

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 623 839**

51 Int. Cl.:

B23K 26/26 (2014.01)

B23K 26/32 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.08.2013 PCT/EP2013/066274**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.05.2014 WO14075824**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.08.2013 E 13744578 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.02.2017 EP 2919942**

54 Título: **Procedimiento para soldar por láser una o varias piezas de trabajo de acero endurecible en una unión a tope utilizando un alambre de aporte**

30 Prioridad:

19.11.2012 DE 102012111118

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

12.07.2017

73 Titular/es:

**WISCO TAILORED BLANKS GMBH (100.0%)
Mannesmannstr. 101
47259 Duisburg, DE**

72 Inventor/es:

**BREUER, ARNDT;
BRANDT, MAX y
SCHAFTINGER, DIETMAR**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 623 839 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 para soldar por láser una o varias piezas de trabajo de acero endurecible en una unión a tope utilizando un alambre de aporte

5 La invención se relaciona con un procedimiento para soldar por láser una o varias piezas de trabajo hechas de acero al manganeso-boro endurecible en prensa, en una unión a tope, de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 (véase, por ejemplo, el documento CN202038371U).

10 Piezas vírgenes a medida hechas de hoja de acero (los denominados *tailored blanks* o espacios a medida) son utilizadas en la industria automotriz para satisfacer altas demandas en la seguridad de impacto con el menor peso posible de la carrocería. Para ello se ensamblan piezas vírgenes o tiras individuales de diferentes calidades de material y/o grosores de hoja mediante soldadura por láser en una unión a tope. De esta manera, varios puntos del componente de carrocería terminado pueden ser adaptados a diferentes cargas. De este modo, en puntos con alta carga se puede utilizar hoja de acero más gruesa o también de mayor resistencia y se pueden utilizar hojas más delgadas o también hojas hechas de grados de embutición profunda relativamente débiles en los puntos restantes. Las partes de refuerzo adicionales en la carrocería se vuelven superfluas debido a tales piezas vírgenes de hoja a medida. Esto ahorra en material y permite la reducción del peso total de la carrocería.

20 En los últimos años han sido desarrollados aceros aleados con boro, particularmente aceros al manganeso-boro, los cuales logran altas resistencias, por ejemplo resistencias a la tracción en el intervalo de 1500 a 2000 MPa en el caso de conformado en caliente con enfriamiento rápido. En el estado inicial, aceros al manganeso-boro normalmente tienen una estructura ferrítica/perlítica y tienen resistencias de aproximadamente 600 MPa. Mediante endurecimiento en prensa, es decir, mediante calentamiento hasta una temperatura austenítica y posterior enfriamiento rápido en el moldeo por compresión, se puede fijar una estructura martensítica, no obstante, de manera que los aceros así tratados pueden lograr resistencias a la tracción en el intervalo de 1500 a 2000 MPa.

30 Los componentes de la carrocería, por ejemplo pilares B, producidos a partir de tales piezas vírgenes de acero a medida tienen un perfil de dureza perfecto hasta un cierto grosor de hoja o un cierto salto de grosor. Sin embargo, se determinó que un grosor de hoja mayor que o igual a aproximadamente 1,8 mm, particularmente mayor que o igual a aproximadamente 2,0 mm, o un salto de grosor mayor que o igual a aproximadamente 0,4 mm, ocurre el problema de que la costura de soldadura por láser no endurece suficientemente durante el conformado en caliente (endurecimiento en prensa). Entonces, una estructura martensítica se origina solo parcialmente en la costura de soldadura, de manera que durante la carga del componente terminado puede ocurrir una falla en la costura de soldadura. Este problema está presumiblemente asociado al hecho de que, en particular en el caso de un salto de grosor, generalmente no se puede asegurar un contacto suficiente a la herramienta de conformado enfriada o herramienta de enfriamiento y, de esta manera, la costura de soldadura no se puede convertir completamente en martensita.

40 Un procedimiento de soldadura híbrida por láser-arco voltaico es descrito en el documento US 2008/0011720 A1, en cuyo procedimiento se unen entre sí piezas vírgenes hechas de acero al manganeso-boro, las cuales tienen una capa superficial que contiene aluminio, en una unión a tope, estando combinado el rayo láser con por lo menos un arco voltaico eléctrico, con el fin de fundir el metal en la unión a tope y soldar las piezas vírgenes entre sí. El arco voltaico eléctrico en este caso se produce por medio de un electrodo de soldadura de tungsteno o se forma en la punta de un alambre de aporte con el uso de una antorcha de soldadura MIG. El alambre de aporte puede contener elementos (por ejemplo Mn, Ni y Cu), los cuales inducen la transformación del acero en una estructura austenítica y favorecen el mantenimiento de la transformación austenítica en el baño fundido.

50 Con este procedimiento de soldadura híbrida por láser-arco conocido debe lograrse que piezas vírgenes conformables en caliente hechas de acero al manganeso-boro, que están dotadas de un recubrimiento con una base de aluminio/silicio, puedan ser soldadas sin remoción previa del material de recubrimiento en la región de la costura de soldadura que va a producirse, en donde, sin embargo, debería estar asegurado que el aluminio ubicado en los bordes colindantes de las piezas vírgenes no conduzca a una reducción de la resistencia a la tracción del componente en la costura de soldadura. Al prever un arco voltaico eléctrico detrás del rayo láser, el baño fundido debería homogeneizarse y, de esta manera, eliminarse concentraciones locales de aluminio mayores que el 1,2 % en peso, las cuales generan una estructura ferrítica.

Este procedimiento de soldadura híbrida conocido es relativamente caro con respecto al consumo de energía debido a la generación del arco voltaico eléctrico.

60 La presente invención está basada en el objetivo de especificar un procedimiento de soldadura por láser mediante el cual piezas de trabajo hechas de acero endurecible por presión, particularmente acero al manganeso-boro, las cuales tienen un grosor de por lo menos 1,8 mm y/o en las cuales se origina un salto en grosor de por lo menos 0,4 mm en la unión a tope, pueden unirse a piezas de trabajo a medida, particularmente piezas vírgenes a medida, en la unión a tope, cuya costura de soldadura puede ser endurecida de manera fiable durante el conformado en caliente (endurecimiento en prensa) en una estructura martensítica. Además, el procedimiento debería destacar

debido a una alta productividad y un consumo de energía relativamente bajo.

Para lograr este objetivo se sugiere un procedimiento con las características de la reivindicación 1. Configuraciones preferidas y ventajosas del procedimiento de acuerdo con la invención son especificadas en las reivindicaciones dependientes.

El procedimiento de acuerdo con la invención es utilizado para soldar por láser una o varias de las piezas de trabajo de acero al manganeso-boro endurecible en prensa, particularmente acero al manganeso-boro, en una unión a tope, en el cual la pieza de trabajo o las piezas de trabajo tienen un grosor de por lo menos 1,8 mm, particularmente por lo menos 2,0 mm, y/o en la unión a tope se origina un salto en grosor de por lo menos 0,4 mm unión a tope. La soldadura por láser en este caso tiene lugar con el suministro de alambre de aporte al baño fundido generado utilizando un rayo láser. El procedimiento de acuerdo con la invención está además caracterizado por que el alambre de aporte contiene por lo menos un elemento de aleación del grupo que comprende manganeso, cromo, molibdeno, silicio y/o níquel, cuyo elemento favorece la formación de austenita en el baño fundido generado con el rayo láser, en donde este por lo menos un elemento de aleación está presente en el alambre de aporte con una proporción de masa que es mayor en por lo menos un 0,1 % en peso que en el acero endurecible en prensa de la pieza de trabajo o de las piezas de trabajo.

Las piezas de trabajo producidas de acuerdo con la invención o las piezas vírgenes a medida ofrecen una mayor ventana de proceso con respecto al conformado en caliente (endurecimiento en prensa), en cuya ventana se logra un endurecimiento suficiente del componente, particularmente también en la costura de soldadura de las mismas.

El procedimiento de acuerdo con la invención puede ser utilizado no solo cuando se unen varias piezas vírgenes de acero de diferentes calidades de material y/o grosores de hoja en la unión a tope, sino también en el caso de soldadura por láser de una hoja de acero en forma de placa o de tira individual, en donde, en el último caso mencionado, los bordes de la pieza de trabajo que van a soldarse entre sí se mueven uno hacia otro mediante el conformado, por ejemplo mediante doblado o forja por laminación, de manera que estos estén dispuestos finalmente uno mirando hacia otro en la unión a tope.

En una configuración preferida del procedimiento de acuerdo con la invención, la pieza de trabajo o las piezas de trabajo son seleccionadas de tal manera que el acero de las mismas tiene la siguiente composición: del 0,10 al 0,50 % en peso de C, como máximo el 0,40 % en peso de Si, del 0,50 al 2,00 % en peso de Mn, como máximo el 0,025 % en peso de P, como máximo el 0,010 % en peso de S, como máximo el 0,60 % en peso de Cr, como máximo el 0,50 % en peso de Mo, como máximo el 0,050 % en peso de Ti, del 0,0008 al 0,0070 % en peso de B, y como mínimo el 0,010 % en peso de Al, el resto Fe e impurezas inevitables. Los componentes producidos a partir de un acero de este tipo tienen una resistencia a la tracción relativamente alta después del endurecimiento en prensa.

De manera particularmente preferente, en el procedimiento de acuerdo con la invención se utilizan piezas de trabajo en forma de pieza virgen o de tira hechas de acero endurecible en prensa, las cuales tienen una resistencia a la tracción en el intervalo de 1500 a 2000 MPa después del endurecimiento en prensa. De manera correspondiente a la invención, el alambre de aporte utilizado ahí tiene la siguiente composición:

del 0,05 al 0,15 % en peso de C, del 0,5 al 2,0 % en peso de Si, del 1,0 al 2,5 % en peso de Mn, del 0,5 al 2,0 % en peso de Cr + Mo, y del 1,0 al 4,0 % en peso de Ni, el resto Fe e impurezas inevitables. Mediante experimentos se ha demostrado que con un alambre de aporte de este tipo, con la aplicación del procedimiento de acuerdo con la invención, se puede asegurar una transformación completa de la costura de soldadura en una estructura martensítica en una manera particularmente fiable durante el posterior endurecimiento en prensa.

De manera correspondiente a la invención, el alambre de aporte usado ahí tiene una proporción de masa de carbono que es menor en por lo menos un 0,1 % en peso que el acero endurecible en prensa de la pieza de trabajo o de las piezas de trabajo. Se puede evitar una fragilización de la costura de soldadura mediante un contenido de carbono relativamente bajo del alambre de aporte. En particular se puede lograr una buena elasticidad residual en la costura de soldadura debido a un contenido de carbono relativamente bajo del alambre de aporte.

Una configuración ventajosa adicional del procedimiento de acuerdo con la invención prevé que el alambre de aporte pueda ser suministrado al baño fundido en un estado calentado. Como resultado, se puede lograr una mayor velocidad de proceso o una mayor productividad. Esto es porque en esta configuración no tiene que gastarse mucha energía con el rayo láser con el fin de fundir el alambre de aporte. Preferentemente, el alambre de aporte es calentado hasta una temperatura de por lo menos 50 °C, por lo menos en una sección de longitud antes de suministrarlo al baño fundido.

Con el fin de impedir una fragilización de la costura de soldadura, una configuración preferida adicional del procedimiento de acuerdo con la invención prevé que el baño fundido se someta a gas protector (gas inerte) durante la soldadura por láser. En este caso, como gas protector se utiliza de manera especialmente preferente argón puro, helio, nitrógeno o una mezcla de los mismos o una mezcla hecha de argón, helio, nitrógeno, y/o dióxido de carbono y/u oxígeno.

Piezas vírgenes de acero o u hojas de acero no recubiertas se sueldan entre sí de manera correspondiente a la invención.

5 Como alternativa se usan piezas vírgenes de acero o tiras de acero que están dotadas de un recubrimiento con una base de aluminio o aluminio/silicio pudiendo ser removido de manera correspondiente a la invención el recubrimiento con una base de aluminio o aluminio/silicio en la región de borde a lo largo de los bordes colindantes que van a soldarse entre sí antes de la soldadura por láser. Esto puede tener lugar por medio de un rayo de energía, preferentemente un rayo láser. De igual manera es concebible un decapado mecánico o por alta frecuencia (HF, por sus siglas en inglés). De esta manera, se puede impedir de manera fiable una deficiencia de la costura de soldadura por material de recubrimiento introducido de otra manera ahí de manera indeseada, la cual puede conducir o conduciría a fallas en el perfil de dureza durante el conformado en caliente (endurecimiento en prensa).

10 La invención se explica en mayor detalle a continuación mediante un dibujo que representa ejemplos de realización. Muestran esquemáticamente:

15 La Fig. 1 una vista en perspectiva de partes de un dispositivo para llevar a cabo el procedimiento de soldadura por láser de acuerdo con la invención, en donde dos piezas vírgenes de acero endurecibles en prensa, de grosor esencialmente igual, se sueldan entre sí en una unión a tope y

20 La Fig. 2 una vista en perspectiva de partes de un dispositivo para llevar a cabo el procedimiento de soldadura por láser de acuerdo con la invención, en donde aquí dos piezas vírgenes de acero endurecibles en prensa, de grosor diferente, se sueldan entre sí en una unión a tope.

25 Un dispositivo se ilustra esquemáticamente en la Fig. 1, con el uso del cual puede ser llevado a cabo un procedimiento de soldadura por láser de acuerdo con la invención. El dispositivo comprende un soporte (no mostrado), sobre el cual dos tiras o piezas vírgenes 1, 2 hechas de acero de diferente calidad de material se apoyan directamente a lo largo de la unión 3. Por ejemplo, una pieza de trabajo 1 o 2 tiene un grado de embutición profunda relativamente débil, mientras que la otra pieza de trabajo 2 o 1 se compone de una hoja de acero de mayor resistencia. Por lo menos una de las piezas de trabajo 1, 2 está producida a partir de acero endurecible en prensa, por ejemplo a partir de acero al manganeso-boro.

Las piezas de trabajo 1, 2 son esencialmente de igual grosor. El grosor de las mismas es de por lo menos 1,8 mm, por ejemplo por lo menos 2,0 mm.

35 Por encima de las piezas de trabajo 1, 2 está trazada una sección de una cabeza de soldadura por láser 4, la cual está dotada de un sistema óptico (no mostrado) para suministrar un rayo láser y también una lente de enfoque 5 para el rayo láser 6. Además, un tubo 7 está dispuesto en la cabeza de soldadura por láser 4 para suministrar gas protector. La abertura del tubo de gas protector 7 está dirigida esencialmente hacia la región de foco del rayo láser 6 o el baño fundido 8 generado con el rayo láser 6. Como gas protector se utiliza preferentemente argón puro o por ejemplo una mezcla de argón, helio y/o dióxido de carbono. Además, un aparato de suministro de alambre 9 está asignado a la cabeza de soldadura por láser 4, por medio del que se suministra un material adicional especial en la forma de un alambre 10 al baño fundido 8, el cual también se funde por el rayo láser 6. El alambre de aporte 10 se suministra al baño fundido 8 en un estado calentado. Para este fin, el aparato de suministro de alambre 9 está equipado con por lo menos un elemento de calentamiento (no mostrado), por ejemplo una espiral de calefacción que rodea el alambre 10. Con el elemento de calentamiento, el alambre de aporte 10 se calienta preferentemente hasta una temperatura de por lo menos 50 °C, de manera particularmente preferente hasta por lo menos 90 °C

50 El ejemplo de realización representado en la Fig. 2 difiere del ejemplo de realización de acuerdo con la Fig. 1 en que las piezas de trabajo 1, 2' son de diferente grosor, de manera que en la unión a tope 3 está presente un salto de grosor d de por lo menos 0,4 mm. Por ejemplo, una pieza de trabajo 2' tiene un grosor de hoja en el intervalo de 0,5 mm a 1,2 mm, mientras que la otra pieza de trabajo 1 tiene un grosor de hoja en el intervalo de 1,6 mm a 2,5 mm. Además, las piezas de trabajo 1, 2' que van a unirse entre sí en la unión a tope 3 también pueden diferir entre sí en términos de la calidad de material de las mismas. Por ejemplo, la pieza virgen 1 más gruesa está producida a partir de hoja de acero de mayor resistencia, mientras que la pieza virgen de acero 2' más delgada tiene una calidad de embutición profunda relativamente débil.

El acero endurecible en prensa, del cual se compone por lo menos una de las piezas de trabajo 1, 2 o 2' que van a unirse entre sí en la unión a tope 3, puede tener, por ejemplo, la siguiente composición química:

60 como máximo el 0,45 % en peso de C,
 como máximo el 0,40 % en peso de Si,
 como máximo el 2,0 % en peso de Mn,
 como máximo el 0,025 % en peso de P,
 como máximo el 0,010 % en peso de S,
 65 como máximo el 0,8 % en peso de Cr + Mo,
 como máximo el 0,05 % en peso de Ti,

como máximo el 0,0050 % en peso de B, y
como mínimo el 0,010 % en peso de Al,

resto Fe e impurezas inevitables.

5 Las piezas de trabajo o piezas vírgenes de acero 1, 2 o 2' pueden no estar recubiertas o estar dotadas de un recubrimiento, particularmente una capa de Al-Si. En el estado de entrega, es decir, antes de un tratamiento térmico y enfriamiento rápido, el límite de elasticidad R_e de las piezas vírgenes de acero endurecible en prensa 1, 2 y/o 2' es preferentemente por lo menos 300 MPa; la resistencia a la tracción R_m de las mismas es por lo menos 480 MPa, y
10 el alargamiento de rotura A_{80} de las mismas es de por lo menos el 10 %. Después del conformado en caliente (endurecimiento en prensa), es decir, austenización a aproximadamente 900 a 920 °C y posterior enfriamiento rápido, estas piezas vírgenes de acero tienen un límite de elasticidad R_e de aproximadamente 1.100 MPa, una resistencia a la tracción R_m de aproximadamente 1500 a 2000 MPa y un alargamiento de rotura A_{80} de aproximadamente el 5,0 %.

15 En la medida que las piezas de trabajo o piezas vírgenes de acero 1, 2 y/o 2' están dotadas de un recubrimiento de aluminio, particularmente de un recubrimiento de Al-Si, el recubrimiento puede removerse o decaparse parcialmente en la región de borde a lo largo de los bordes colindantes que van a soldarse entre sí antes de la soldadura por láser. Dado el caso se elimina también material de recubrimiento de aluminio que se adhiere a los bordes
20 colindantes o de intersección 3. La remoción (eliminación) del material de recubrimiento de aluminio puede tener lugar preferentemente por medio de por lo menos un rayo láser.

El alambre de aporte 10 utilizado tiene de manera correspondiente a la invención la siguiente composición química:

25 el 0,1 % en peso de C,
el 0,8 % en peso de Si,
el 1,8 % en peso de Mn,
el 0,35 % en peso de Cr,
30 el 0,6 % en peso de Mo y
el 2,25 % en peso de Ni,

resto Fe e impurezas inevitables.

35 El contenido de manganeso del alambre de aporte 10 en este caso, de manera correspondiente a la invención, es de manera constante mayor que el contenido de manganeso de las piezas de trabajo endurecibles en prensa 1, 2 o 2'. Preferentemente, el contenido de manganeso del alambre de aporte 10 es mayor en aproximadamente un 0,2 % en peso que el contenido de manganeso de las piezas de trabajo endurecibles en prensa 1, 2 o 2'. Además, es favorable que también el contenido de cromo y molibdeno del alambre de aporte 10 sea mayor que en las piezas de trabajo endurecibles en prensa 1, 2 o 2'. Preferentemente, el contenido combinado de cromo-molibdeno del alambre
40 de aporte 10 es mayor en aproximadamente un 0,2 % en peso que el contenido combinado de cromo-molibdeno de las piezas de trabajo endurecibles en prensa 1, 2 o 2'. El contenido de níquel del alambre de aporte 10 yace de manera correspondiente a la invención en el intervalo del 1 al 4 % en peso. Adicionalmente, el alambre de aporte 10 tiene de manera correspondiente a la invención un contenido de carbono menor que el acero endurecible en prensa de las piezas de trabajo 1, 2 o 2'.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para soldar por láser una o varias piezas de trabajo hechas de acero al manganeso-boro endurecible en prensa, en una unión a tope, en el cual la pieza de trabajo o las piezas de trabajo (1, 2; 1, 2') tienen un grosor de por lo menos 1,8 mm y/o un salto en grosor (d) de por lo menos 0,4 mm surge en la unión a tope (3), **caracterizado por que** la soldadura por láser tiene lugar suministrando alambre de aporte (10) en el baño fundido (8) generado exclusivamente con un rayo láser (6), en donde el alambre de aporte (10) contiene por lo menos un elemento de aleación del grupo que comprende manganeso, cromo, molibdeno, silicio y/o níquel, que favorece la formación de austenita en el baño fundido (8) generado utilizando el rayo láser (6), en donde este por lo menos un elemento de aleación está presente en el alambre de aporte (10) con una proporción de masa que es mayor en un 0,1 % en peso que en el acero endurecible en prensa de la pieza de trabajo o de las piezas de trabajo (1, 2; 1, 2'), teniendo el alambre de aporte la siguiente composición:
- del 0,05 - 0,15 % en peso de C,
del 0,5 - 2,0 % en peso de Si,
del 1,0 - 2,5 % en peso de Mn,
del 0,5 - 2,0 % en peso de Cr + Mo y
del 1,0 - 4,0 % en peso de Ni,
- resto Fe e impurezas inevitables, presentando el alambre de aporte (10) una proporción de masa de carbono menor en por lo menos un 0,1 % en peso que el acero endurecible en prensa de la pieza de trabajo o de las piezas de trabajo (1, 2; 1, 2'), y estando la pieza de trabajo utilizada o las piezas de trabajo utilizadas (1, 2; 1, 2') no recubierta/s o parcialmente decapada/s, mediante remoción de su recubrimiento en la región de borde a lo largo de los bordes colindantes que van a soldarse entre sí, antes de la soldadura por láser.
2. El procedimiento de conformidad con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el acero de la pieza de trabajo o de las piezas de trabajo (1, 2; 1, 2') tiene la siguiente composición:
- del 0,10 - 0,50 % en peso de C,
como máximo el 0,40 % en peso de Si,
del 0,50 - 2,00 % en peso de Mn,
como máximo el 0,025 % en peso de P,
como máximo el 0,010 % en peso de S,
como máximo el 0,60 % en peso de Cr,
como máximo el 0,50 % en peso de Mo,
como máximo el 0,050 % en peso de Ti,
como máximo del 0,0008 - 0,0070 % en peso de B y
como mínimo el 0,010 % en peso de Al,
- resto Fe e impurezas inevitables.
3. El procedimiento de conformidad con las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** el alambre de aporte (10) es suministrado al baño fundido (8) en un estado calentado.
4. El procedimiento de conformidad con la reivindicación 3, **caracterizado por que** el alambre de aporte (10) es calentado a una temperatura de por lo menos 50 °C, por lo menos en una sección de longitud, antes de suministrarlo al baño fundido (8).
5. El procedimiento de conformidad con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** al baño fundido (8) se le aplica gas protector durante la soldadura por láser.
6. El procedimiento de conformidad con la reivindicación 5, **caracterizado por que** se utiliza argón puro o una mezcla de argón y dióxido de carbono como gas protector.
7. El procedimiento de conformidad con una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** la pieza de trabajo parcialmente decapada o las piezas de trabajo parcialmente decapadas (1, 2; 1, 2') tienen una capa superficial a base de aluminio o aluminio/silicio.

FIG. 1

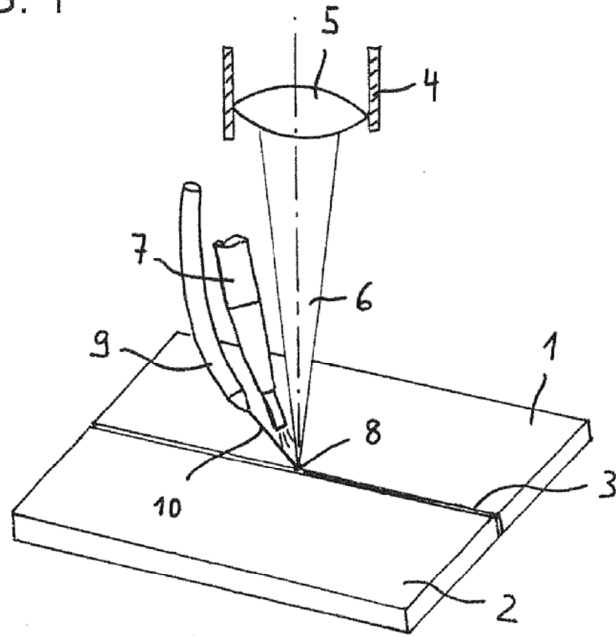


FIG. 2

