

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 605 497**

51 Int. Cl.:

**B23K 26/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.09.2009 E 12184825 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.11.2016 EP 2537623**

54 Título: **Procedimiento de soldadura láser de tipo CO<sub>2</sub> con tobera de chorro dinámico**

30 Prioridad:

**24.09.2008 FR 0856411**

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

**14.03.2017**

73 Titular/es:

**L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR  
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES  
GEORGES CLAUDE (100.0%)  
75, Quai d'Orsay  
75007 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**CHOUF, M. KARIM y  
LEFEBVRE, M. PHILIPPE**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 605 497 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 de soldadura láser de tipo CO<sub>2</sub> con tobera de chorro dinámico

El presente invento se refiere a un procedimiento de soldadura láser según el preámbulo de la reivindicación 1, que emplea un generador láser de tipo CO<sub>2</sub> para generar el haz láser de soldadura y un gas de protección desprovisto de helio

La soldadura por haz láser es un procedimiento de ensamblaje con muchas prestaciones pues permite obtener, a velocidades elevadas, profundidades de penetración muy importantes si se compara con otros procedimientos más tradicionales, tales como la soldadura por plasma, la soldadura MIG (Metal Gas Inerte) o la soldadura TIG (Tungsteno Gas Inerte).

Esto se explica por las fuertes densidades de potencias empleadas durante la focalización, por uno o varios espejos o lentes, del haz láser al nivel del plano de unión de las piezas a soldar, por ejemplo densidades de potencia que pueden sobrepasar 10<sup>6</sup> W/cm<sup>2</sup>.

Estas fuertes densidades de potencia provocan una fuerte vaporización de metal en la superficie de las piezas a soldar que, expandiéndose hacia el exterior, induce un ahuecamiento progresivo del baño de soldadura y conduce a la formación de un capilar de vapor estrecho y profundo, llamado "ojo de cerradura" ("keyhole") en el espesor de las piezas, es decir al nivel del plano de unión. Este capilar permite un depósito directo de la energía del haz láser en profundidad en el espesor de las piezas y esto, en oposición con los procedimientos de soldadura por arco más convencionales en que el depósito de energía está focalizado en la superficie.

El capilar de vapor está constituido por una mezcla de vapores metálicos y de plasma de vapores metálicos cuya particularidad es absorber el haz láser y por tanto capturar la energía en el seno del propio capilar.

La propagación del plasma metálico fuera del capilar da lugar a una pluma de plasma metálico caliente y radiante.

Un problema conocido en soldadura láser que emplea un dispositivo láser de tipo CO<sub>2</sub> que genera un haz láser de longitud de onda igual a 10,6 μm, es la formación de un plasma parásito en el gas de cobertura o gas de protección.

En efecto, el plasma de vapores metálicos, al sembrar de electrones libres el gas de cobertura o gas de protección, puede provocar una ionización en este último. La ionización del gas de protección puede ser mantenida por el haz láser incidente y conducir a la formación de un plasma de gran dimensión en el gas de cobertura justo por encima de la pluma de plasma metálico.

Ahora bien, este plasma parásito en el gas de protección absorbe fuertemente el haz láser incidente, lo que es perjudicial para la operación de soldadura. Este fenómeno de generación de plasma parásito en el gas de protección es conocido con el nombre de «Bremsstrahlung inverse». El haz láser incidente puede entonces ser fuertemente perturbado por el plasma de gas de cobertura.

La interacción del plasma de gas de cobertura con el haz láser puede adoptar diversas formas pero, muy a menudo, se traduce por un efecto de absorción y/o de difracción del haz láser incidente que puede conducir a una reducción importante de la densidad de potencia láser eficaz en la superficie del objetivo, entrañando una disminución de la profundidad de penetración, incluso una pérdida de acoplamiento entre el haz y la materia y por lo tanto una interrupción momentánea del proceso de soldadura.

El umbral de densidad de potencia a partir del cual el plasma aparece depende del potencial de ionización del gas de cobertura utilizado y es inversamente proporcional al cuadrado de la longitud de onda del haz láser. Así, es muy difícil soldar con argón puro cuando el generador láser es del tipo CO<sub>2</sub>, mientras que esta operación puede ser realizada con muchos menos problemas con un generador láser de tipo YAG.

En general, en soldadura láser con generador láser de tipo CO<sub>2</sub>, se utiliza como gas de cobertura helio que es un gas con un alto potencial de ionización y que permite prevenirse de la aparición del plasma de gas de cobertura y ello, hasta potencias láser de al menos 45 Kw

El helio tiene sin embargo el inconveniente de ser un gas costoso y numerosos usuarios de láser preferirían utilizar otros gases o mezclas gaseosas menos costosas que el helio pero que permitieran sin embargo limitar la aparición del plasma de gas de cobertura y por tanto obtener resultados de soldadura similares a los obtenidos con el helio pero a un coste menor.

Por otra parte, la sociedad L'AIR LIQUIDE™ comercializa bajo la denominación LASAL MIX™, mezclas gaseosas que contienen nitrógeno y helio o argón y helio, que permiten obtener sensiblemente los mismos resultados que con el helio puro, para potencias láser de CO<sub>2</sub> inferiores a 12 Kw, siendo elegida o ajustada la composición de la mezcla considerada en función de los parámetros de funcionamiento, del haz láser y del material a soldar.

Sin embargo, estas mezclas gaseosas contienen también una proporción importante de helio, lo que no es ideal, en

particular en el plano económico.

De ello, un problema que se plantea es poder realizar una soldadura por haz láser entregado por un generador láser de tipo CO<sub>2</sub> para generar el haz láser de soldadura y un gas de protección desprovisto de helio, que permite obtener una penetración de soldadura como mínimo equivalente con relación a un procedimiento de soldadura láser empleado en las mismas condiciones de funcionamiento pero utilizando helio o un gas con fuerte proporción de helio como gas de protección, es decir más del 50% en volumen de helio, y/o que no engendre aparición de plasma o que la aparición sea pequeña en el gas de cobertura y esto, preferentemente cualquiera que sea la potencia (hasta 20 Kw aproximadamente) y las condiciones de focalización del haz láser incidente, y/o que no conduzca a una degradación de la calidad de soldadura, en términos de aspecto y de calidad metalúrgica (porosidades...) en el cordón de soldadura. El documento WO 2006/050043 A describe un procedimiento de soldadura láser según el preámbulo de la reivindicación 1.

Una solución según el invento es entonces un procedimiento de soldadura láser según la reivindicación 1, de una o varias piezas metálicas posicionadas una contra otra según un plano de unión, en el que:

a) se alimenta una tobera con gas o una mezcla gaseosa y se distribuye, por medio de dicha tobera, un chorro de gas de protección formado por dicho gas o mezcla gaseosa en dirección del plano de unión,

b) se opera, por medio de un haz láser, generado por un generador láser de tipo CO<sub>2</sub>, una fusión y una vaporización del metal constitutivo de las piezas metálicas que conducen a la formación, de una pluma de plasma metálico por encima del plano de unión,

caracterizado por que

en la etapa a) se utiliza un gas o mezcla gaseosa constituida por uno o más de los constituyentes del grupo formado por Ar, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, y

d) se orienta o se dirige el chorro de gas de protección entregado por la tobera en dirección de la pluma de plasma metálico que se forma por encima del plano de unión de manera que venga a aflorar la parte superior o cumbre de la pluma de plasma metálico e impacte con la o las piezas en un lugar en el que el metal constitutivo de las piezas no ha sido fundido por el haz, es decir que el chorro de gas va a ir a impactar sobre la superficie de las piezas que están en frente de la cabeza láser.

Por generador láser de tipo CO<sub>2</sub>, se entiende un dispositivo o una fuente de energía que permite generar un haz láser que tiene una longitud de onda de 10,6 μm aproximadamente, mientras que por "una o varias piezas metálicas", se entienden dos piezas metálicas distintas una de la otra, o una sola pieza consigo misma, por ejemplo los dos bordes longitudinales de una lámina metálica puesta en forma de O, y luego soldada de manera que se obtenga un tubo soldado o aun dos elementos de una misma pieza que son soldados entre ellos.

Según el caso, el procedimiento del invento puede comprender una o varias de las características siguientes:

- en la etapa a), el gas o mezcla gaseosa se distribuye con un caudal de al menos 20 l/min
- en la etapa c), la fusión y la vaporización del metal constitutivo de las piezas metálicas es operada progresivamente por desplazamiento relativo del haz con relación a las piezas de soldar, todo a lo largo del plano de unión.
- se orienta el chorro de gas de manera que la distancia (D) entre el eje de dicho chorro de gas y el eje del haz láser, medida entre los puntos de impacto de dicho chorro de gas y de dicho haz láser sobre la superficie superior de las piezas a soldar, sea superior o igual a 1,5 veces el diámetro (D') interno de la tobera que entrega el chorro de gas.
- se posiciona la extremidad del diámetro interior (D') de la tobera con relación a la superficie superior e las piezas a una altura que esté comprendida entre 1 y 50 mm.
- se posiciona la tobera con relación a la superficie superior de las piezas de tal forma que el ángulo (Θ) del eje del chorro de gas o de la tobera esté comprendido entre 5° y 70° con relación a la superficie superior de las piezas, preferiblemente del orden de 30° a 50°.
- se posiciona la tobera con relación al plano de unión de tal forma que el ángulo de inclinación (α) del eje del cordón de soldadura y la proyección del eje de la tobera en el plano de la chapa a soldar, esté comprendido entre +170° y -170°.
- se distribuye el chorro de gas a una velocidad comprendida entre 40 y 2000 m/s y/o a una presión comprendida entre 1 y 10 bares.
- la tobera posee uno o varios orificios de distribución de gas.

- la tobera tiene un diámetro interno (D') comprendido entre 0,5 mm y 20 mm, de preferencia entre 2 y 4 mm.
- la o las piezas son de aluminio o aleación de aluminio, de titanio o aleación de titanio, de magnesio o aleación de magnesio, de Inconel, de acero o de acero inoxidable, en particular de acero revestido de zinc, de aleación de aluminio, de polímero o varios elementos orgánicos, en particular de pintura.
- la o las piezas a soldar tienen un espesor comprendido entre 0,1 y 20 mm, según la aplicación considerada, preferiblemente entre 1 y 10 mm.
- para las chapas gruesas, es decir de al menos 8 mm, pueden considerarse diferentes preparaciones de bordes, como la realización de biselés particulares, de talones... En este último caso, el espesor del talón debe estar comprendido en la zona de espesores entre 0,1 mm y 20 mm, de preferencia entre 1 y 10 mm.
- la potencia láser es de al menos 2 Kw, de preferencia entre 4 Kw y 12 Kw

La descripción siguiente de un modo de realización del invento está hecha con referencia a las figuras ilustrativas adjuntas y a los ejemplos dados a continuación.

15 Las figs. 1 a 3 ilustran el principio de un procedimiento de soldadura láser según un modo de realización del invento, en el que se sueldan juntas dos piezas 7 metálicas distintas una de otra. Las piezas 7 a soldar son posicionadas en primer lugar una contra la otra de manera que se obtenga un plano de unión 8 al nivel del cual vendrá a golpear el haz láser 9 para fundir el metal que se volverá a solidificar a continuación dando un cordón de soldadura.

20 De manera clásica, el haz láser 9 es obtenido por medio de un generador láser de tipo CO<sub>2</sub>, luego transportado, a través de un camino óptico, hasta una cabeza de focalización que comprende uno o varios dispositivos ópticos de focalización, tales como lentes o espejos ópticos, destinados a focalizar el haz en el espesor de las piezas 7 a soldar, al nivel de su plano de unión 8.

25 Un gas o una mezcla gaseosa de protección es distribuido, a través de una tobera 4 de distribución de gas en dirección de la zona de soldadura, es decir la zona del plano de unión donde el haz láser interactúa con el metal en fusión 3, de manera que opere en ella una protección gaseosa y evite la contaminación del baño de soldadura y por tanto del cordón de soldadura que resulta de ello, por impurezas atmosféricas.

30 De hecho, el haz láser 9 viene a golpear a las piezas 7 a soldar y engendra entonces una fusión y una vaporización de una parte del metal constitutivo de las piezas metálicas 7 lo que conduce a la formación, en el espesor de las piezas 7 y al nivel de dicho plano de unión 8, de un capilar de vapor metálico 2 o agujero de cerradura con formación concomitante de un plasma metálico.

Este plasma metálico, en su propagación fuera del capilar de vapor 2 metálico, forma una pluma 1 de plasma metálico por encima del plano de unión 8 y por lo tanto del baño de metal en fusión 3.

35 Según un modo de realización del invento, la tobera 4, es decir su eje 5, está orientado de manera que el chorro de gas que entrega esté orientado en la dirección de la pluma 1 de plasma metálico formándose por encima del plano de unión 8 pero viene a impactar en la superficie superior 7a de una o varias chapas 7 en un lugar 6 donde el metal no es fundido.

40 De hecho, una misión de esta tobera 4 es generar un flujo o chorro de gas rápido, orientado de manera que no influya directamente en el proceso de soldadura, tal como el capilar 2, el baño de metal 3 en fusión o la pluma 1 de plasma metálico. Este chorro de gas es enviado a la proximidad de la pluma 1 de plasma metálico de manera que venga a aflorar la parte superior de la pluma 1 de plasma metálico, es decir la parte superior de la pluma 1 de plasma, como se ha ilustrado en la fig. 1.

45 En otros términos, el chorro de gas empleado según el procedimiento del invento no tiene por vocación actuar sobre el plasma metálico y/o las partículas proyectadas sino sobre el efecto parásito del plasma en el gas de protección, lo que corresponde al fenómeno de restallado. El chorro de gas sirve por lo tanto para limitar este efecto parásito. La tobera sopla el plasma de gas de protección y no el plasma de soldadura.

Más precisamente, el chorro de gas rápido está destinado a limitar la siembra de electrones libres del gas de cobertura, que podría provocar la aparición de un plasma parásito en éste último, dicho plasma parásito sería perjudicial para la operación de soldadura pues absorbería una parte de la energía del haz láser incidente 9, lo que perjudicaría al proceso de soldadura láser.

50 Las partículas de gas de protección ionizadas por la pluma 1 de plasma metálico son arrastradas por el chorro de gas entregado por la tobera 4, fuera de la zona del haz láser. A partir de ahí, el fenómeno de «Bremsstrahlung Inverse» no puede tener lugar y no se forma plasma parásito nefasto, por encima de la pluma 1 de plasma metálico.

Preferiblemente, la distancia D entre el eje 5 del chorro de gas o de la tobera 4, y el eje del haz láser debe al menos ser igual a 1,5 veces el diámetro D' interno de la tobera 4, como se ha mostrado en la fig. 1.

5 La orientación del chorro gaseoso, por lo tanto de la tobera 4 según su eje 5, no está necesariamente en el eje del cordón 8 de soldadura, es decir paralela al sentido de soldadura en V. En efecto, el chorro gaseoso puede llegar de manera lateral, como se ha lustrado en la fig. 2 o con una orientación cualquiera según un ángulo  $\alpha$  con relación al eje el cordón del soldadura. La única condición a observar es vigilar que el chorro gaseoso no interactúe con el baño de metal 3 en fusión.

10 El ángulo ( $\alpha$ ) entre el eje del cordón de soldadura y la proyección del eje de la tobera en el plano de la chapa a soldar (fig. 2), debe estar comprendido entre  $+170^\circ$  y  $-170^\circ$  preferiblemente de  $+150^\circ$  a  $-150^\circ$ . Es preferible que este valor de ángulo sea fijado en el curso del procedimiento de soldadura láser. Idealmente, el valor de este ángulo debe ser próximo a 0, lo que significa que el punto de impacto del chorro de gas coincide con la trayectoria presumida del haz láser.

El ángulo de inclinación  $\theta$  del conducto 4 con relación a la superficie de la o de las chapas 7 está, en cuanto a él, comprendido entre  $5^\circ$  y  $70^\circ$ , de preferencia de  $40^\circ$  a  $50^\circ$ .

15 La altura de la parte baja de la tobera con relación a la superficie de la o de las chapas está comprendida entre aproximadamente 1 y 50 mm, preferiblemente de al menos 4 mm y/o como máximo de 10 mm, de preferencia como máximo de 8 mm.

20 La forma de la sección de salida de la tobera 4 no tiene importancia, por ejemplo puede ser redonda, ovoide, cuadrada, rectangular, trapezoidal... Sin embargo, se utilizará preferentemente un conducto cilíndrico con sección de salida circular.

La tobera puede comprender varios orificios de salida de gas. El diámetro interno de la tobera utilizada está ventajosamente comprendido entre aproximadamente 0,5 mm y 20 mm, de preferencia de al menos 1 a 2 mm y como máximo de 10 mm, preferentemente como máximo de 4 mm aproximadamente, medido al nivel de la extremidad de salida de la tobera 4 por la que sale el chorro gaseoso.

25 La velocidad del gas a la salida de la tobera debe estar comprendida entre 40 y 2000 m/s, preferiblemente de al menos 100 a 150 m/s, aproximadamente y/o como máximo de 500 m/s, preferiblemente como máximo de 250 m/s. La presión del gas debe estar comprendida entre aproximadamente 1 bar y 10 bares, preferiblemente entre 2 bares y 5 bares, preferentemente como máximo de 4 bares aproximadamente.

30 Gracias al procedimiento del invento, en adelante es posible utilizar gases de protección distintos del helio, en particular cuando el dispositivo láser que sirve para generar el haz es de tipo  $\text{CO}_2$  y ello, cualesquiera que sean la potencia y las condiciones de focalización del haz láser incidente empleado, en particular para las potencias láser inferiores a 45 Kw, de preferencia inferiores a 20 Kw

Así, pueden utilizarse gases o mezclas gaseosas formadas de uno o varios de los constituyentes siguientes: Ar,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  o que los contienen, el procedimiento del invento funciona perfectamente sin helio.

35 Hay que resaltar sin embargo que los gases comburentes de tipo  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ..., no pueden ser utilizados en mezcla con los gases precedentes más allá de sus umbrales de detonación y de inflamabilidad por razones evidentes de seguridad.

### **Ejemplos**

40 Se han realizado ensayos que pretenden verificar la eficacia del procedimiento de soldadura láser del invento con un generador láser de tipo  $\text{CO}_2$ , que entrega una potencia de hasta 12 Kw y focalizado por un espejo de cobre parabólico de distancia focal de 250 mm, una tobera cilíndrica de diámetro interno de 2 mm.

La altura de la tobera/piezas era del orden de 6 mm y su inclinación (ángulo  $\theta$ ) de  $45^\circ$  aproximadamente. El eje de la tobera que distribuye el gas ha sido posicionado por delante del punto de impacto del haz láser sobre el plano de unión ( $\alpha = 0$ ) a una distancia de 3 mm, como se ha ilustrado en la fig. 1.

45 Las piezas han sido soldadas por láser cada uno de los gases siguientes:

- Ar entregado a 15 l/min, 30 l/min y 45 l/min

-  $\text{N}_2$  entregado a 15 l/min, 30 l/min y 45 l/min

-  $\text{CO}_2$  entregado a 15 l/min, 30 l/min y 45 l/min

50 - y, a título comparativo, con helio entregado a 30 l/min según un procedimiento clásico de la técnica anterior, a saber utilizando una tobera cilíndrica clásica de diámetro interior de 10 mm, orientada a  $45^\circ$  con relación a la superficie de la chapa y por tanto el eje coincide con el punto de impacto del haz láser focalizado.

Los ensayos de soldadura han sido realizados sobre varios tipos de piezas posicionadas, luego soldadas borde a borde, según los Ejemplos siguientes.

En todos los casos, el chorro de gas de protección es entregado por la tobera en dirección de la pluma de plasma metálico que se forma por encima del plano de unión entre las piezas a soldar juntas.

5 Ejemplo 1: chapas cincadas de espesores diferentes

Las piezas de acero revestidas de una capa superficial de zinc han sido soldadas en una configuración de soldadura corrientemente utilizada en el sector de la fabricación de carrocerías de vehículos automóviles, llamada configuración de tipo "flancos empalmados".

10 Más precisamente, las aristas de las chapas han sido posicionadas borde a borde con una holgura limitada entre las piezas.

Los espesores de chapas pueden ser idénticos o diferentes.

Los ensayos han sido realizados en primer lugar sobre 2 chapas de espesores diferentes (1,9 mm y 0,7 mm) posicionadas borde a borde, después soldadas empleando:

- una potencia láser de 6 Kw,
- 15 - una velocidad de soldadura de 5 m/min,
- una tobera tubular que tiene una inclinación de 45° con relación a la superficie de las chapas, y
- el impacto del eje del chorro de gas está aproximadamente a 4 mm por delante del punto de impacto del haz. ( $\alpha = 0$ ),

Ejemplo 2: chapas cincadas del mismo espesor

20 Las condiciones de los ensayos realizados en el marco del Ejemplo 2 son análogas a los del Ejemplo 1, excepto en que:

- las 2 chapas tienen un mismo espesor de 1,2 mm cada una y
- la velocidad de soldadura es de 6,5 m/min.

Ejemplo 3: tubo de acero

25 En este Ejemplo 3, la soldadura es realizada sobre una chapa de acero inoxidable de 2 mm de espesor, puesta en forma de pre-tubo por conexión de sus bordes longitudinales entre sí de manera que se obtenga una sección en O, y la soldadura subsiguiente de estos bordes uno con el otro para obtener un tubo soldado. Los bordes de la chapa son por lo tanto yuxtapuestos en configuración borde con borde con una holgura y una desalineación en altura limitada, antes de ser soldados juntos.

30 Las condiciones de estos ensayos son:

- una potencia láser de 5 Kw,
  - una velocidad de soldadura de 4 m/min,
  - una tobera tubular que tiene una inclinación de 45° con relación a la superficie de las chapas,
  - el impacto del eje del chorro de gas está aproximadamente a 6 mm por delante del punto de impacto del haz (que  $\alpha = 0$ ).
- 35

Los resultados han sido confirmados posicionando el impacto del eje del chorro de gas sobre la parte sólida lateral, tal que  $\alpha = 90$ , a una distancia de 6 mm. Los resultados obtenidos son los mismos que para una orientación  $\alpha = 0$ .

Ejemplo 4: piezas de acero dulce de 5 mm recubiertas de pintura

40 En este Ejemplo 4, se realiza una soldadura de piezas de acero dulce, del mismo espesor (5 mm), recubiertas de pintura del tipo de las que son típicamente utilizadas en la fabricación de barcos en los astilleros navales.

Las condiciones de estos ensayos son:

- una potencia láser de 10 Kw,
- una velocidad de soldadura de 2,5 m/min,

- un tobera tubular que tiene una inclinación de 40° con respecto a la superficie de las chapas,
- el impacto del eje del chorro de gas está aproximadamente a 6 mm por delante del punto de impacto del haz láser ( $\alpha = 0$ ).

5 Los resultados han sido confirmados posicionando el impacto del eje del chorro de gas sobre la parte sólida lateral, tal que  $\alpha = 90^\circ$ , a una distancia de 6 mm. Los resultados son los mismos en las dos orientaciones:  $\alpha = 0$  y  $\alpha = 90^\circ$ .

Ejemplo 5: piezas de acero dulce de 8 mm recubiertas de pintura

El ejemplo 5 es análogo al Ejemplo 4, excepto porque las piezas tienen un espesor de 8 mm, lo que implica una ligera variación de algunas de las condiciones de los ensayos, a saber:

- una velocidad de soldadura de 1,2 m/min, y
- 10 - un impacto del eje del chorro de gas aproximadamente a 2,5 mm por delante del punto de impacto del haz láser.

La Tabla siguiente resume los resultados obtenidos durante los ensayos por comparación con una soldadura láser realizada con un procedimiento estándar bajo helio que sirve de referencia (leyenda: 0 = resultado equivalente ; 1 = mejor resultado, 2 = resultado menos bueno)

15

Tabla

		Gas a 30 l/min	Ej. 1	Ej. 2	Ej. 3	Ej. 4	Ej. 5
30 l/min	Calidad de los cordones por el lado del derecho y del revés	Ar	0	0	0	0	0
		CO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0
		N <sub>2</sub>	0	0	2	2	2
	Depósitos de humo a una y otra parte del cordón	Ar	1	1	1	1	1
		CO <sub>2</sub>	1	1	1	1	1
		N <sub>2</sub>	1	1	2	2	2
	Porosidades o sopladuras en el cordón	Ar	0	0	0	0	0
		CO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0
		N <sub>2</sub>	2	2	2	2	2
	Penetración de soldadura	Ar	0	0	0	0	0
		CO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0
		N <sub>2</sub>	0	0	0	0	0
		Gas a 45 l/min	Ej. 1	Ej. 2	Ej. 3	Ej. 4	Ej. 5
45 l/min	Calidad de los cordones por el lado del derecho y del revés	Ar	1	1	1	1	1
		CO <sub>2</sub>	1	1	0	0	0
		N <sub>2</sub>	0	0	2	2	2
	Depósitos de humo a una y otra parte del cordón	Ar	1	1	1	1	1
		CO <sub>2</sub>	1	1	1	1	1
		N <sub>2</sub>	1	1	2	2	2
	Porosidades o	Ar	0	0	1	1	1

		Gas a 30 l/min	Ej. 1	Ej. 2	Ej. 3	Ej. 4	Ej. 5
	sopladuras en el cordón	CO <sub>2</sub>	0	0	1	1	1
		N <sub>2</sub>	2	2	2	2	2
	Penetración de soldadura	Ar	0	0	0	0	0
		CO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0
		N <sub>2</sub>	0	0	0	0	0
		Gas a 15 l/min	Ej. 1	Ej. 2	Ej. 3	Ej. 4	Ej. 5
15 l/min		Ar	Sin acoplamiento eficaz del láser con la materia para el procedimiento de soldadura por láser				
		CO <sub>2</sub>					
		N <sub>2</sub>					

5 La superficie de los cordones de soldadura obtenidos, durante los ensayos realizados en el marco de los Ejemplos anteriores con los gases ensayados (Ar, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) a 30 l/min y 45 l/min, ha sido examinada visualmente y se ha constatado que la calidad de los cordones obtenidos con el procedimiento del invento, es decir que el aspecto de los cordones del lado del derecho y del revés, es equivalente (0) al obtenido con el helio empleado según un procedimiento de soldadura láser estándar (referencia).

Sin embargo, de manera ventajosa, los cordones obtenidos con el procedimiento del invento presentan menos depósitos de humos (1) a una y otra parte del cordón de soldadura que con el procedimiento estándar bajo helio.

10 Por otra parte, las macrografías de las secciones de los cordones han mostrado que las secciones de las soldaduras son también idénticas (0) a la referencia obtenida con helio. En efecto, las radiografías de los cordones confirman el hecho de que los cordones no presentan más porosidades o sopladuras en los cordones que las obtenidas mediante el procedimiento de referencia con helio.

Debe subrayarse sin embargo que la utilización de nitrógeno puede influir un poco sobre la metalurgia de los cordones obtenidos en ciertas condiciones de soldadura.

15 En todos los casos, la penetración de soldadura es igualmente equivalente (0) a la obtenida con helio con el procedimiento estándar.

20 Estos ensayos muestran que se puede emplear eficazmente un procedimiento de soldadura láser con generador de tipo CO<sub>2</sub> de fuerte potencia con otros gases distintos del helio y ello, sin perjudicar la calidad y el aspecto de los cordones de soldadura realizados, ni a la penetración de soldadura como se ha ensayado con éxito sobre diferentes materiales y configuraciones de soldadura en los Ejemplos anteriores.

25 Existe una región de funcionamiento en caudal característica de invento. Así, para los caudales débiles, es decir menos de 20 l/min aproximadamente el efecto de limitación de la ionización de la pluma de plasma metálico en el entorno gaseoso no es ya eficaz. Se forma un plasma parásito por encima de la pluma de plasma metálico. Así, los ensayos realizados a un caudal de 15 l/min confirman este punto. En estas condiciones, el acoplamiento entre el haz láser y el material no es ya eficaz y no hay soldadura de las chapas. Este efecto es independiente de la naturaleza de los gases. El caudal es por tanto un parámetro que es necesario tener en cuenta para mejorar aún los resultados obtenidos durante la puesta en práctica de un procedimiento según el invento.

30 De hecho, la utilización de la tobera de soldadura orientada según el invento, es decir de manera que genere un chorro de gas rápido en la proximidad de la pluma de plasma metálico de manera que venga a aflorar la parte superior de la pluma de plasma metálico, permite limitar la siembra de electrones libres del gas de cobertura, por lo tanto impedir la aparición de un plasma parásito que sería perjudicial para la operación de soldadura porque absorbería una parte de la energía del haz láser incidente, lo que perjudicaría al proceso de soldadura láser.

35 Esto permite por ello poder poner en práctica el procedimiento de soldadura a potencia elevada, es decir típicamente entre 4 y 20 Kw, utilizando gases o mezclas gaseosas sin helio, en particular gases tales como Ar, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y sus mezclas.



**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de soldadura láser de una o varias piezas metálicas posicionadas una contra otra según un plano de unión, en el que:
- 5 a) se alimenta una tobera con un gas o una mezcla gaseosa y se distribuye, por medio de dicha tobera, un chorro de gas de protección formado de dicho gas o mezcla gaseosa en la dirección del plano de unión,
- b) se opera, por medio de un haz láser, generado por un generador láser de tipo CO<sub>2</sub>, una fusión y una vaporización del metal constitutivo de las piezas metálicas que conduce a la formación, de una pluma de plasma metálico por encima del plano de unión,
- caracterizado por que:
- 10 en la etapa a) se utiliza un gas o mezcla gaseosa constituida por uno o más de los constituyentes del grupo formado por Ar, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, y
- d) se orienta o se dirige el chorro de gas de protección entregado por la tobera en la dirección de la pluma de plasma metálico que se forma por encima del plano de unión de manera que venga a aflorar la parte superior de la pluma de plasma metálico e impacte en la o las piezas en un lugar donde el metal constitutivo de las piezas no ha sido fundido por el haz, es decir que el chorro de gas es enviado a la proximidad de la pluma de plasma metálico de manera que venga a aflorar la parte superior de la pluma de plasma metálico.
- 15
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que en la etapa a), el gas o mezcla gaseosa se distribuye con un caudal de al menos 20 l/min.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que en la etapa c), la fusión y la vaporización del metal constitutivo de las piezas metálicas son operadas progresivamente por desplazamiento relativo del haz con respecto a las piezas a soldar, a lo largo de todo el plano de unión.
- 20
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que se orienta el chorro de gas de manera que la distancia (D) entre el eje de dicho chorro de gas y el eje del haz láser, medida entre los puntos de impacto de dicho chorro de gas y de dicho haz láser sobre la superficie superior de las piezas a soldar, sea superior o igual a 1,5 veces el diámetro interno (D') de la tobera que entrega el chorro de gas.
- 25
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que se posiciona la extremidad del diámetro interior (D') de la tobera con relación a la superficie superior de las piezas a una altura que esté comprendida entre 1 mm y 50 mm.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que se posiciona la tobera con relación al plano de unión de tal forma que el ángulo de inclinación ( $\alpha$ ) del eje del cordón de soldadura y la proyección del eje de la tobera en el plano de la chapa a soldar, esté comprendido entre +170° y -170°.
- 30
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que se posiciona la tobera con relación a la superficie superior de las piezas de tal forma que el ángulo ( $\theta$ ) de eje del chorro de gas o de la tobera está comprendido entre 5° y 70° con relación a la superficie superior de las piezas.
- 35
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que se distribuye el chorro de gas a una velocidad comprendida entre 40 y 2000 m/s.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la o las piezas son de acero revestido de zinc, de aleación de aluminio, de polímero o de uno o varios elementos orgánicos, en particular de pintura.
- 40

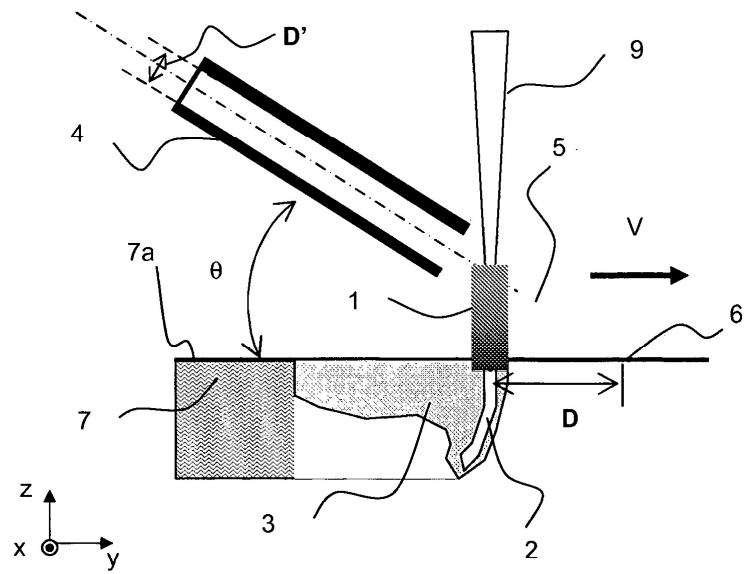


Figura 1

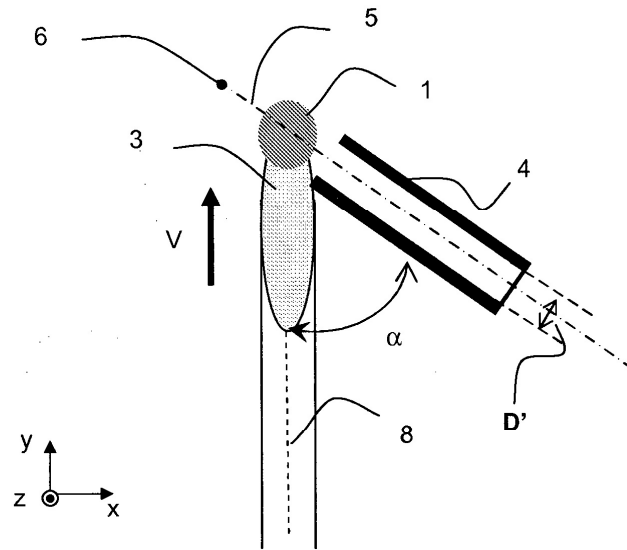


Figura 2

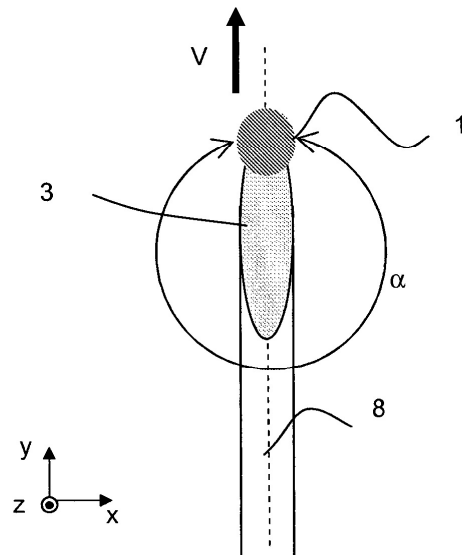


Figura 3