 30, que puede emplearse como parte de un dispositivo de soldadura por láser para la invención.

La fibra 2 en 1 30 comprende una fibra del núcleo 31 y una fibra anular 32 que la rodea, en cada una de las cuales se puede guiar la luz láser. En este caso está acoplado un primer haz láser 11 en la fibra anular 32 y un segundo haz láser 12 en la fibra del núcleo 31 (representada arriba a la izquierda). Cuando están acoplados, el primer y segundo haces láser 11, 12 tienen cada uno una sección transversal circular (véase la vista en sección transversal de la fibra 2 en 1 30 en el centro arriba).

El primer haz láser 11 a acoplar y el segundo haz láser 12 a acoplar pueden proceder de una fuente láser 33 común, que genera un haz láser original 34, del que se desprende, por ejemplo, de una placa de cuña 35, una primera porción de radiación 38 y una segunda porción de radiación 37 (en la Fig. 6 mostrada abajo). Cuanto más se mueve la placa de cuña 35 en la trayectoria del haz láser original 34, mayor es la porción de radiación 38 que es desviada por éste, es decir, se pueden controlar las proporciones de la distribución a los dos haces láser 11, 12.

Dependiendo de a cuál de las fibras 31, 32 esté acoplado el respectivo haz láser 11, 12 generado, éste emerge del extremo 30a de la fibra con diferentes características del haz láser. Para acoplarse a la fibra 30, normalmente se proporciona una óptica de enfoque entre la placa de cuña 35 y la fibra 30 (no representada con más detalle). La primera porción de radiación 38 del haz láser original 34 (para el primer haz láser 11) está acoplada excéntricamente en la fibra anular exterior 32, y la segunda porción de radiación 37 del haz láser original 34 (para el segundo haz láser 12) está acoplada de forma céntrica en la fibra del núcleo interior 31.

El segundo haz láser 12 de la fibra del núcleo 31, acoplado en el extremo 30a de la fibra (véase la Fig. 6 arriba a la derecha), presenta un perfil circular estrecho y relleno correspondiente a la fibra del núcleo interior 31, así como una calidad de haz comparativamente alta con un enfoque nítido. El primer haz láser 11 acoplado de la fibra anular 32 presenta un perfil anular correspondiente al núcleo del anillo exterior con una distribución de potencia homogénea, así como una calidad del haz comparativamente menor, provocada por el acoplamiento excéntrico.

En resumen, la fibra del núcleo 31 tiene un diámetro más estrecho que la fibra anular 32, con lo cual el segundo haz láser 12 adquiere una calidad de haz intrínsecamente mejor que el primer haz láser 11. Cuando se desacopla del extremo 30a de la fibra, el primer haz láser 11 se distribuye por toda la fibra anular 32, es decir, alrededor de la fibra del núcleo 31 o bien del primer haz láser 11 que emerge. Los haces láser 11, 12 que emergen se pueden enfocar sobre la pieza de trabajo utilizando una óptica común (no representada con más detalle, pero véase para ello la Fig. 7).

En la Fig. 7 se muestra esquemáticamente una parte de un dispositivo de soldadura por láser 3 según la invención con una fibra de doble núcleo 40. La fibra de doble núcleo comprende dos fibras ópticas paralelas (fibras láser) 41, 42, que típicamente están dispuestas a una distancia fija entre sí mediante un revestimiento común (no representado). En los extremos 41a, 42a de las fibras emergen el primer haz láser 11 (representado en líneas discontinuas) y el segundo haz láser 12 (representado en líneas continuas), que se dirigen y enfocan, a través de una óptica común 43, que aquí comprende una lente colimadora 44 y una lente de enfoque 45 sobre una pieza de trabajo 2. Los haces láser 11, 12 se enfocan aquí en el mismo lugar, en particular a la misma profundidad (posición z) en la pieza de trabajo 2, véase el foco 14, pero no discurren coaxialmente. Las dos fibras ópticas 41, 42 están formadas aquí a partir de una fibra óptica 41 con un diámetro grande (p. ej., 440 μm) para el primer haz láser 11 con una calidad de haz baja y una fibra óptica 42 con un diámetro pequeño (p. ej., 110 μm) para el segundo haz láser 12 con alta calidad del haz. Los haces láser 11, 12 pueden provenir de diferentes fuentes láser con diferentes calidades de haz, o provenir de una única fuente láser común, degradándose entonces la calidad del haz del primer haz láser 11, p. ej., mediante acoplamiento excéntrico en la fibra óptica 41 de gran diámetro u otros procedimientos conocidos.

Téngase en cuenta que con una óptica común 43 como se representa en la Fig. 7, los haces láser 11, 12, que emergen del extremo 30a de una fibra 2 en 1 30 (véase la Fig. 6), también se pueden enfocar sobre o dentro de una pieza de trabajo 2 (no representado en detalle).

Cáusticas del haz

En la Fig. 8 se representan cáusticas del haz típicas de haces láser 11, 12, tal como se pueden utilizar en la invención. El primer haz láser 11 y el segundo haz láser 12 presentan aquí aproximadamente el mismo ángulo de enfoque (ángulo de apertura) $W1$, $W2$. Sin embargo, el radio $R1$ del primer haz láser 11 en el punto más estrecho (aquí en $z = 0$, en el plano de la superficie de la pieza de trabajo) es aproximadamente 3 veces mayor que el radio $R2$ del segundo haz láser 12 en el punto más estrecho. De manera correspondiente, el primer haz láser 11 tiene un producto de parámetro de haz SPP1 aproximadamente 3 veces mayor que el segundo haz láser 12 con un producto de parámetro de haz SPP2.

La Fig. 9 muestra otros puntos cáusticos de haces láser 11, 12, tal como se pueden emplear en la invención. El primer haz láser 11 presenta aquí un ángulo de enfoque $W1$ menor que el segundo haz láser 12 con un ángulo de enfoque (ángulo de apertura) $W2$, con aprox. $W2 = 1,3 \cdot W1$. El radio $R1$ del primer haz láser 11 en el punto más estrecho (aquí en $z = 0$, en el plano de la superficie de la pieza de trabajo) es aquí aproximadamente 5,8 veces mayor que el radio $R2$ del segundo haz láser 12 en el punto más estrecho. El primer haz láser 11 tiene aquí un producto de parámetros de haz SPP1 aproximadamente 4,5 veces mayor que el segundo haz láser 12 con un producto de parámetros de haz SPP2.

Lista de símbolos de referencia

- | | |
|----|---|
| 1 | baño de fusión |
| 2 | pieza de trabajo |
| 3 | dispositivo de soldadura láser |
| 4 | eje del haz |
| 5 | óptica de enfoque |
| 6 | capilar de vapor |
| 7 | abertura |
| 8 | primera absorción/reflexión (segundo haz láser) |
| 9 | cuarto superior (capilar de vapor) |
| 11 | primer haz láser |
| 12 | segundo haz láser |
| 13 | mesa de desplazamiento |
| 14 | foco |
| 16 | trampa de haz |

ES 2 974 011 T3

	20	elemento divisor de haz
	21	primera fuente láser
	22	fibra óptica (fibra láser)
	23	segunda fuente de haz
5	24	fibra óptica (fibra láser)
	25	primera óptica colimadora
	26	segunda óptica colimadora
	27	lugar de soldadura
	28	haz total
10	29	óptica de enfoque
	30	fibra 2 en 1
	30a	extremo de fibra (fibra 2 en 1)
	31	fibra del núcleo
	32	fibra anular
15	33	fuentes láser común
	34	haz láser original
	35	placa de cuña
	36	eje del haz (haz láser original)
	37	segunda porción de radiación (parte del haz láser original)
20	38	primera porción de radiación (parte del haz láser original)
	40	fibra de doble núcleo
	41	fibra óptica (fibra láser)
	41a	extremo de la fibra
	42	fibra óptica (fibra láser)
25	42a	extremo de la fibra
	43	óptica común
	44	lente colimadora
	45	lente de enfoque
	B1	primera anchura del haz
30	B2	segunda anchura del haz
	G2	mayor anchura del segundo haz láser en el cuarto superior
	K1	anchura más pequeña del primer haz láser en el cuarto superior
	KB	anchura capilar
	OE	plano de la superficie de la pieza de trabajo
35	S.R.	dirección de soldadura
	W1	primer ángulo de enfoque
	W2	segundo ángulo de enfoque

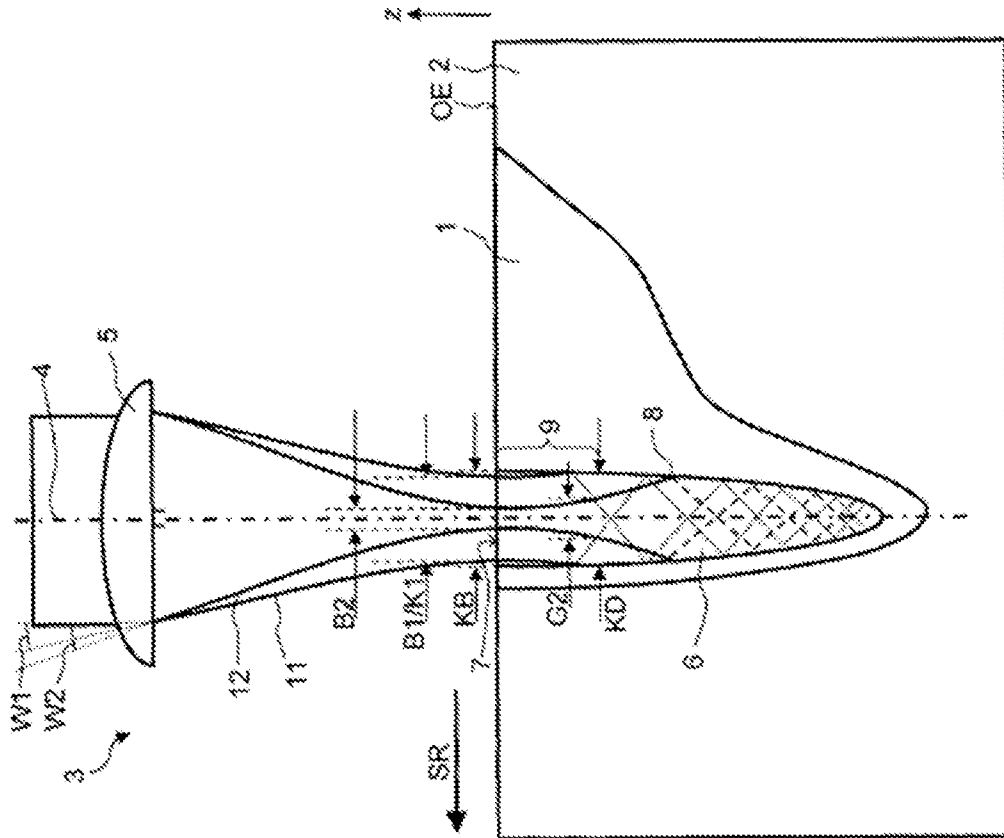
REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la soldadura profunda de una pieza de trabajo (2),
 en el que una superficie de la pieza de trabajo (2) se irradia con un primer haz láser (11) y un segundo haz láser (12),
- 5 en el que en un plano de superficie de la pieza de trabajo (OE) una primera anchura de haz B1 del primer haz láser (11) es mayor que una segunda anchura de haz B2 del segundo haz láser (12),
 en el que al menos en el plano de la superficie de la pieza de trabajo (OE), el segundo haz láser (12) está dentro del primer haz láser (11),
- 10 en el que la intensidad del primer haz láser (11) es suficiente por sí sola para crear un capilar de vapor (6) en la pieza de trabajo (2),
 y en el que el capilar de vapor (6) creado en la pieza de trabajo (2) presenta una anchura de capilar KB en el nivel de superficie de la pieza de trabajo (OE),
 en el que KB es esencialmente tan ancho como B1, y además se cumple que $B2 \leq 0,75 \cdot KB$,
 caracterizado por que
- 15 el segundo haz láser (12) presenta una mejor calidad de haz que el primer haz láser (11), en particular con $SPP1 \geq 2 \cdot SPP2$, preferiblemente $SPP1 \geq 4 \cdot SPP2$ siendo SPP1: el producto de parámetros del haz del primer haz láser (11), y siendo SPP2: el producto del parámetro del haz del segundo haz láser (12).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el primer haz láser (11) y el segundo haz láser (12) tienen la misma posición focal o una posición focal a menos de 1 mm entre sí con respecto a una dirección z que discurre perpendicular a la superficie de la pieza de trabajo (2).
- 20 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las posiciones focales del primer y segundo haz láser (11, 12) están en el plano de la superficie de la pieza de trabajo (OE) o debajo de la superficie de la pieza de trabajo dentro del capilar de vapor (6).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que para una primera potencia de salida de láser L1 del primer haz láser (11) y para una segunda potencia de láser L2 del segundo haz láser (12) se cumple que $L2 \geq L1$, preferiblemente $L2 \geq 2 \cdot L1$.
- 25 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que para un primer ángulo focal W1 del primer haz láser (11) y un segundo ángulo focal W2 del segundo haz láser (12) se cumple que: $W2 \geq W1$.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que para una anchura KD más pequeña del capilar de vapor (6) en el cuarto superior (9) del capilar de vapor (6) cerca del plano de la superficie de la pieza de trabajo, y para una anchura G2 más grande del segundo haz láser (12) en el cuarto superior (9) del capilar de vapor (6) se cumple que: $0,8 \cdot KD \geq G2$, preferentemente $0,6 \cdot KD \geq G2$.
- 30 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el primer haz láser (11) y el segundo haz láser (12) están orientados coaxialmente con un eje de haz común (4).
8. Método según la reivindicación 7, caracterizado por que el eje de haz común (4) discurre esencialmente perpendicular a la superficie de la pieza de trabajo.
- 35 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que el primer y segundo haces láser (11, 12) son guiados hacia una fibra 2 en 1 (30) con una fibra del núcleo (31) y una fibra anular (32), en particular en el que el primer haz láser (11) es guiado hacia la fibra anular (32) y el segundo haz láser (12) es guiada hacia la fibra del núcleo (31),
- 40 por que el primer y segundo haces láser (11, 12) parten de un extremo (30a) de la fibra de la fibra 2 en 1 (30) delante de la pieza de trabajo (2),
 y por que el extremo (30a) de la fibra se forma con una fibra anular (32) y una fibra del núcleo (31) por medio de una óptica común (43) en un foco común (14) sobre o dentro de la pieza de trabajo (2), con lo cual el primer y segundos haces láser (11, 12) son dirigidos sobre la pieza de trabajo (2) mediante la óptica común (43),
- 45 en particular en el que la óptica común (43) comprende, preferiblemente comprende exclusivamente, una lente de colimación (44) y una lente de enfoque (45).

10. Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado por que una fuente láser común (33) crea un haz láser original (34) en el que una primera porción (38) del haz láser original (34) se acopla excéntricamente en la fibra anular (32) y forma el primer haz láser (11) y una segunda porción (37) del haz láser original (34) se acopla a la fibra del núcleo (31) y forma el segundo haz láser (12).
- 5 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que una primera fuente láser (21) crea el primer haz láser (11) y una segunda fuente láser (23) crea el segundo haz láser (12), y por que el primer haz láser (11) y el segundo haz láser (12) se superponen mediante un elemento divisor de haz (20).
12. Procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado por que los haces láser (11, 12) superpuestos se dirigen sobre la pieza de trabajo (2) mediante una óptica de enfoque común (29), en particular una lente de enfoque.
- 10 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que el primer y el segundo haces láser (11, 12) son guiados a una fibra de doble núcleo (40) con dos fibras láser (41, 42) una al lado de la otra y paralelas entre sí,
- por que el primer y segundo haces láser (11, 12) salen de los extremos de fibra (41a, 42a) de la fibra de doble núcleo (40) delante de la pieza de trabajo (2),
- y por que los extremos de fibra (41a, 42a) de las fibras láser (41, 42) se forman por una óptica común (43) en un foco común (14) sobre o dentro de la pieza de trabajo (2), con lo cual el primer y segundo haces láser (11, 12) son dirigidos sobre la pieza de trabajo (2) por la óptica común (43),
- 15 en particular en el que la óptica común (43) comprende, preferiblemente comprende exclusivamente, una lente de colimación (44) y una lente de enfoque (45).
14. Dispositivo de soldadura por láser (3), diseñado para realizar un procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende:
- 20 una fuente de haz láser (33) para generar un primer haz láser (11) y un segundo haz láser (12), que también puede diseñarse como una primera porción de radiación (38) y como una segunda porción de radiación (37) de un haz láser original (34),
- ya sea una fibra 2 en 1 (30) con una fibra del núcleo (31) central y una fibra anular (32) que la rodea, en donde el primer haz láser (11) se puede acoplar a la fibra anular (32), y el segundo haz láser (12) se puede acoplar a la fibra del núcleo (31)
- 25 o una fibra de doble núcleo (40) que comprende una primera fibra óptica (41) con un primer diámetro y una segunda fibra óptica (42) con un segundo diámetro, que es menor que el primer diámetro, en donde la primera fibra óptica (41) y la segunda fibra óptica discurren paralelas entre sí, y en donde el primer haz láser (11) se puede acoplar a la primera fibra óptica (41) y el segundo haz láser (12) se puede acoplar a la segunda fibra óptica (42),
- 30 una óptica (43) que comprende una lente de colimación (44) y una lente de enfoque (45), mediante la cual los haces láser (11, 12) que salen por un extremo de fibra determinado (30a, 41a, 42a) de la fibra 2 en 1 (30) o la fibra de doble núcleo (40) se puede enfocar en una pieza de trabajo (2) de modo que, en uso, en un plano de la superficie de la pieza de trabajo (OE) de la pieza de trabajo (2), una primera anchura de haz B1 del primer haz láser (11) es mayor que una segunda anchura de haz B2 del segundo haz láser (12), en donde el segundo haz láser (12) se encuentra dentro del primer haz láser (11) al menos en el plano de la superficie de la pieza de trabajo (OE), en donde la intensidad del primer haz láser (11) es suficiente por sí sola para crear un capilar de vapor (6) en la pieza de trabajo (2), y en donde el capilar de vapor (6) creado en la pieza de trabajo (2) tiene una anchura de capilar KB en el plano de la superficie de la pieza de trabajo (OE), en donde KB es esencialmente tan ancha como B1 y, además, se cumple que $B2 \leq 0,75 * KB$, y de modo que el segundo haz láser (12) presenta una mejor calidad de haz que el primer haz láser (11), en particular con $SPP1 \geq 2 * SPP2$, preferiblemente $SPP1 \geq 4 * SPP2$, siendo SPP1: el producto de parámetros de haz del primer haz láser (11) y siendo SPP2: el producto de parámetros de haz del segundo haz láser (12).
- 35
- 40
15. Dispositivo de soldadura por láser (3), diseñado para realizar un procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende:
- 45 una primera fuente láser (21) configurada para crear un primer haz láser (11) con una primera calidad de haz SPP1, una segunda fuente láser (23) configurada para crear un segundo haz láser (12) con una segunda calidad de haz SPP2, que es mejor que la primera calidad del haz, en donde se cumple particularmente que: $SPP1 \geq 2 * SPP2$, preferiblemente $SPP1 \geq 4 * SPP2$, y en donde el segundo haz láser (12) está orientado 90° con respecto al primer haz láser (11),
- 50 una primera óptica colimadora (25) para la colimación del primer haz láser (11),
- una segunda óptica colimadora (26) para la colimación del segundo haz láser (12),

5 un elemento de división del haz (20), que está diseñado, en particular, como un espejo semipermeable que está
dispuesto en un ángulo de 45° con respecto a los haces láser (11, 12), para crear un haz total (28) a partir de
porciones del primer haz láser (11) y del segundo haz láser (12), que mediante una óptica de enfoque (29) se
puede enfocar sobre una pieza de soldadura (2) de modo que, en uso, en un plano de superficie de la pieza de
trabajo (OE) de la pieza de trabajo (2), una primera anchura de haz B1 del primer haz láser (11) es mayor que
una segunda anchura de haz B2 del segundo haz láser (12), en donde el segundo haz láser (12) se encuentra
dentro del primer haz láser (11) al menos en el plano de la superficie de la pieza de trabajo (OE), en donde la
intensidad del primer haz láser (11) es suficiente por sí sola para crear un capilar de vapor (6) en la pieza de
trabajo (2) y en donde el capilar de vapor (6) generado en la pieza de trabajo (2) presenta una anchura capilar KB
10 en el plano de la superficie de la pieza de trabajo (OE), siendo KB esencialmente igual de ancha que B1 y,
además, se cumple que $B2 \leq 0,75 * KB$.

Fig. 1



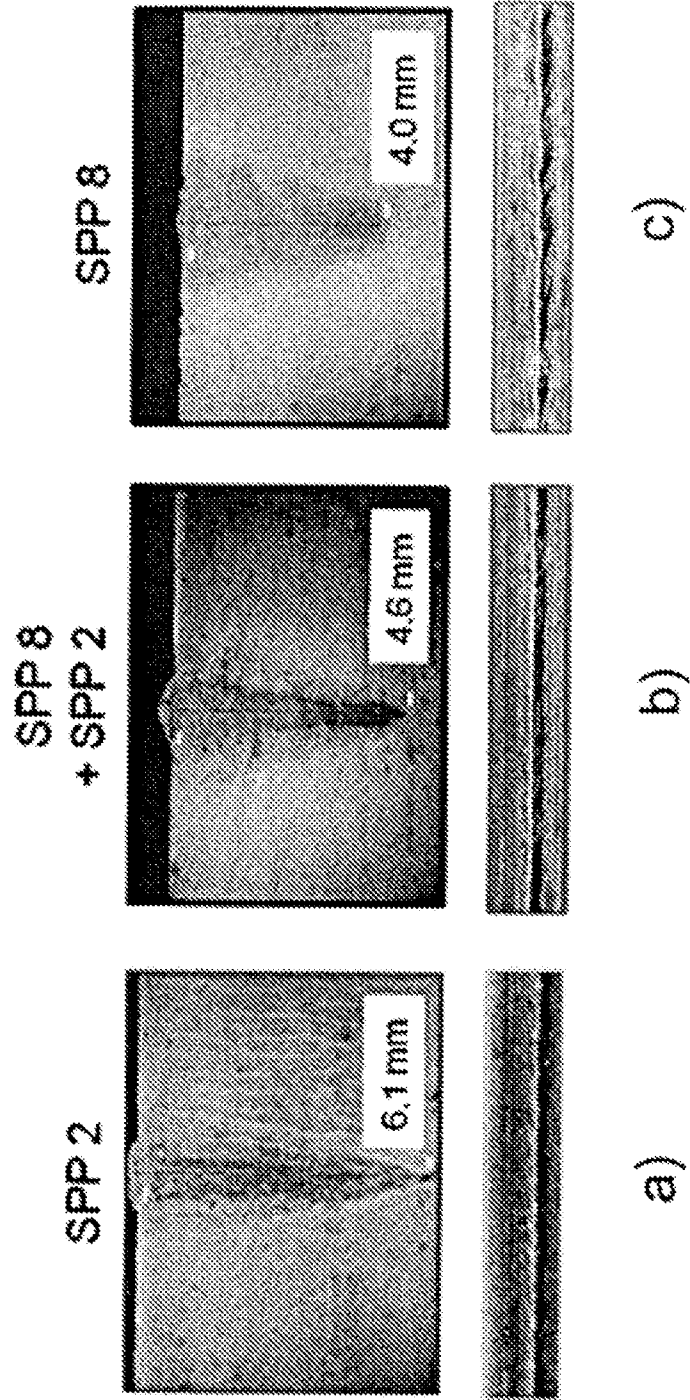


Fig. 2

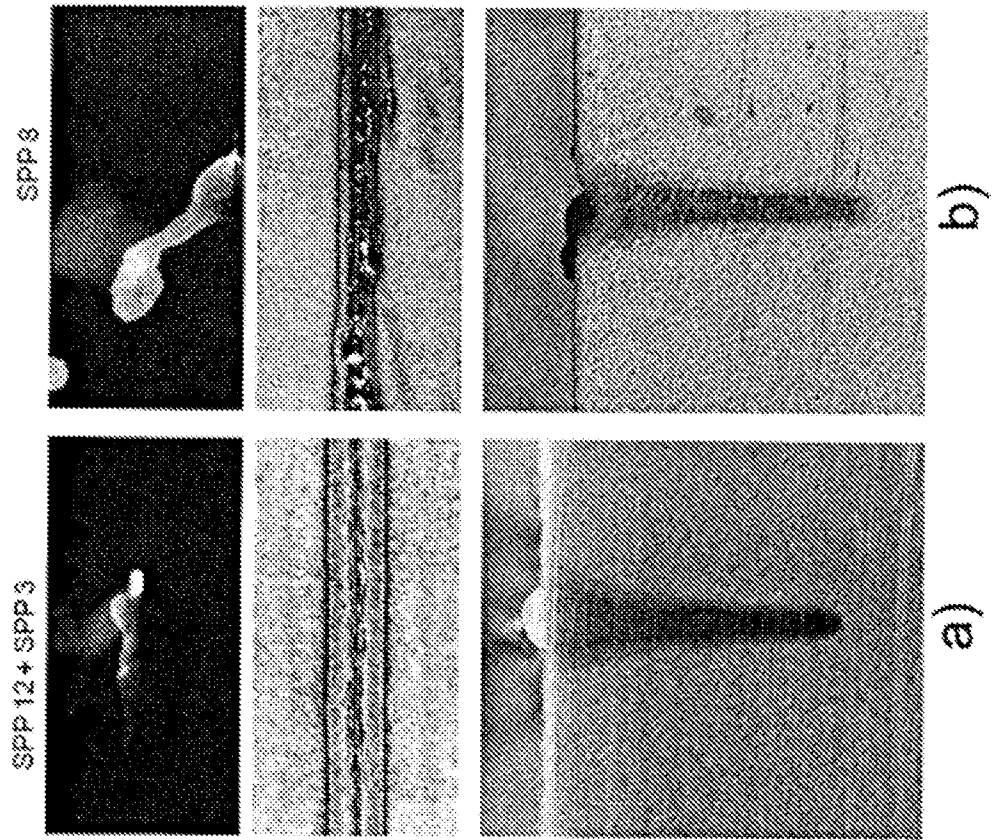
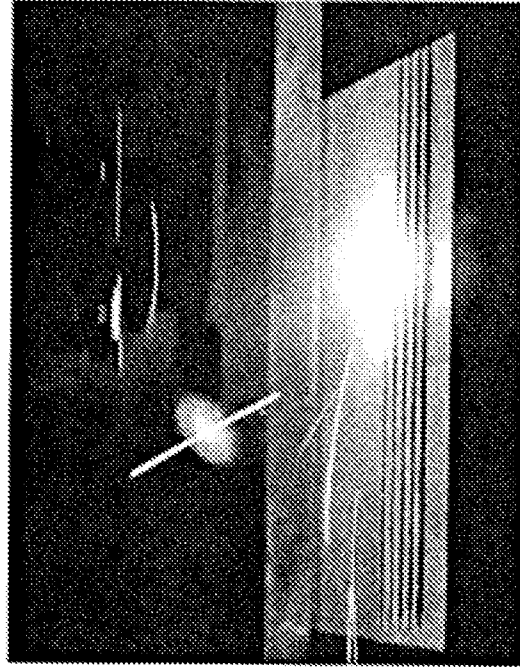
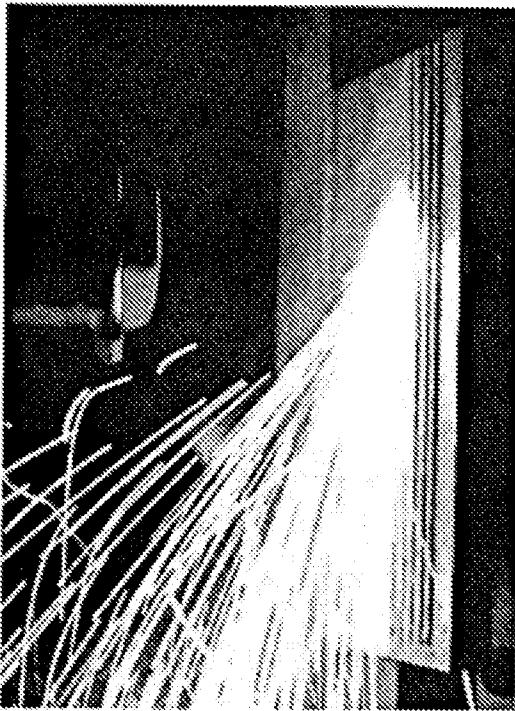


Fig. 3



b)



a)

Fig. 4

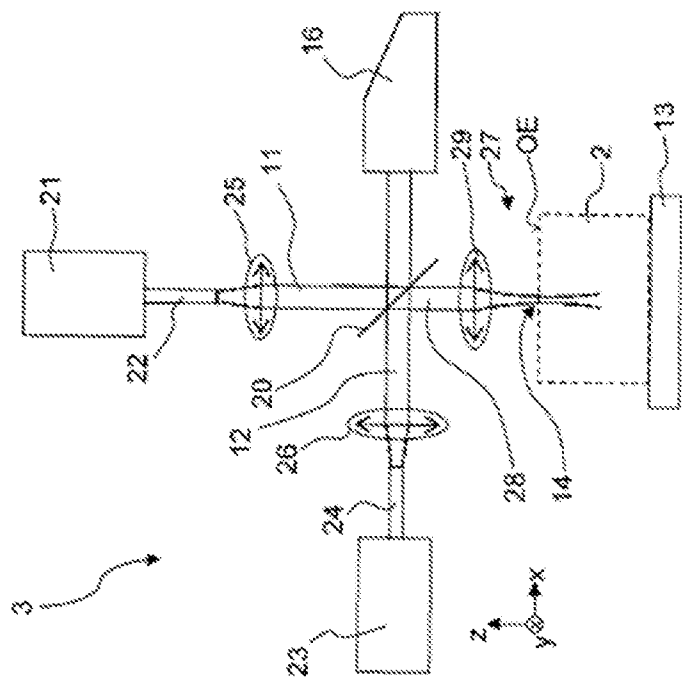


Fig. 5

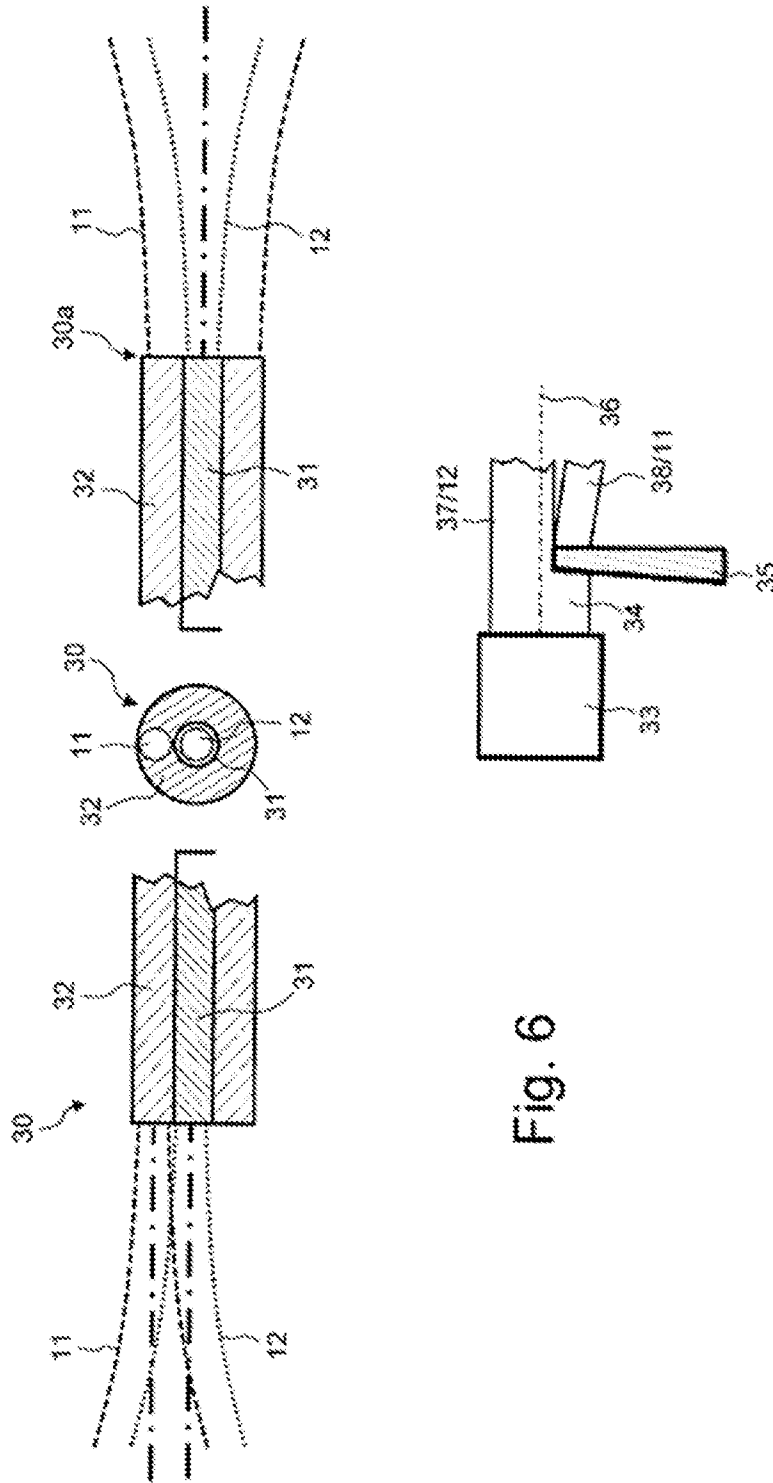


Fig. 6

Fig. 8

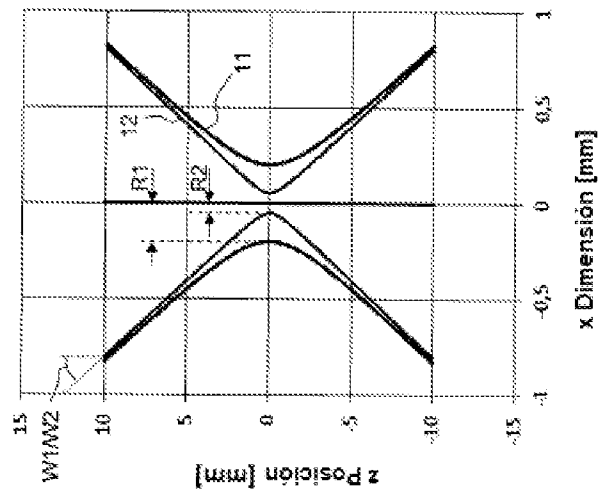


Fig. 9

