

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 457 231**

51 Int. Cl.:

B23K 26/06 (2006.01)

B23K 26/38 (2006.01)

B23K 26/04 (2006.01)

G02B 1/02 (2006.01)

G02B 13/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.08.2010 E 10762988 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2014 EP 2473315**

54 Título: **Cabezal de focalización láser con lentes de ZnS que tienen un espesor en los bordes de al menos 5 mm; instalación y proceso de corte láser que emplean un cabezal de focalización de ese tipo**

30 Prioridad:

01.09.2009 FR 0955949

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

25.04.2014

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**BRIAND, FRANCIS;
BALLERINI, GAIA;
DEBECKER, ISABELLE;
JOUANNEAU, THOMAS;
MAAZAOUI, HAKIM y
VERNA, ERIC**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 457 231 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

Cabezal de focalización láser con lentes de ZnS que tienen un espesor en los bordes de al menos 5 mm; instalación y proceso de corte láser que emplean un cabezal de focalización de ese tipo

5 La invención se refiere a un cabezal de focalización de un haz láser de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 (véase, por ejemplo, el documento de patente francesa FR 2 897 007), con una configuración óptica particular implementada en un cabezal de corte por láser sólido, en particular de fibra, que permite controlar los problemas de desviación focal y de deterioro láser de las ópticas del cabezal de focalización, y sobre una instalación láser equipada con un cabezal de focalización de este tipo, en particular una instalación láser de fibras de yterbio.

10 Las nuevas generaciones de láser sólido, tales como los láseres de fibra o de disco, se han beneficiado de importantes avances y combinan potencias de varios kW con excelentes factores de calidad o BPP (por Beam Product Parameter), contrariamente a los láseres de medio sólido macizo, tales como los láseres Nd:YAG.

15 Más allá de las características que hacen de estos láseres fuentes adaptadas al corte de materiales metálicos, en este caso una longitud de onda más corta ($1'07 \mu\text{m}$) que la de los láseres de CO_2 ($10'6 \mu\text{m}$), mejor absorbida por el metal y transportable por fibra óptica, un volumen reducido y una mayor fiabilidad, su gran brillantez mejora significativamente las prestaciones de corte de materiales metálicos o no.

Típicamente, una instalación de corte láser de fibra comprende una fuente láser y dispositivos ópticos para transportar el haz láser hasta un cabezal de corte, denominado cabezal de focalización, que asegura la focalización del haz en el espesor de una pieza a cortar.

20 La fuente láser es un láser de fibras dopadas con yterbio (Yb), equipada con al menos una fibra óptica de transporte del haz, y el cabezal de corte incluye dispositivos ópticos de colimación, de redirección y de focalización que permiten llevar un haz láser focalizado hasta una pieza a cortar.

25 Los dispositivos ópticos, tales como la lente de focalización, de un cabezal de corte láser deben soportar fuertes densidades de potencia superficial, típicamente entre 1 y 10 kW/cm^2 según las características de la fuente láser y el diámetro de haz sobre las ópticas, y esto, de manera sostenida al tiempo que funcionan en ambientes contaminados que las fragilizan.

En régimen continuo de emisión láser, el deterioro de las ópticas se manifiesta generalmente en forma de una degradación progresiva de las prestaciones ópticas, en un primer momento sin daños visibles, que da como resultado esencialmente fenómenos térmicos.

30 En efecto, la absorción residual de los revestimientos de las superficies y de los sustratos de las ópticas conduce a un calentamiento no uniforme de los componentes de la óptica y la acumulación de tensiones térmicas, en particular para los componentes de transmisión, tales como las lentes. Estos mecanismos afectan a los parámetros y la calidad del haz láser y pueden, después de un período largo de irradiación, conducir a un deterioro de las ópticas: aparición de quemaduras, desprendimiento de los revestimientos...

35 El calentamiento de las ópticas de un cabezal de corte engendra también una desviación DF del punto de focalización del haz ligado al efecto de lente térmica, denominada desviación focal, la cual está ilustrada en la figura 1. En el curso de la exposición de una lente 1, ésta se calienta en su centro por el haz láser 2 colimado de gran potencia entregado según el eje óptico (AO), mientras que sus bordes están más fríos. Se establece un gradiente térmico radialmente en la lente 1. La amplitud de este gradiente es tanto más grande cuanto aumenta la densidad de potencia recibida por la lente 1. De este gradiente térmico resulta un gradiente en el índice de refracción del material. Este fenómeno, combinado con el efecto de dilatación térmica del material de la lente 1, induce una modificación del radio de curvatura efectivo de la lente 1 y una modificación de sus características de focalización. El plano focal inicial (PFI) del haz, situado a una distancia F de la lente, se traslada a lo largo de la dirección de propagación del haz y se aproxima a la lente 1 de focalización, a una distancia F', hasta alcanzar un plano de focalización desplazado (PFD). Se asiste entonces a una transformación del haz focalizado inicial (FFI) en un haz focalizado desplazado (FFD) que presenta peores características de corte.

40

45

La contaminación de la superficie de las ópticas por el ambiente, es decir los polvos, las proyecciones metálicas o la humedad y su envejecimiento son factores que aumentan la absorción de las lentes y agravan progresivamente el fenómeno de calentamiento, que conduce al aumento de la amplitud de la desviación focal a lo largo del tiempo.

50 Ahora bien, las prestaciones de un proceso de corte láser industrial son evaluadas en términos de velocidad de corte, de calidad de corte, a saber, que las caras de corte sean rectas, lisas y sin rebabas, y de tolerancia sobre los parámetros de funcionamiento del proceso.

55 El proceso de corte por láser de fibra es sensible a las variaciones de la posición del punto focal del haz con respecto a la superficie de la pieza tratada, sobre todo cuando se trata de recortar chapas de espesores grandes, a saber, de 4 mm y más. Las tolerancias admitidas sobre el posicionamiento del punto focal son típicamente de $\pm 0'5 \text{ mm}$. Si la posición focal del haz láser varía más allá de las tolerancias admitidas, no es posible mantener las

prestaciones de corte óptimas.

Una solución es entonces buscar nuevos parámetros de corte para compensar la desviación focal, o reemplazar las ópticas del cabezal de focalización. Esto da como resultado una degradación de la productividad del proceso industrial automatizado.

- 5 Un problema crítico se presenta cuando la posición del punto focal varía en el curso de la operación de corte ya que aquella conduce a prestaciones de corte desiguales de una pieza a otra, incluso de una cara a otra de una misma pieza.

- 10 Los fenómenos descritos arriba muestran que la durabilidad de las prestaciones de un proceso de corte están fuertemente ligadas a la resistencia de los dispositivos ópticos que aseguran la propagación del haz láser. Siendo el posicionamiento del punto focal un parámetro importante del proceso de corte por láser de fibra, es esencial que la posición focal del haz sea lo más estable posible y que las desviaciones permanezcan en las tolerancias admitidas. Las distorsiones térmicas sufridas por los elementos ópticos a gran potencia deben ser mínimas para evitar su deterioro. Todas estas exigencias deben ser tenidas en cuenta durante la elección de las ópticas que constituyen el sistema de focalización de un cabezal de corte láser.

- 15 Ahora bien, el problema que se plantea es que existen dificultades para transportar los haces láser de gran brillantez para las aplicaciones de corte. Las potencias láser disponibles no cesan de crecer pero es la resistencia de los dispositivos ópticos la que limita las potencias que pueden ser aplicadas para el corte. En efecto, los haces de gran brillantez están caracterizados por sus grandes potencias combinadas con excelentes factores de calidad, es decir de BPP pequeños, por ejemplo del orden de 0'33 mm.mrad. Esto da como resultado densidades de potencia muy grandes sobre las superficies de las ópticas de los cabezales de focalización y un aumento de los gradientes y distorsiones térmicos. Se ha constatado también que la resistencia de los materiales ópticos al deterioro láser es menos buena con los láseres de gran brillantez que con los láseres clásicos de tipo CO₂, ya que la longitud de onda más corta de estos láseres es más sensible a los defectos presentes en los sustratos y los revestimientos de la superficie de los elementos ópticos, lo que puede causar localmente un calentamiento excesivo.

- 25 El problema a resolver es, por consiguiente, poder controlar las problemáticas de la desviación focal y del deterioro de las ópticas mencionados anteriormente que se presentan durante la utilización de láseres sólidos, en particular de láser de fibra, principalmente de fibra de yterbio, con el fin de garantizar de manera duradera las prestaciones de corte, en particular durante la aplicación de un proceso de corte láser de gran potencia, es decir de una potencia de al menos 1 kW.

- 30 La solución de la invención es entonces un cabezal de focalización de haz láser que comprende una lente de colimación y una lente de focalización, en el que la lente de colimación y la lente de focalización son de ZnS y tienen un espesor en los bordes de al menos 5 mm, y un espejo de reenvío que funciona en un ángulo de incidencia (α) comprendido entre 40 y 50° está dispuesto en el trayecto del haz láser en el seno de dicho cabezal de focalización, entre las lentes de colimado y de focalización.

- 35 Según el caso, el cabezal de focalización de la invención puede comprender una o varias de las características siguientes:

- la lente de colimación y la lente de focalización tienen un espesor en los bordes comprendido entre 5 y 10 mm, preferentemente, entre 6 y 8 mm.

- la lente de colimación y la lente de focalización tienen un diámetro comprendido entre 35 y 55 mm.

- 40 - el espejo de reenvío es de sílice.

La invención se orienta igualmente a una instalación de corte por haz láser que comprende:

- un dispositivo de láser sólido que emite un haz láser de longitud de onda comprendido entre 1'06 y 1'10 μm y de potencia comprendida entre 0'1 y 25 kW,

- un cabezal de focalización según una de las reivindicaciones precedentes, y

- 45 - una fibra de transporte que une el dispositivo de láser sólido con el cabezal de focalización de manera que encamina el haz emitido por el dispositivo de láser sólido hacia el cabezal de focalización.

Según el caso, la instalación de la invención puede comprender una o varias de las características siguientes:

- el dispositivo de láser sólido es de tipo de fibras, preferentemente de fibras de yterbio.

- 50 - el dispositivo de láser sólido emite un haz láser de potencia comprendida entre 1 y 5 kW en modo continuo, cuasi-continuo o pulsante, preferentemente en modo continuo.

- la fibra de transporte tiene un diámetro inferior o igual a 150 μm , preferentemente un diámetro de 50 μm o de 100

µm.

- el dispositivo de láser sólido emite un haz láser que tiene un BPP comprendido entre 1'6 y 4 mm.mrad.

5 - la fibra de transporte tiene un diámetro de 50 µm y un BPP comprendido entre 1'6 y 2'2 mm.mrad. y la lente de colimación una distancia focal comprendida entre 70 y 120 mm, y la lente de focalización tiene una distancia focal comprendida entre 200 y 450 mm. Con más precisión, en el caso de una fibra de transporte de diámetro 50 µm cuyo BPP está comprendido entre 1'6 y 2'2 mm.mrad, la distancia focal de la lente de colimación está comprendida entre 70 y 120 mm, preferentemente comprendida entre 70 y 90 mm. Para cortar un material cuyo espesor es estrictamente inferior a 10 mm, la distancia focal de focalización está comprendida ventajosamente entre 200 y 300 mm, preferentemente entre 220 y 280 mm, mientras que para cortar un material cuyo espesor es superior o igual a 10 mm, la distancia focal de focalización está comprendida ventajosamente entre 350 y 450 mm, preferentemente entre 380 y 420 mm.

10 - la fibra de transporte (FDC) tiene un diámetro de 100 µm y un BPP comprendido entre 2'6 y 4 mm.mrad, y la lente de colimación tiene una distancia focal comprendida entre 130 y 180 mm, y la lente de focalización tiene una distancia focal comprendida entre 200 y 450 mm. Con más precisión, en el caso de una fibra de transporte de diámetro 100 µm cuyo BPP está comprendido entre 2'6 y 4 mm.mrad, la distancia focal de la lente de colimación está comprendida entre 130 y 180 mm, preferentemente comprendida entre 140 y 180 mm. Para cortar un material cuyo espesor es estrictamente inferior a 10 mm, la distancia focal de focalización está comprendida ventajosamente entre 200 y 300 mm, preferentemente entre 220 y 280 mm, mientras que para cortar un material cuyo espesor es superior o igual a 10 mm, la distancia focal de focalización está comprendida ventajosamente entre 350 y 450 mm, preferentemente entre 380 y 420 mm.

- la lente de focalización tiene una distancia focal comprendida entre 200 y 450 mm.

Por otro lado, la invención se refiere igualmente a un proceso de corte por haz láser de una pieza metálica, en el cual se aplica un cabezal de focalización o una instalación de corte por haz láser según la invención.

25 La presente invención, que se orienta principalmente a una configuración óptica particular utilizada en un cabezal de corte por láser de fibra, va a ser mejor comprendida gracias a la descripción detallada que sigue y a las figuras anexas, en las cuales:

- la Figura 2 representa el esquema de principio de un sistema óptico típico de un cabezal de corte y los parámetros característicos del haz láser que se propaga a través del sistema óptico,

30 - la Figura 3 esquematiza el principio de funcionamiento de una instalación y de un proceso de corte láser según la invención,

- la Figura 4 representa una comparación entre la evolución de la posición del punto focal del haz en el curso de la irradiación láser de un sistema de lentes de ZnS o de sílice fundido (S), y

- la Figura 5 es una comparación de la evolución de la posición del punto focal del haz focalizado por un sistema de lentes de ZnS que comprende una lente de colimación de espesor en los bordes de 2 o 7 mm.

35 Una instalación de corte según la invención comprende una fuente láser SL sólido equipada con al menos una fibra óptica de transporte FC del haz y un cabezal de focalización 3, denominado cabezal de corte, para transportar y focalizar el haz láser FL sobre o en la pieza 10 a cortar. Las características y áreas de funcionamiento de la instalación se explican a continuación y están ilustradas en la Figura 3.

40 El cabezal de corte 3 comprende, de manera clásica, dispositivos ópticos de colimación, de redirección y de focalización del haz láser.

45 Por otro lado, el haz láser es emitido por un dispositivo o generador láser sólido, preferiblemente, un láser de fibras dopadas con yterbio (Yb). En el dispositivo láser, el efecto láser, es decir el fenómeno de amplificación de la luz que sirve para generar la radiación láser, es obtenido por medio de un medio amplificador preferiblemente bombeado por diodos láser y constituido por una o, típicamente, varias fibras ópticas dopadas, preferiblemente de sílice dopado con yterbio.

La longitud de onda de la radiación emitida a la salida del dispositivo láser está comprendida entre 1'06 y 1'10 µm y la potencia láser se sitúa entre 0'1 y 25 kW, típicamente entre 1 y 5 kW.

50 El láser puede funcionar en modo continuo, cuasi-continuo o pulsante, pero la presente invención es particularmente ventajosa cuando se trabaja en modo continuo ya que se trata del modo de irradiación más severo para las ópticas de un cabezal de corte.

El haz generado por la fuente láser de estado sólido es emitido y transportado hasta el cabezal de focalización por medio de al menos una fibra óptica de transporte de sílice no dopado, de diámetro inferior a 150 µm, por ejemplo igual a 50 o 100 µm.

5 De manera general, utilizar una fuente láser de gran brillantez, tal como láseres de fibra, permite generar haces de gran potencia con excelentes factores de calidad. El grado de calidad de un haz láser se mide por su factor de calidad o Beam Parameter Product (BPP). El BPP está determinado por las características de la fuente láser SL y el diámetro de la fibra de transporte FDC. Se expresa como el producto del radio w_0 del cuello del haz láser focalizado por su semiángulo de divergencia θ_0 , como se ilustra en la Figura 2. El BPP está definido también por el producto del radio w_{fib} de la fibra óptica de transporte que emite el haz láser por el semiángulo de divergencia del haz a la salida de la fibra θ_{fib} . Así, para una fibra de 50 μm , el BPP del haz está comprendido típicamente entre 1'6 y 2 mm.mrad, mientras que para una fibra de 100 μm , el BPP está comprendido típicamente entre 2'7 y 4 mm.mrad.

10 Como se ilustra en la Figura 2, el sistema de focalización del cabezal de corte láser está compuesto, sucesivamente, en el sentido de circulación del haz láser, por al menos una lente de colimación LC que permite obtener un haz colimado FC a partir de un haz divergente FD y al menos una lente de focalización LF que permite obtener un haz focalizado FF y concentrar la energía del láser sobre la pieza a cortar. Las distancias focales de colimación y de focalización son escogidas de manera que se obtenga una mancha focal, denominada punto focal, que tiene un diámetro adecuado para tener la densidad de potencia necesaria para el corte de la pieza.

15 El diámetro del haz $2w_0$ en el plano de focalización está definido como el producto del diámetro $2w_{fib}$ de la fibra por la ampliación óptica G del sistema de focalización y se expresa:

$$2w_0 = 2w_{fib} \cdot G = 2w_{fib} \cdot (F_{foc} / F_{col})$$

Donde:

20 - G está dado por la relación entre la distancia focal F_{foc} de la lente de focalización FC y la distancia focal F_{col} de la lente de colimación LC.

- w_0 y w_{fib} son los radios característicos del haz en el plano focal y de la fibra, respectivamente. Se entiende por radio característico w la distancia con respecto al eje óptico en donde la intensidad cae a $1/e^2$ (alrededor de 13'5%) de su valor máximo, lo que significa que el 86'5% de la potencia del haz está comprendida en el disco de radio w . Todos los parámetros del haz son definidos según este criterio.

25 El radio del haz que irradia las ópticas de colimación y de focalización está dado por la relación siguiente:

$$w_{col} = \theta_{fib} \cdot F_{col}$$

El semiángulo de divergencia θ_{fib} del haz emitido por la fibra de transporte se deduce del valor del BPP del haz focalizado gracias a la relación:

$$BPP = w_0 \cdot \theta_0 = w_{fib} \cdot \theta_{fib}$$

30 Se define la densidad media de potencia por unidad de superficie, también denominada densidad de potencia (DP) y expresada en kW/cm^2 , que irradia las ópticas de la manera siguiente:

$$DP = P_{las} / \pi w_{col}^2$$

donde: P_{las} es la potencia total de la radiación emitida por la fuente láser y w_{col} es el radio característico del haz que irradia las ópticas.

35 De ahí, se comprenden los problemas que se presentan durante la utilización de un generador láser de gran brillantez, tal como un láser de fibra, a saber, que:

40 - Este tipo de fuente está caracterizado por BPP pequeños y, por lo tanto, por haces que tienen una divergencia θ_{fib} más pequeña a la salida de la fibra. Este parámetro traduce la velocidad de expansión en campo lejano del haz emitido por la fibra de transporte y determina el diámetro del haz sobre las ópticas del sistema. A distancia focal de colimación equivalente, un haz de mejor calidad y, por lo tanto, de divergencia más pequeña tiene un diámetro $2w_{col}$ más pequeño sobre la lente de colimación. Esto da como resultado un aumento de DP. A título indicativo, la Tabla 1 que va a continuación, da una comparación de características típicas de haz para diferentes láseres, así como las densidades de potencia obtenidas sobre las ópticas para una potencia de 2 kW y una distancia focal de la lente de colimación igual a 100 mm.

45 - A ampliación óptica idéntica, un haz de BPP más pequeño está focalizado con el mismo diámetro focal y posee una divergencia θ_0 más pequeña. Su longitud de Rayleigh $z_R = w_0 / \theta_0$ es más grande. Ahora bien, la desviación del punto focal inducida por el calentamiento del sistema de focalización de gran potencia es proporcional a z_R .

50

Tabla 1

Fuente láser	Nd:YAG (1'06 μm)		Fibra (1'07 μm)
Bombeo	Lámparas	Diodos	Diodos
Diámetro típico de fibra (μm)	600	400	100
BPP típico (mm.mrad)	25	15	3
Divergencia θ_{fib} (mrad)	83	75	60
$2w_{col}$ (mm) para $F_{col}=100$ mm	16'7	15'0	12'0
DP a 2 kW (kW/cm ²)	0'9	1'1	1'8

5 Se ve que la densidad de potencia sobre las lentes aumenta cuando el haz gana en calidad. Ahora bien, la amplitud del gradiente térmico que se establece en las ópticas bajo irradiación láser aumenta con la densidad de potencia soportada por las ópticas. Es astuto pues, trabajar con ópticas que presentan el mejor comportamiento térmico posible para evitar los problemas de desviación focal y de deterioro láser.

A este fin, el sistema óptico de la invención combina las especificidades descritas arriba, según el esquema presentado en la Figura 3.

10 El cabezal de corte 3 está constituido por dispositivos ópticos que trabajan en transmisión, es decir aquí las lentes 13, 14, que sirven para las operaciones de colimación (en 13) y de focalización (en 14) del haz láser FL proveniente de la fibra de transporte y generado por la fuente láser en estado sólido SL.

15 Se utiliza ventajosamente el sulfuro de zinc (ZnS) como sustrato para las lentes de colimación 13 y de focalización 14. En efecto, la amplitud de gradiente térmico que se establece en las lentes bajo irradiación láser es inversamente proporcional a la conductividad térmica del material que constituye las lentes. Ahora bien, la conductividad térmica del ZnS (0'272 W/cm·°C) es del orden de 20 veces la del sílice fundido (0'0138 W/cm·°C). Esta conductividad térmica más elevada se traduce en una aptitud mayor del ZnS para evacuar el calor y permite limitar la amplitud de los gradientes y de las distorsiones térmicas inducidas a nivel de las lentes por la irradiación de gran potencia.

20 Estos dispositivos ópticos de colimación 13 y de focalización 14 pueden ser escogidos entre los diferentes tipos de lentes disponibles. Las lentes son preferiblemente singulares con el fin de limitar el número de superficies ópticas del sistema de focalización y de minimizar los riesgos de deterioro. Pueden utilizarse diferentes geometrías de lentes, por ejemplo plano-convexa, biconvexa o menisco. Preferiblemente son plano-convexas. Todas las superficies ópticas tienen preferiblemente tratamiento antirreflejante en la longitud de onda del láser.

25 Las lentes del cabezal de corte son colocadas en un soporte de temperatura controlada. El agua circula en el soporte y permite una refrigeración por contacto indirecto con las lentes. La temperatura del agua está comprendida entre 19 y 25 °C.

30 El espesor y el diámetro de las lentes 13, 14 tienen igualmente una influencia sobre su comportamiento térmico. Cuanto más se aumentan las dimensiones de las lentes, mejor se evacua el calor hacia las zonas periféricas más frías, y disminuye más la amplitud de los gradientes térmicos. En los cabezales de corte convencionales, se utilizan lentes gruesas, es decir de un espesor en los bordes de al menos 5 mm, únicamente para realizar las operaciones de focalización. En efecto, el gas auxiliar es inyectado directamente después de la lente de focalización, lo que las expone a grandes presiones. Las lentes de focalización deben pues ser gruesas para tener una buena resistencia mecánica. En el marco de la invención, a fin de reducir el fenómeno de desviación focal, se utilizan lentes gruesas tanto para la colimación como para la focalización del haz. Contrariamente a lo que se hace habitualmente, el cabezal de corte 3 está pues constituido por lentes cuyo espesor en los bordes es de la menos 5 mm y, preferiblemente comprendido entre 6 y 8 mm. Al igual que un espesor mayor ofrece un mejor comportamiento térmico, las ópticas de diámetro mayor evacuan mejor el calor hacia sus bordes. Cualquiera que sea la dimensión del haz que impacta sobre las ópticas del cabezal de corte, el cabezal de corte 3 incorpora, pues, lentes cuyo diámetro está comprendido entre 35 y 55 mm.

40 En el cabezal de corte 3, está colocado un componente de reflexión 15 en el trayecto del haz láser 10 entre la lente de colimación 13 y la lente de focalización 14. Este componente es un espejo plano y no modifica los parámetros de propagación del haz. El sustrato del espejo está constituido de sílice fundido.

45 Al menos una cara del espejo está revestida con un tratamiento reflectante. Este revestimiento está constituido por capas delgadas ópticas y refleja la longitud de onda del haz láser de corte así como las longitudes de onda comprendidas entre 630 y 670 nm. El tratamiento es, por el contrario, transparente para una parte del espectro visible o infrarrojo, que incluye la longitud de onda de un sistema de iluminación, por ejemplo un diodo láser. De esta manera, permite el conexión de un dispositivo de control de proceso (tipo cámara o fotodiodo) por detrás del espejo.

- 5 Este funciona en un ángulo de incidencia α comprendido entre 40 y 50°, preferentemente igual a 45°. El espesor del espejo está comprendido entre 3 y 15 mm, preferentemente entre 8 y 12 mm. Este espejo permite en primer lugar reducir el volumen vertical del cabezal para ganar estabilidad mecánica. Además, en esta configuración, la fibra de transporte es mantenida en horizontal, lo que reduce los riesgos de introducción de polvo durante las operaciones de montaje y desmontaje de la fibra o del colimador. Por fin, la integración de un componente de reflexión en el trayecto del haz permite compensar una parte de la desviación focal inducida por las lentes. En efecto, el desplazamiento longitudinal del punto focal inducido por un componente de reflexión tiene lugar en la dirección opuesta a la desviación focal inducida por un componente de transmisión.
- 10 Las lentes del cabezal de corte 3 están caracterizadas también por distancias focales específicas, adaptadas al BPP de la fibra de transporte utilizada. Estas focales son necesarias para la obtención del diámetro de punto focal $2w_0$ adecuado para cortar el material tratado. Para una fibra de transporte de diámetro 50 μm , el BPP del haz está comprendido típicamente entre 1'6 y 2'2 mm.mrad. Para esta fibra, la distancia focal de la lente de colimación está comprendida entre 70 y 120 mm, preferentemente comprendida entre 70 y 90 mm. La elección de la distancia focal de colimación condiciona a continuación la de la distancia focal de focalización, en función de la ampliación óptica deseada para cortar el espesor del material tratado.
- 15 Para los materiales cuyo espesor es estrictamente inferior a 10 mm, la distancia focal de focalización está comprendida entre 200 y 300 mm, preferentemente entre 220 y 280 mm. Para los materiales cuyo espesor es superior o igual a 10 mm, la distancia focal de focalización está comprendida ventajosamente entre 350 y 450 mm, preferentemente entre 380 y 420 mm.
- 20 Para una fibra de transporte de diámetro 100 μm , el BPP del haz está comprendido típicamente entre 2'6 y 4 mm.mrad. Para esta fibra, la distancia focal de la lente de colimación está comprendida entre 130 y 180 mm, preferentemente comprendida entre 140 y 180 mm. Para los materiales cuyo espesor es estrictamente inferior a 10 mm, la distancia focal de focalización está comprendida entre 200 y 300 mm, preferentemente entre 220 y 280 mm. Para los materiales cuyo espesor es superior o igual a 10 mm, la distancia focal de focalización está comprendida ventajosamente entre 350 y 450 mm, preferentemente entre 380 y 420 mm.
- 25 El cabezal de focalización 3 está alimentado con gas auxiliar por vía de una entrada de gas 5 dispuesta en la pared de dicho cabezal de focalización 3, por la cual un gas o mezcla gaseosa a presión que proviene de un fuente de gas, por ejemplo una o varias botellas de gas, un depósito de almacenamiento o incluso una o varias canalizaciones de gas, tal como una red de distribución de gas, es introducido aguas arriba de la boquilla 4 y es evacuado por esta boquilla 4 en dirección de la pieza 30 a cortar por el haz láser.
- 30 El gas auxiliar sirve para expulsar el metal fundido fuera de la sangría 12 de corte obtenida por fusión del material por medio del haz láser FL que está focalizado en la posición 11 con respecto a la superficie de la pieza 10 a cortar.
- 35 La elección del gas se hace en función de las características del material a cortar, principalmente de su composición, de su clase, de su espesor. Por ejemplo, pueden utilizarse aire, oxígeno, mezclas de nitrógeno/oxígeno o helio/nitrógeno para el corte del acero, mientras que el nitrógeno, mezclas de nitrógeno/hidrógeno o argón/nitrógeno pueden utilizarse para cortar aluminio o acero inoxidable.
- 40 De hecho, la pieza 10 a cortar por láser puede estar formada de diferentes materiales metálicos, tales como acero, acero inoxidable, acero dulce o aleaciones ligeras, tales como aluminio y sus aleaciones, incluso el titanio y sus aleaciones, y tener un espesor comprendido típicamente entre 0'1 mm y 30 mm.
- 45 En el curso del proceso de corte, el haz láser puede estar focalizado (en 11) en el espesor o sobre o en cercanía inmediata a una de las superficies de la pieza 10, es decir en el exterior y a algunos mm por encima o por debajo de la superficie superior 10a o inferior 10b de la pieza 10, o sobre la cara superior 10a o inferior 10b. Preferentemente, la posición 11 del punto focal se sitúa entre 5 mm por encima de la superficie superior 10a y 5 mm por debajo de la superficie inferior 10b de la pieza 10.
- 50 Gracias a la presente invención, la posición de focalización del haz láser se mantiene estable en el curso del proceso de corte porque se evita o se minimiza cualquier desviación focal y cualquier deterioro de las ópticas, lo que permite garantizar prestaciones sensiblemente constantes a todo lo largo de la operación de corte láser.
- 55 El interés de utilizar una o las dos lentes de ZnS en vez de sílice fundido en un cabezal de corte láser ha sido puesto en evidencia al comparar la desviación focal inducida durante la exposición a gran potencia de los dos tipos de lentes.
- Por ello, se han comparado dos sistemas ópticos constituidos cada uno por una lente de colimación de distancia focal de 80 mm y por una lente de focalización de 250 mm. Uno estaba constituido por lentes de ZnS, el otro de sílice fundido.
- La cáustica del haz láser focalizado para cada sistema a podido ser registrada gracias a un analizador de haz. Este dispositivo mide el radio del haz para el cual el 86% de la potencia del láser está contenida en disco de este radio y esto en los planos de propagación sucesivos que se sitúan a una distancia en el entorno de 10 mm a una y otra

parte del cuello del haz focalizado.

A partir de la cáustica registrada, es posible determinar la posición del plano focal del haz láser a lo largo de su dirección de propagación. La evolución de la posición del plano focal en el curso de una exposición prolongada de las ópticas de focalización puede ser seguido efectuando una serie de análisis de haz.

- 5 En el curso de estos ensayos, cada sistema óptico ha sido expuesto durante alrededor de 30 minutos. En la configuración óptica estudiada, el haz tenía un diámetro de 9'6 mm sobre la lente, que conduce a una densidad de potencia del orden de 2'8 kW/cm² a 2 kW.

- 10 La Figura 4 presenta una comparación de la evolución de la posición del punto focal del haz focalizado para un sistema de lentes de ZnS o de sílice fundido (S). Para cada curva, el primer punto corresponde a la posición recogida durante un primer análisis de haz efectuado a 200 W. A esta potencia, la desviación focal inducida por el efecto de lente térmica es despreciable. Se puede considerar que la posición medida corresponde a la posición en la que se sitúa el punto focal del haz instantáneamente después del encendido del láser. Es después, a partir de esta posición que se mide la desviación focal. El primer punto de las curvas corresponde pues a una desviación de punto focal nula.

- 15 En la Figura 5, se puede ver que la desviación longitudinal del punto focal es más importante para el sistema de sílice fundido (S) que para el sistema de ZnS. La utilización del ZnS permite así reducir la amplitud del desplazamiento del punto focal durante la irradiación de las ópticas con gran potencia.

- 20 El efecto de una variación del espesor en los bordes de la lente de colimación ha sido igualmente estudiado. Para ello, se ha comparado la amplitud del desplazamiento del punto focal obtenido con un sistema de lentes de ZnS que comprende una lente de colimación de un espesor en los bordes E de 2 mm o un sistema que comprende una lente de colimación de espesor en los bordes E de 7 mm.

La Figura 5 muestra una comparación de la evolución de la posición del punto focal del haz focalizado para los dos sistemas, según el método descrito anteriormente.

- 25 Se puede ver que la desviación longitudinal del punto focal es más importante cuando la lente de colimación es más fina.

La combinación de los dispositivos ópticos de la invención permite garantizar la durabilidad de las prestaciones del proceso de corte láser, en particular en el caso de un proceso de corte láser obtenido con un láser sólido, en particular un láser de fibra, gracias a un control de la amplitud del fenómeno de la desviación focal y de los problemas de deterioro de las ópticas.

30

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Cabezal de focalización de haz láser que comprende una lente de colimación (13) y una lente de focalización (14), caracterizado por que:
- la lente de colimación (13) y la lente de focalización (14) son de ZnS y tienen un espesor en los bordes de al menos 5 mm, y
 - un espejo de reenvío (15) que funciona en un ángulo de incidencia (α) comprendido entre 40 y 50° está dispuesto en el trayecto del haz láser en el seno de dicho cabezal de focalización, entre las lentes de colimación (13) y de focalización (14).
- 10 2.- Cabezal de focalización según la reivindicación 1, caracterizado por que la lente de colimación (13) y la lente de focalización (14) tienen un espesor en los bordes comprendido entre 5 y 10 mm, preferentemente, entre 6 y 8 mm.
- 15 3.- Cabezal de focalización según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la lente de colimación (13) y la lente de focalización (14) tienen un diámetro comprendido entre 35 y 55 mm.
- 20 4.- Cabezal de focalización según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el espejo de reenvío (15) es de sílice.
- 25 5.- Instalación de corte por haz láser que comprende.
- un dispositivo de láser sólido (SL) que emite un haz láser de longitud de onda comprendido entre 1,06 y 1,10 μm y de potencia comprendida entre 0,1 y 25 kW,
 - un cabezal de focalización según una de las reivindicaciones precedentes, y
 - una fibra de transporte (FDC) que une el dispositivo de láser sólido (SL) con el cabezal de focalización de manera que encamina el haz emitido por el dispositivo de láser sólido (SL) hacia el cabezal de focalización.
- 30 6.- Instalación según la reivindicación 5, caracterizada por que el dispositivo de láser sólido (SL) es de tipo de fibras, preferentemente de fibras de yterbio.
- 35 7.- Instalación según una de las reivindicaciones 5 o 6, caracterizada por que el dispositivo de láser sólido (SL) emite un haz láser de potencia comprendida entre 1 y 5 kW en modo continuo, cuasi-continuo o pulsante, preferentemente en modo continuo.
- 40 8.- Instalación según una de las reivindicaciones 5 a 7, caracterizada por que la fibra de transporte (FDC) tiene un diámetro inferior o igual a 150 μm , preferentemente un diámetro de 50 μm o de 100 μm .
- 45 9.- Instalación según una de las reivindicaciones 5 a 8, caracterizada por que el dispositivo de láser sólido (SL) emite un haz láser que tiene un BPP comprendido entre 1,6 y 4 mm.mrad.
- 50 10.- Instalación según una de las reivindicaciones 5 a 9, caracterizada por que la fibra de transporte (FDC) tiene un diámetro de 50 μm y un BPP comprendido entre 1,6 y 2,2 mm.mrad, y la lente de colimación una distancia focal comprendida entre 70 y 120 mm.
- 55 11.- Instalación según una de las reivindicaciones 5 a 9, caracterizada por que la fibra de transporte (FDC) tiene un diámetro de 100 μm y un BPP comprendido entre 2,6 y 4 mm.mrad, y la lente de colimación una distancia focal comprendida entre 130 y 180 mm.
- 12.- Instalación según una de las reivindicaciones 5 a 11, caracterizada por que la lente de focalización tiene una distancia focal comprendida entre 200 y 450 mm.
- 13.- Proceso de corte por haz láser de una pieza metálica (10), en el cual se aplica un cabezal de focalización según una de las reivindicaciones 1 a 4 o una instalación de corte por haz láser según una de las reivindicaciones 5 a 12.

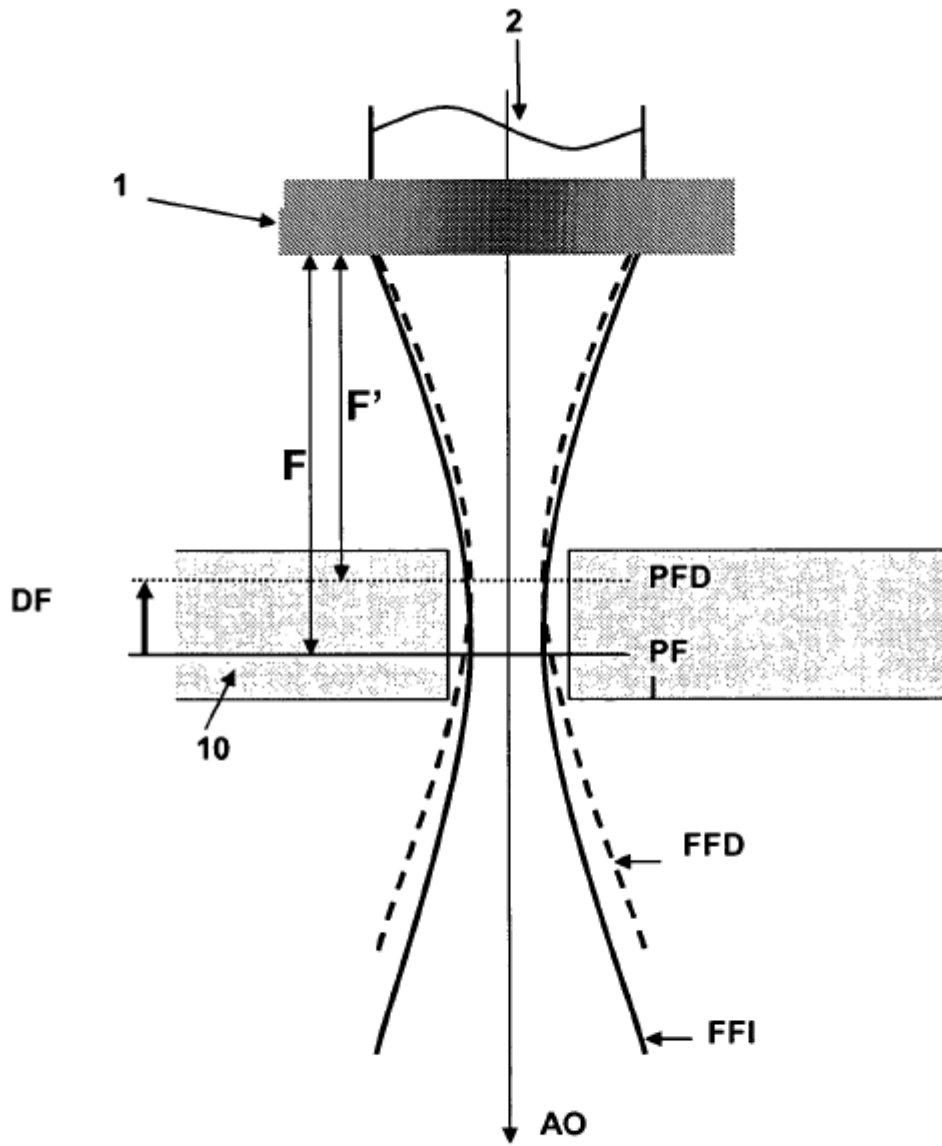


Figura 1

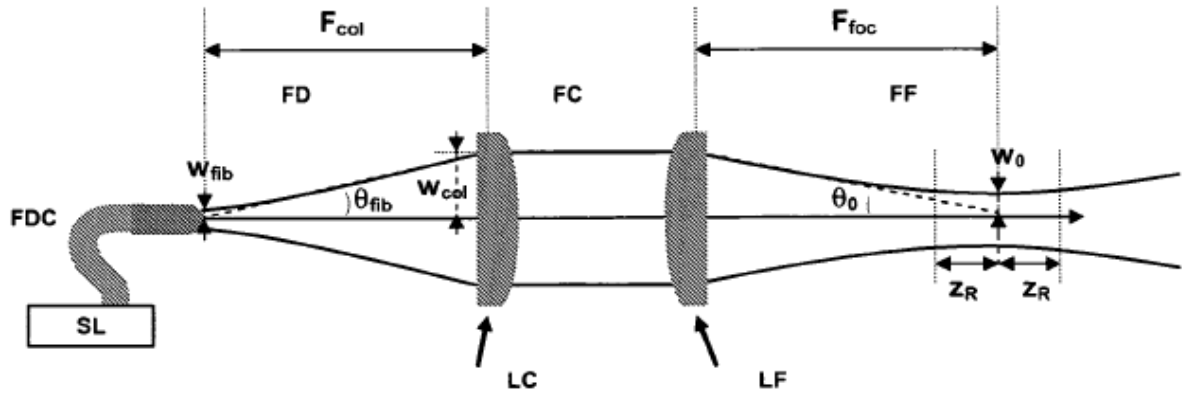
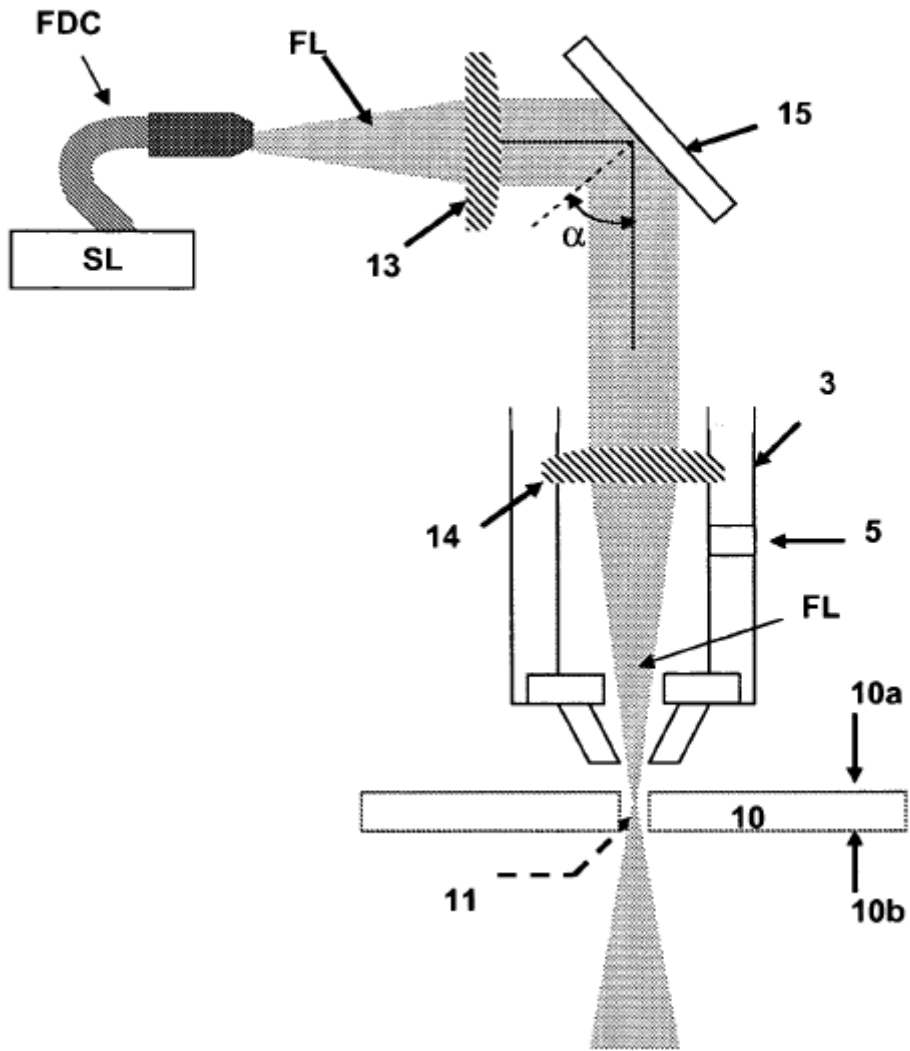


Figura 2

Figura 3



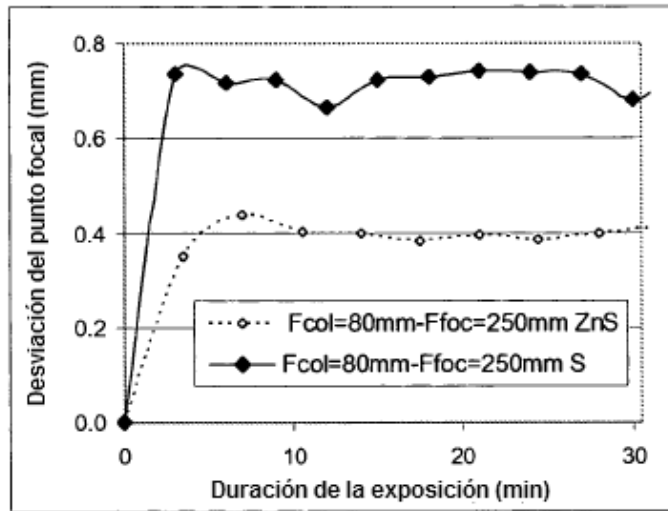


Figura 4

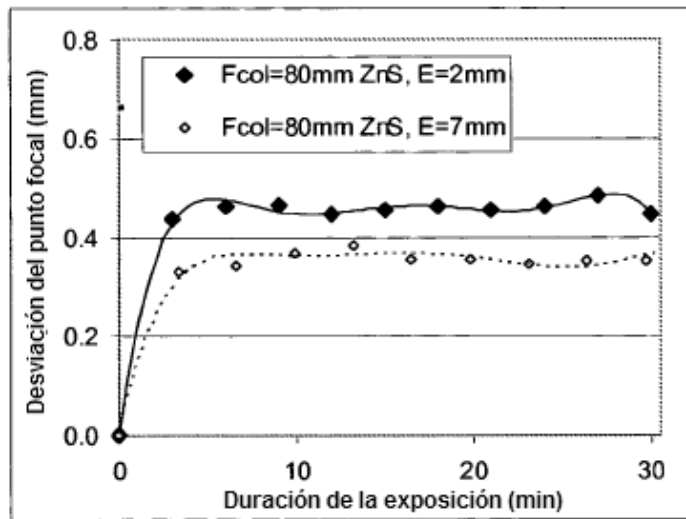


Figura 5