

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 609 854**

51 Int. Cl.:

B23K 26/38 (2014.01)

B23K 26/03 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.04.2012 PCT/IB2012/051992**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.10.2012 WO12143899**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.04.2012 E 12722866 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.07.2016 EP 2699380**

54 Título: **Método para controlar un proceso de corte por láser y sistema de corte por láser que lo implementa**

30 Prioridad:

21.04.2011 IT TO20110352

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

24.04.2017

73 Titular/es:

**ADIGE S.P.A. (100.0%)
Via per Barco, 11
38056 Levico Terme (TN), IT**

72 Inventor/es:

**SBETTI, MAURIZIO;
BERTOLDI, STEFANO;
COLOMBO, DANIELE;
PREVITALI, BARBARA;
RIVA, GIOVANNI;
DANESI, MATTEO;
MOLINARI TOSATTI, LORENZO y
PARAZZOLI, DIEGO**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 609 854 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método para controlar un proceso de corte por láser y sistema de corte por láser que lo implementa

5 La presente invención se refiere en general al campo de los procesos de corte por láser, y más en particular a un método para controlar un proceso de corte por láser, así como a un sistema de corte por láser que implementa dicho método.

10 La expresión "proceso de corte por láser" está previsto que se refiera, para los fines de la presente invención, a un proceso en el que un haz láser enfocado sobre la superficie de una pieza de trabajo, o próxima a esa superficie, produce una transformación del material de la pieza de trabajo alcanzado por el haz láser para obtener en primer lugar un orificio de paso y a continuación una línea de corte que comienza en este orificio de paso. El movimiento relativo del haz láser con respecto a la pieza de trabajo determina el área o volumen general del material involucrado en el proceso. Por lo general, la transformación del material debida al proceso es una transformación de tipo mecánico (deformación) o una transformación de tipo físico (transición de fase por fusión, evaporación o sublimación) y se debe a los siguientes dos factores principales, combinados en proporciones variables:

a) el calor suministrado por el haz láser enfocado; y

20 b) el calor suministrado por una reacción química provocada por el denominado gas adyuvante, siempre que dicha reacción sea una reacción exoenergética (por lo general una reacción de combustión, o más en general una reacción que supone la combinación del gas adyuvante con el material de la pieza de trabajo).

25 En el caso de que no se deba suministrar la fuente de calor indicada anteriormente con b), el gas adyuvante es un gas inerte (tal como por ejemplo N₂, Ar o Ne) y tiene la función de protección o de propulsión mecánica (es decir, sirve para arrastrar el material que se haya fundido, evaporado o sublimado como consecuencia del calor aplicado mediante el haz láser).

30 Por el contrario, en caso de que la fuente de calor indicada anteriormente con b) deba ser igual o superior al 40% del suministro total de energía, el gas adyuvante es un gas reactivo y actúa como medio que proporciona energía o comburente. El papel del gas adyuvante en el proceso de trabajo con láser por tanto es, en este caso, proporcionar energía al proceso por medio de una reacción exoenergética, con dos efectos simultáneos sobre el proceso: 1) incremento de la temperatura del volumen de material involucrado, que produce un cambio físico del estado debido a efectos térmicos (plastificación, fusión, evaporación o sublimación); y 2) auto-mantenimiento de la reacción, donde la temperatura del volumen de material involucrado y la energía calorífica disponible garantizan las condiciones necesarias para provocar y mantener la reacción exoenergética. Un ejemplo de gas adyuvante de tipo reactivo es el oxígeno (O₂), que se utiliza en operaciones de trabajo con láser realizadas sobre aleaciones de acero al carbono, puesto que es capaz de mantener una reacción de oxidación del hierro contenido en el acero.

40 La perforación láser como fase preliminar de corte por lo general se lleva a cabo sin movimiento relativo del haz láser con respecto a la pieza de trabajo y tiene como objetivo provocar la ruptura de la pared del material con vistas al posterior proceso de corte. La perforación láser se lleva a cabo con una configuración óptica y con una posición del punto focal con respecto al material que también debe ser compatible con el proceso de corte que tiene lugar inmediatamente después de que se haya roto la pared del material. La perforación láser tiene lugar en un volumen que permanece cerrado hasta el final del proceso. Tal y como se ilustra de forma esquemática en la figura 1 de los dibujos anexos, el proceso de perforación láser implica en primer lugar la superficie S de la pieza de trabajo P, y a continuación se desarrolla creando un cilindro que comprende, partiendo del eje óptico A del haz láser, un espacio que recoge el material evaporado/sublimado, fundido y calentado, en una atmósfera que comprende el gas adyuvante, los posibles subproductos derivados de las reacciones químicas entre el material de la pieza de trabajo y los gases presentes de forma simultánea, así como otros posibles gases contenidos en el aire en el que se coloca la pieza de trabajo procesada, gases que están presentes en forma de contaminantes.

55 A diferencia de la perforación, el proceso de corte por láser proporciona un movimiento relativo del haz láser enfocado con respecto a la pieza de trabajo. Además, como se muestra de forma esquemática en la figura 2 de los dibujos anexos, el proceso de corte por láser tiene lugar en un volumen abierto definido por tres superficies, en concreto por un par de superficies planas S1, S2 que se extienden paralelas a la dirección del movimiento relativo del haz láser enfocado con respecto a la pieza de trabajo, y por una tercera superficie S3 que conecta las dos primeras superficies y representa el borde de ataque del corte. Como se muestra de forma esquemática en la figura 3 de los dibujos anexos, que es una vista en sección de una pared de material cortada por medio de un láser, vista tomada a través de la sección de un plano paralelo a la dirección de corte, el borde de ataque del corte se forma mediante diversas capas del material calentado, fusionado y evaporado/sublimado, en una atmósfera que comprende el gas adyuvante, los posibles subproductos derivados de las reacciones químicas entre el material de la pieza de trabajo procesada y los gases presentes de forma simultánea, así como otros posibles gases contenidos en el aire en el que se coloca la pieza de trabajo, gases que están presentes en forma de contaminantes.

65 El documento US 5.373.135 desvela un método para controlar un proceso de corte por láser basado en el

establecimiento de dos umbrales de temperatura, en concreto un umbral de temperatura mínima y un umbral de temperatura máxima, respectivamente, correspondientes a la temperatura de fusión del material procesado y a la temperatura comprendida entre la temperatura de fusión y la temperatura de evaporación del material procesado, y en la medición de la temperatura midiendo la intensidad lumínica. Cuando la temperatura medida es superior al umbral máximo predeterminado, el láser se apaga, mientras que cuando la temperatura medida es inferior al umbral mínimo predeterminado, el láser se enciende. Por tanto, el parámetro de control de este método conocido es la temperatura.

El documento DE-A-19607376 desvela un método de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 y un aparato de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 4.

Habiendo indicado esto, es un objeto de la presente invención proporcionar un método para controlar un proceso de corte por láser del tipo identificado anteriormente, independientemente de si el proceso se lleva a cabo con un gas reactivo o con un gas inerte, con un láser de CO₂ o con un láser de estado sólido (Nd:YAG, láser de fibra, láser de disco, láser de diodo), método que permite minimizar el riesgo de que se pierda el control del proceso y entre en un estado paroxístico en caso de un proceso que utiliza un gas reactivo como gas adyuvante, permite minimizar el riesgo de cierre de la ranura de corte, y por tanto el riesgo de interrupción del proceso, y también permite mejorar la calidad del resultado final del proceso con respecto al que se puede obtener con los métodos de control ya utilizados para el control de procesos de corte por láser.

Este objeto se consigue en su totalidad de acuerdo con la presente invención en virtud de un método para controlar un proceso de corte por láser que comprende las etapas expuestas en la reivindicación anexa independiente 1.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, este objeto se consigue en su totalidad en virtud de un sistema de corte por láser que tiene las características expuestas en la reivindicación anexa independiente 10.

Los modos ventajosos de implementación del método de control de acuerdo con la invención y las realizaciones ventajosas del sistema de corte por láser de acuerdo con la invención son el objeto de las reivindicaciones dependientes, cuyo contenido se debe considerar como una parte integral e integrante de la siguiente descripción.

Resumiendo, la invención se basa en la idea del control del proceso de corte por láser, que incluye la fase de perforación inicial, utilizando como señal de referencia una o más líneas de emisión específicas para la radiación emitida por un gas (ya sea un gas adyuvante o un gas contaminante) o, de forma más general, mediante cualquier elemento emisor presente en el volumen involucrado por la irradiación del haz láser enfocado y mediante el ajuste, en base a esta señal de referencia, de al menos uno de los siguientes parámetros de control del proceso: la potencia del láser, la frecuencia y el ciclo de trabajo del pulso láser, la presión del gas adyuvante, la velocidad relativa del láser con respecto a la pieza de trabajo, la distancia entre la cabeza del láser y la superficie de la pieza de trabajo, y la distancia entre el punto focal del haz láser y la superficie de la pieza de trabajo.

El método de control de acuerdo con la invención proporciona por tanto la implementación de un circuito de control que comprende las siguientes etapas:

- la radiación procedente del volumen involucrado por el proceso láser es detectada por medios sensores que funcionan en una banda centrada en una longitud de onda seleccionada previamente como la más adecuada para controlar el proceso;

- la señal detectada de esta forma se filtra y se procesa de manera conveniente y a continuación se envía como señal de entrada a una unidad electrónica de control; y

- la unidad electrónica de control interpreta la señal recibida como señal de entrada y, si es necesario, varía uno de los parámetros de control del proceso anteriormente indicados.

Las líneas de emisión específicas para la radiación que se deben monitorizar con el fin de controlar el proceso (en lo sucesivo denominada radiación de control) son detectadas con una anchura de banda que es no superior a 100 nm.

Preferentemente, como gas emisor se utiliza oxígeno o nitrógeno. El gas utilizado como gas emisor puede ser indistintamente un gas adyuvante o un gas contaminante. En este segundo caso, el gas puede ser indistintamente un gas presente habitualmente en la atmósfera alrededor de la pieza de trabajo procesada o un gas introducido de forma expresa para este fin en el volumen involucrado por el proceso láser.

Si el gas tiene una función principalmente reactiva, sus emisiones se deben interpretar como indicativas del nivel de la intensidad con el que se está produciendo el proceso de reacción: un nivel demasiado bajo significa que el proceso de reacción no se produce con la velocidad que sería posible, mientras que un nivel demasiado elevado significa que el proceso de reacción se produce con una velocidad excesiva, con el consiguiente riesgo de que se produzca una situación de descontrol del proceso o un proceso explosivo. En caso de un láser pulsado, la derivación de la señal o el nivel mínimo alcanzado por un láser apagado antes del pulso siguiente puede dar una indicación de

que el proceso tenderá a reducir o incrementar su intensidad, convirtiéndose así, por una parte, en ineficiente y, por otra, en un proceso descontrolado o explosivo. También se puede obtener la misma información en caso de un láser continuo, mediante la introducción de una sobremodulación sobre la potencia del láser y comparando las derivadas del tiempo de la señal emitida por el gas durante la etapa de inframodulación y durante la etapa de sobremodulación. Se puede obtener otro tipo de control al comparar los niveles de emisión de radiación en dos o más longitudes de onda diferentes, que indican la presencia o la transformación de al menos dos especies o compuestos químicos específicos dentro del volumen involucrado por el proceso de trabajo con láser.

Si el gas tiene la función de contaminante, estando presente de forma habitual en la atmósfera en torno a la pieza de trabajo a procesar o introducido expresamente en el proceso para este fin, sus emisiones se pueden interpretar como una señal de control incluso en el caso de un proceso de corte por láser que utiliza un gas inerte como gas adyuvante. En el caso de la perforación láser realizada en la preparación del corte, la señal emitida por el gas contaminante proporciona la información de que el cilindro de perforación aún está cerrado y que por tanto el proceso aún no ha finalizado. Una vez formada la apertura en el material, la señal de control se reduce significativamente y de esta forma muestra que el proceso ha llegado a su fin. En el caso de corte por láser, un incremento en la señal emitida por el gas contaminante proporciona la información de que el borde de ataque del corte tiende a hacerse paralelo con la superficie de la pieza de trabajo procesada, expulsando de esta forma menos material, menos subproductos y menos gas contaminante, y que por tanto la velocidad de avance del corte es demasiado elevada, mientras que una reducción en la señal emitida por el gas contaminante proporciona la información de que el borde de ataque del corte tiende a hacerse perpendicular a la superficie de la pieza de trabajo procesada, y que por tanto la velocidad de avance del corte es demasiado baja.

Preferentemente, el método de control de acuerdo con la invención proporciona la monitorización de la línea de emisión a 777 nm. Esta longitud de onda incluye una emisión fuerte procedente del oxígeno ionizado, que se puede detectar fácilmente incluso cuando el oxígeno está presente únicamente como gas contaminante en el proceso, y más en particular proporciona la información necesaria para controlar tanto la perforación láser en la preparación del corte como del corte por láser. En el caso de un proceso de perforación láser en condiciones oxidantes, con la utilización de oxígeno como gas adyuvante, esta longitud de onda proporciona una anticipación muy sensible sobre la pendiente ascendente de la cantidad de oxígeno ionizado presente en el volumen del proceso, pendiente que presagia una explosión. En el caso de un proceso de perforación láser de fusión, con la utilización de nitrógeno como gas adyuvante, esta longitud de onda proporciona una información muy sensible acerca de la presencia de un volumen todavía cerrado que se está fundiendo antes de la apertura. En el caso de un proceso de corte por láser, independientemente de si se realiza en condiciones oxidantes o de si es un proceso de corte por láser de fusión, esta longitud de onda representa una fuente de información abundante, puesto que proporciona tanto una anticipación del riesgo de explosión o de difusión lateral del proceso de oxidación, que resulta en una reducción de la calidad final del corte, como una anticipación del fenómeno de cierre de la ranura de corte, y de la pérdida del corte asociada, independientemente de las razones aguas arriba que hayan conducido al cierre. Además de las señales emitidas por gases, independientemente de si son gases adyuvantes o gases contaminantes, de acuerdo con la invención también es posible utilizar señales emitidas por los elementos metálicos contenidos en el material a procesar, independientemente de si son elementos característicos del material o elementos únicamente presentes como contaminantes. Por ejemplo, es posible utilizar el hierro, níquel, cromo, aluminio o cobre como elementos emisores.

La monitorización de la señal emitida por un gas o por otro elemento emisor presente en el volumen de material involucrado en el proceso de trabajo con láser permite así obtener información sobre el estado del proceso y por tanto controlar el proceso ajustando los parámetros de control del proceso anteriormente mencionados.

Con respecto al sistema de corte por láser que implementa el método de control de acuerdo con la invención, básicamente comprende:

- una fuente láser, que puede ser indistintamente de tipo CO₂ o de tipo estado sólido (Nd:YAG, láser de fibra, láser de disco, láser de diodo);
- un cabezal láser que comprende un dispositivo de enfoque para enfocar el haz láser generado por la fuente láser y una boquilla para el suministro del gas adyuvante;
- una trayectoria óptica dispuesta para transportar el haz láser generado por la fuente láser hasta el dispositivo de enfoque del cabezal láser;
- un dispositivo de conducción dispuesto para mover el cabezal láser y la pieza de trabajo uno con respecto a la otra con una velocidad ajustable, así como para controlar la presión del gas adyuvante, para ajustar la distancia de la boquilla a la superficie de la pieza de trabajo y para ajustar la posición del punto focal del haz láser con respecto a la superficie de la pieza de trabajo; y
- un dispositivo de control del proceso que comprende medios sensores para detectar al menos una banda de longitudes de onda predeterminada de la radiación emitida por un gas dado o un material dado presentes en el

volumen del material involucrado por la irradiación del haz láser enfocado, medios para el procesamiento de las señales para procesar la señal detectada por los medios sensores, y medios de control para controlar, en función de la señal recibida por el medio para el procesamiento de las señales, la fuente láser y/o el dispositivo de conducción para ajustar al menos uno de los siguientes parámetros de control del proceso: la potencia del láser, la frecuencia y el ciclo de trabajo del pulso láser, la presión del gas adyuvante, la velocidad relativa del cabezal láser con respecto a la pieza de trabajo, la distancia entre la boquilla del cabezal láser y la superficie de la pieza de trabajo, y la distancia entre el punto focal del haz láser y la superficie de la pieza de trabajo.

De acuerdo con una realización, los medios sensores comprenden un fotodiodo para detectar la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada, un dispositivo reflector/deflector dispuesto para dirigir sobre el fotodiodo la radiación emitida por el proceso de trabajo con láser y un dispositivo de filtro óptico interpuesto entre el fotodiodo y el dispositivo reflector/deflector para seleccionar la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada.

De acuerdo con una realización, los medios sensores comprenden una pluralidad de fotodiodos para detectar la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada, una pluralidad correspondiente de dispositivos reflectores/deflectores cada uno de ellos dispuestos para dirigir sobre el respectivo fotodiodo la radiación emitida por el proceso de trabajo con láser y una pluralidad correspondiente de dispositivos de filtro óptico interpuestos cada uno de ellos entre un respectivo fotodiodo y un respectivo dispositivo reflector/deflector para seleccionar la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada.

Independientemente del número de fotodiodos, de los dispositivos reflectores/deflectores y de los dispositivos de filtro óptico utilizados como medios sensores, el (o cada) dispositivo de filtro óptico puede operar en transmisión o en reflexión. En este segundo caso el (o cada) dispositivo de filtro óptico puede coincidir con el dispositivo reflector/deflector dispuesto para dirigir sobre el fotodiodo la radiación emitida por el proceso de trabajo con láser. Los medios sensores se pueden colocar indistintamente por encima o por debajo del dispositivo de enfoque del cabezal láser.

En caso de una fuente láser de tipo estado sólido (Nd:YAG, láser de fibra, láser de disco, láser de diodo), la trayectoria óptica comprende una fibra de transporte y el cabezal láser además comprende un dispositivo de colimación, que está conectado con el extremo final de la fibra de transporte y comprende una o más lentes de colimación.

En este caso, el dispositivo reflector/deflector puede comprender, entre el dispositivo de colimación y el dispositivo de enfoque, un deflector de 90° dispuesto para reflejar al menos el 99,9% de la radiación láser y transmitir en cambio la radiación en la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada. En este caso, preferentemente el medio sensor además comprende una lente de enfoque dispuesta entre el deflector y el fotodiodo para enfocar la señal detectada sobre el fotodiodo. Por otra parte, el dispositivo de filtro óptico preferentemente está dispuesto entre el deflector y la lente de enfoque y comprende un primer filtro óptico dispuesto para reducir la radiación y un segundo filtro óptico dispuesto para seleccionar la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada. Esto también se aplica en su totalidad cuando se proporciona una pluralidad de fotodiodos, de dispositivos reflectores/deflectores y de dispositivos de filtro óptico, en cuyo caso cada dispositivo reflector/deflector comprenderá un respectivo deflector y se proporcionará una respectiva lente de enfoque entre cada deflector y cada respectivo fotodiodo.

Como alternativa al deflector de 90°, se puede proporcionar un dispositivo de ramificación, que está dispuesto a lo largo de la trayectoria óptica y está configurado de manera que permita que el haz láser generado por la fuente láser sea transportado en su totalidad hacia el cabezal láser a través de la fibra de transporte y hacia la radiación que se emite por el proceso de trabajo con láser y sea transportado a través de la fibra de transporte para que se pueda dirigir sobre el fotodiodo.

De acuerdo con una realización, el dispositivo de ramificación está integrado en un dispositivo de acoplamiento óptico por medio del cual el láser generado por la fuente láser es lanzado en la fibra de transporte y comprende en particular un divisor de haces dispuesto entre una lente de colimación y una lente de enfoque y lanzamiento del dispositivo de acoplamiento óptico para así permitir que el haz láser generado por la fuente láser atraviese en su totalidad la lente de enfoque y de lanzamiento y hacia la radiación que se emite por el proceso de trabajo con láser y sea transportado a través de la fibra de transporte para que se pueda dirigir sobre el fotodiodo.

De acuerdo con una realización, el dispositivo de ramificación comprende una fibra secundaria soldada a la fibra de transporte. En caso de que se proporcione un dispositivo de acoplamiento óptico, por medio del cual el láser generado por la fuente láser es lanzado en la fibra de transporte, la fibra secundaria está soldada a la fibra de transporte en un punto de esta última situado aguas abajo del dispositivo de acoplamiento óptico. De manera alternativa, el dispositivo de acoplamiento óptico se puede omitir y la fibra secundaria puede estar soldada en el mismo punto en el que la fibra de transporte está soldada a la fuente láser. En este caso, es particularmente ventajoso si la fibra secundaria está soldada a un combinador óptico al cual están soldadas una pluralidad de fibras, cada una de las fibras que están conectadas a un respectivo módulo láser que forma parte de la fuente láser y es capaz de emitir un haz láser independientemente de los otros módulos láser.

Características y ventajas adicionales de la invención serán más evidentes a partir de la siguiente descripción detallada, que se proporciona únicamente a modo de ejemplo no limitante con referencia a los dibujos anexos, en los que:

- 5 la figura 1 muestra esquemáticamente el volumen de material involucrado por un proceso de perforación láser;
- las figuras 2 y 3 muestran esquemáticamente el volumen de material involucrado por un proceso de corte por láser;
- 10 la figura 4 muestra esquemáticamente un dispositivo de control del proceso para un sistema de corte por láser de acuerdo con la invención;
- las figuras 5A y 5B son una vista desde arriba y en sección, respectivamente, de un conjunto de deflectores y fotodiodos que forman parte de los medios sensores de un dispositivo de control del proceso tal como el de la figura 4; y
- 15 cada una de las figuras 6 a 11 muestran esquemáticamente una variante respectiva de la realización de los medios sensores que se pueden utilizar en el dispositivo de control del proceso para un sistema de corte por láser de acuerdo con la invención.
- 20 Con referencia en primer lugar a la ilustración esquemática de la figura 4, un sistema de corte por láser de acuerdo con la invención comprende básicamente:
- una fuente láser 10, que puede ser indistintamente de tipo CO₂ o de tipo estado sólido (Nd:YAG, láser de fibra, láser de disco, láser de diodo);
 - 25 - un cabezal láser que por lo general está indicado como 12 y comprende un dispositivo de enfoque 14 para enfocar el haz láser generado por la fuente láser 10 y una boquilla 16 para el suministro del gas adyuvante (que puede ser indistintamente un gas inerte, tal como por ejemplo nitrógeno, o un gas reactivo, tal como por ejemplo oxígeno), la boquilla 16 que tiene un orificio de salida preferentemente de sección circular;
 - 30 - una trayectoria óptica (no ilustrada, pero de tipo conocido) dispuesta para transportar el haz láser generado por la fuente láser 10 hasta el dispositivo de enfoque 14 del cabezal láser 12, en el que la trayectoria óptica puede estar formada por un conjunto de espejos o por una fibra de transporte;
 - 35 - un dispositivo de conducción (no ilustrado, pero de tipo conocido) dispuesto para mover el cabezal láser 12 y la pieza de trabajo uno con respecto a la otra con una velocidad ajustable, así como para controlar la presión del gas adyuvante, para ajustar la distancia de la boquilla 16 a la superficie de la pieza de trabajo y para ajustar la posición del punto focal F del haz láser con respecto a la superficie de la pieza de trabajo a procesar, el dispositivo de conducción que está controlado por un control numérico 18; y
 - 40 - un dispositivo de control del proceso dispuesto para controlar la fuente láser 10 y/o el dispositivo de conducción (a través del control numérico 18) para así ajustar al menos uno de los siguientes parámetros de control del proceso: la potencia del láser, la frecuencia y el ciclo de trabajo del pulso láser, la presión del gas adyuvante, la velocidad relativa del cabezal láser 12 con respecto a la pieza de trabajo, la distancia entre la boquilla 16 y la superficie de la pieza de trabajo, y la distancia entre el punto focal F del haz láser y la superficie de la pieza de trabajo a procesar.
- 45 Más específicamente, el dispositivo de control del proceso comprende medios sensores para detectar al menos una banda de longitudes de onda predeterminada de la radiación emitida por un gas dado o por un material dado presentes en el volumen del material involucrado por la irradiación del haz láser enfocado (en lo sucesivo indicado, en aras de la comodidad, como volumen del proceso), medios para el procesamiento de las señales para procesar la señal detectada por los medios sensores, y medios de control para controlar, en función de la señal recibida por el medio para el procesamiento de las señales, la fuente láser y/o el dispositivo de conducción para ajustar al menos uno de los parámetros de control del proceso anteriormente mencionados.
- 50 Los medios sensores comprenden un fotodiodo 20 para detectar, preferentemente con un rango dinámico de al menos una decena, la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada, un dispositivo reflector/deflector 22 dispuesto para dirigir sobre el fotodiodo 20 la radiación emitida por el volumen del proceso y un dispositivo de filtro óptico 24 interpuesto entre el fotodiodo 20 y el dispositivo reflector/deflector 22 para seleccionar la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada. El dispositivo de filtro óptico 24 puede operar en transmisión o en reflexión. En este segundo caso, el dispositivo de filtro óptico 24 puede coincidir con el dispositivo reflector/deflector 22. La radiación emitida por el volumen del proceso así es dirigida por el dispositivo reflector/deflector 22, a través del dispositivo de filtro óptico 24, sobre el fotodiodo 20, que detecta la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada. Como se muestra en las figuras 5A y 5B, los medios sensores pueden comprender una pluralidad de fotodiodos 20 (en el ejemplo ilustrado, cuatro fotodiodos), así como una pluralidad correspondiente de dispositivos reflectores/deflectores 22 y dispositivos de filtro óptico 24, dispuestos de tal forma que cada dispositivo reflector/deflector 22 dirige sobre el respectivo fotodiodo 20, a través de un respectivo dispositivo de filtro óptico 24,
- 55
- 60
- 65

la radiación emitida por el volumen del proceso en un rango angular determinado. Los medios sensores se pueden colocar indistintamente por encima o por debajo del dispositivo de enfoque 14 del cabezal láser 12.

5 El medio para el procesamiento de las señales comprende una placa de circuitos de amplificación y filtrado de las señales 26, que por ejemplo está conectada directamente al fotodiodo 20, y una placa de circuitos de obtención de señales 28 conectada a la placa de circuitos de amplificación y filtrado de las señales 26 para obtener la señal procedente de esta última.

10 Los medios de control comprenden una unidad electrónica de control 30 (por ejemplo un PC industrial) en la que se instala un software de control que realiza un algoritmo de control descrito con detalle más adelante. La unidad electrónica de control 30 está conectada por una parte a la placa de circuitos de obtención de señales 28 y por otra, a través de una línea de comunicación con una interfaz de entrada y salida, tanto a la fuente láser 10 como al control numérico 18, para así poder controlar directamente la fuente láser 10 para que ajuste la potencia, la frecuencia y el ciclo de trabajo del láser, e indirectamente, a través del control numérico 18, al dispositivo de conducción para que
15 ajuste el resto de parámetros de control del proceso mencionados anteriormente, en concreto la velocidad relativa, la presión del gas adyuvante, la distancia de la boquilla al material y la posición del punto focal con respecto al material.

20 Los parámetros de control del proceso anteriormente mencionados se ajustan en función de la señal relacionada con la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada detectada por los medios sensores. De acuerdo con la invención, se utiliza como banda de longitudes de onda predeterminada, una banda de longitudes de onda seleccionada de tal forma que incluya al menos una línea de emisión de un elemento emisor (que puede ser un gas o un metal) presente en el volumen del proceso. Preferentemente, las líneas de emisión monitorizadas con el fin de controlar el proceso están comprendidas en el intervalo de 180 a 2000 nm y se detectan con una anchura de banda
25 no superior a 100 nm. Preferentemente, en caso de que se utilice un gas como elemento emisor, este gas es oxígeno o nitrógeno.

30 La radiación emitida por el oxígeno tiene líneas de emisión a las siguientes longitudes de onda (en nm): 948, 845, 823, 795 y 777. Preferentemente, el método de control de acuerdo con la invención proporciona la monitorización de la última línea de emisión mencionada anteriormente, y por tanto para la obtención de la señal a 750 nm, con un paso de banda igual a ± 50 nm. Como ya se ha indicado anteriormente en la parte introductoria de la descripción, esta longitud de onda comprende una emisión fuerte por parte del oxígeno ionizado, que se puede detectar fácilmente incluso cuando el oxígeno únicamente está presente como contaminante en el proceso, y específicamente proporciona la información necesaria para controlar el corte por láser, así como para controlar la
35 operación de perforación en la preparación del corte. Esta longitud de onda se utiliza de acuerdo con la invención, por una parte, como información acerca de la tendencia del incremento de la cantidad de oxígeno ionizado en el volumen del proceso, tendencia que por lo general anticipa una explosión de la perforación o del corte, y por otra parte como índice de la cantidad de contaminante recogido, y por tanto como índice de una perforación aún por completar o de una tendencia al cierre de la ranura de corte.

40 En lo que se refiere al nitrógeno, la radiación emitida por este gas tiene líneas de emisión en las siguientes longitudes de onda (en nm): 1358, 1246, 939, 870, 860, 745 y 576.

45 Con el fin de llevar a cabo la perforación láser en la preparación del corte, un ejemplo de algoritmo de control que se puede utilizar por parte de los medios de control del sistema de trabajo con láser para ajustar los parámetros de control del proceso proporciona las etapas descritas a continuación.

50 a) En primer lugar, se verifica la presencia del material sobre el que se realiza el orificio. Para este fin, se envía un primer tren de pulsos láser sobre el material por medio del cabezal láser y se detecta la señal relacionada con la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada por los medios sensores. Si la señal detectada es demasiado baja con respecto a un umbral predeterminado, esta información es interpretada por los medios de control como una indicación de la ausencia del material o como una indicación de que el orificio ya ha sido realizado previamente.

55 b) Una vez se ha confirmado la presencia del material, el proceso de trabajo con láser se inicia con valores adecuados de los parámetros de control del proceso indicados anteriormente. En particular, la fuente láser está encendida durante un cierto intervalo de tiempo predeterminado, al final del cual la fuente láser se apaga. Específicamente, si el proceso tiene lugar en un entorno rico en oxígeno (utilizado como gas adyuvante), entonces el intervalo de tiempo durante el cual está encendida la fuente láser oscila entre 0,5 y 5 ms (preferentemente 1 ms). Si, por el contrario, el oxígeno está presente únicamente como gas contaminante, entonces el intervalo de tiempo durante el cual está encendida la fuente láser oscila entre 0,5 y 100 ms (preferentemente 50 ms).

60 c) Después de un cierto tiempo (tiempo de relajación) desde el apagado de la fuente láser, la radiación emitida en la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada es detectada por los medios sensores y se monitoriza su curso. Si la señal detectada cae por debajo de un umbral de re-ignición determinado, entonces se repite la etapa b), es decir, se vuelve a encender la fuente láser. Durante la monitorización de la señal de control, los medios de control también pueden medir la derivada del tiempo de esta señal y utilizar esta derivada como indicación de la solidez del

procedimiento de ajuste.

El proceso termina cuando la señal detectada cae dentro de un umbral de finalización del proceso determinado. Preferentemente, el control de finalización del proceso se realiza en un intervalo de tiempo durante el cual la fuente láser está encendida.

Los valores de los umbrales de re-ignición y de finalización del proceso dependen del material y del espesor de la pieza de trabajo. Preferentemente, estos valores no son fijos, sino que se modifican dinámicamente por los medios de control en caso de que estos últimos establezcan, en función de la derivada del tiempo medida de la señal de control, que el proceso no es muy sólido.

Con el fin de realizar una operación de corte por láser, un ejemplo de algoritmo de control que se puede utilizar por los medios de control del sistema de trabajo con láser para ajustar los parámetros de control del proceso proporciona las etapas descritas a continuación.

a) En primer lugar, los parámetros de control del proceso se establecen sobre aquellos valores que por lo general se seleccionan dependiendo de la fuente láser utilizada, así como del material y del espesor de la pieza de trabajo.

b) Los medios sensores detectan la señal correspondiente a la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada de la radiación emitida por el volumen del proceso. En el caso de que al menos una de las señales monitorizadas sobrepase un umbral determinado, los medios de control interpretan este exceso de emisión como cierre parcial de la ranura de corte en caso de corte con un gas inerte o como pérdida incipiente del control del proceso reactivo en caso de corte con un gas reactivo, y en cualquiera de los dos casos varían de forma conveniente al menos uno de los parámetros de control del proceso indicados anteriormente, privilegiando, si es posible, la potencia del láser y la velocidad relativa. En caso de que al menos una de las señales monitorizadas caiga por debajo de un umbral determinado, los medios de control interpretan esta reducción de la emisión como un proceso demasiado lento y varían de forma conveniente al menos uno de los parámetros de control del proceso indicados anteriormente, privilegiando, si es posible, la potencia del láser y la velocidad relativa.

Por otra parte, si los medios sensores del sistema de trabajo comprenden una serie de fotodiodos dispuestos para mantener de esta forma una correlación espacial con esa porción del volumen del proceso que genera la radiación detectada por cada uno de los fotodiodos, entonces preferentemente los medios de control correlacionan la señal detectada con la dirección de corte, haciendo posible de esta manera obtener una información acerca de la anisotropía del comportamiento en todas las direcciones de corte permitidas. Dicha información proporciona una medida de la desviación del haz láser con respecto al centro de la boquilla del cabezal láser, es decir, con respecto a la dirección de la efusión del gas adyuvante, y por tanto permite mover convenientemente el centro de masas de la lente de enfoque o de la boquilla.

Naturalmente, se pueden implementar algoritmos de control diferentes a los descritos anteriormente dentro del alcance de la presente invención, sometidos al principio de ajuste de al menos uno de los parámetros de control del proceso mencionados anteriormente en función de la señal relacionada a la radiación emitida por el volumen del proceso en al menos una banda de longitudes de onda predeterminada, dicha banda de longitudes de onda predeterminada que incluye al menos una línea de emisión de un gas o de otro elemento emisor presente en el volumen del proceso durante el trabajo con láser.

Con referencia a las figuras 6 a 11, en las que a los componentes idénticos o correspondientes con aquellos de las figuras 4 y 5 se les ha asignado los mismos números de referencia, ahora se describirán algunas posibles realizaciones de los medios sensores que se pueden utilizar en el dispositivo de control del proceso de un sistema de corte por láser de acuerdo con la invención.

En la realización de la figura 6, el sistema de corte por láser comprende una fuente láser (no mostrada) de tipo estado sólido (Nd:YAG, láser de fibra, láser de disco, láser de diodo), en cuyo caso la trayectoria óptica comprende una fibra de transporte 32 y el cabezal láser 12 además comprende un dispositivo de colimación 34, que está conectado al extremo final de la fibra de transporte 32 y comprende una o más lentes de colimación. También en este caso, los medios sensores (fotodiodo 20, dispositivo reflector/deflector 22 y dispositivo de filtro óptico 24) se pueden situar por encima o por debajo del dispositivo de enfoque 14. En el primer caso, los medios sensores estarán situados entre el dispositivo de enfoque 14 y el dispositivo de colimación 34, como se muestra en la figura 6.

De acuerdo con la realización de la figura 7, que también hace referencia al caso de un sistema de corte por láser que utiliza una fuente láser de tipo estado sólido, el dispositivo reflector/deflector 22 está formado por un deflector de 90°, que está situado entre el dispositivo de colimación 34 y el dispositivo de enfoque 14 y está configurado para que refleje al menos el 99,9% de la radiación y para que transmita en cambio la radiación en la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada. En el ejemplo propuesto, los medios sensores además comprenden una lente de enfoque 36 dispuesta entre el deflector 22 y el fotodiodo 20 para enfocar sobre este último la señal detectada. Por otra parte, en el ejemplo propuesto, el dispositivo de filtro óptico 24 está dispuesto entre el deflector 22 y la lente de enfoque 36 y comprende, en orden desde el deflector 22 hacia la lente de enfoque 36, un primer filtro óptico 38 dispuesto para

reducir la radiación láser y un segundo filtro óptico 40 dispuesto para seleccionar la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada. La misma configuración de los medios sensores también se puede obtener con una pluralidad de fotodiodos, de dispositivos reflectores/deflectores y de dispositivos de filtro óptico, en cuyo caso cada dispositivo reflector/deflector comprenderá un respectivo deflector y se proporcionará una respectiva lente de enfoque entre cada deflector y el respectivo fotodiodo.

De acuerdo con las realizaciones de las figuras 8 a 11, que también hacen referencia al caso de un sistema de corte por láser que utiliza una fuente láser de tipo estado sólido, se proporciona, en lugar de un deflector de 90°, un dispositivo de ramificación dispuesto a lo largo de la trayectoria óptica y configurado de manera que permita que el haz láser generado por la fuente láser sea transportado en su totalidad hacia el cabezal láser a través de la fibra de transporte y hacia la radiación que se emite por el volumen del proceso y sea transportado a través de la fibra de transporte para que se pueda dirigir sobre el fotodiodo.

Más específicamente, de acuerdo con la realización de la figura 8, se proporciona un dispositivo de acoplamiento óptico 42 a lo largo de la trayectoria óptica, por medio del cual el láser generado por la fuente láser es lanzado en la fibra de transporte 32, el dispositivo de acoplamiento óptico 42 que comprende una lente de colimación 44 y una lente de enfoque y lanzamiento 46. En este caso, el dispositivo de ramificación está integrado en el dispositivo de acoplamiento óptico 42 y comprende un divisor de haces 48 dispuesto entre la lente de colimación 44 y la lente de enfoque y lanzamiento 46 para así permitir que el haz láser generado por la fuente láser atraviese en su totalidad la lente de enfoque y de lanzamiento y hacia la radiación que se emite por el volumen del proceso y sea transportado a través de la fibra de transporte 32 para que se pueda dirigir sobre el fotodiodo 20. Como en la realización de la figura 7, los medios sensores además comprenden una lente de enfoque 36 dispuesta entre el divisor de haces 48 y el fotodiodo 20 para enfocar sobre este último la señal detectada. Por otra parte, también en este caso el dispositivo de filtro óptico 24 está dispuesto entre el divisor de haces 48 y la lente de enfoque 36 y comprende un primer filtro óptico 38 dispuesto para reducir la radiación láser y un segundo filtro óptico 40 dispuesto para seleccionar la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada.

En las realizaciones de las figuras 9 a 11, por el contrario, el dispositivo de ramificación comprende una fibra secundaria 50 soldada a la fibra de transporte 32.

Más específicamente, de acuerdo con la realización de la figura 9, en la que la trayectoria óptica comprende un dispositivo de acoplamiento óptico (no mostrado) por medio del cual el láser generado por la fuente láser es lanzado en la fibra de transporte, la fibra secundaria 50 está soldada a la fibra de transporte 32 en un punto de esta última situado aguas abajo del dispositivo de acoplamiento óptico. También en este caso, los medios sensores comprenden, en orden, además de la fibra secundaria 50, una lente de colimación 52, un dispositivo de filtro óptico 24, una lente de enfoque 36 y un fotodiodo 20, el dispositivo de filtro óptico 24 que comprende a su vez un primer filtro óptico 38 dispuesto para reducir la radiación láser y un segundo filtro óptico 40 dispuesto para seleccionar la(s) banda(s) de longitudes de onda predeterminada.

De acuerdo con la realización de la figura 10, se omite el dispositivo de acoplamiento óptico a lo largo de la trayectoria óptica y la fibra secundaria 50 está soldada a la fibra de transporte 32 en el mismo punto en el que la fibra de transporte está soldada a una fibra de salida 54 de la fuente láser. En lo que se refiere a los medios sensores, aún se aplica lo que se ha indicado anteriormente con referencia a la figura 9.

Por último, de acuerdo con la realización de la figura 11, la fuente láser 10 comprende una pluralidad de módulos láser 10.1, 10.2, ..., 10.N capaces de emitir un haz láser independientemente entre sí, y una pluralidad correspondiente de fibras de salida 54.1, 54.2, ..., 54.N cada una que se extiende desde un respectivo módulo láser. Las fibras de salida están conectadas por el lado de entrada a un combinador óptico 56, al cual está conectada la fibra de transporte 32 por el lado de salida. En este caso, la fibra secundaria 50 está soldada al combinador óptico 56. En lo que se refiere a los medios sensores, aún se aplica lo que se ha indicado anteriormente con referencia a la figura 9.

Naturalmente, manteniendo el principio de la invención, los modos para llevar a cabo el método de control y las realizaciones del sistema de corte por láser pueden variar ampliamente de los descritos e ilustrados puramente a modo de ejemplo no limitante.

REIVINDICACIONES

- 1.- Método para controlar un proceso de corte por láser, proporcionando el proceso la irradiación de una pieza de trabajo (P) por medio de un haz láser que se genera mediante una fuente láser (10) y es enfocado por un cabezal láser (12), así como el suministro de un flujo de un gas adyuvante por medio de una boquilla (16) del cabezal láser (12), comprendiendo el método de control las etapas de:
- 5
- a) detectar la señal de longitud de onda de la radiación emitida por un elemento emisor presente en el volumen de material irradiado mediante el haz láser enfocado, y
- 10
- b) ajustar, en función de la señal detectada, al menos uno de los siguientes parámetros de control del proceso: la potencia del láser, la frecuencia y el ciclo de trabajo del pulso láser, la presión del gas adyuvante, la velocidad relativa del cabezal láser (12) con respecto a la pieza de trabajo (P), la distancia de la boquilla del cabezal láser (12) a la superficie (S) de la pieza de trabajo (P), y la distancia del punto focal (F) del haz láser desde la superficie (S) de la pieza de trabajo (P);
- 15
- caracterizado porque la etapa a) se lleva a cabo mediante la detección de la radiación emitida en al menos una banda de longitudes de onda predeterminada que incluye la longitud de onda a 777 nm y tiene un ancho de banda no más ancho de 100 nm, y porque el gas adyuvante o un gas contaminante presente en el volumen de material irradiado por el haz láser enfocado se usa como elemento emisor.
- 20
- 2.- Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que con el fin de realizar una operación de perforación en la preparación del corte, dicha etapa b) comprende las siguientes subetapas:
- 25
- b1) encender la fuente láser (10) durante un primer intervalo de tiempo predeterminado que oscila entre 0,5 y 5 ms en caso de que se utilice oxígeno como gas adyuvante, y que oscila entre 0,5 y 100 ms en caso de que se utilice otro gas distinto al oxígeno como gas adyuvante;
- 30
- b2) apagar la fuente láser (10) al final de dicho primer intervalo de tiempo predeterminado; y
- b3) esperar hasta que la señal de longitud de onda detectada se ha hecho más baja que un umbral determinado, y sólo entonces repetir las subetapas b1) y b2).
- 3.- Método de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que dicha etapa b) se lleva a cabo de tal manera que si la señal de longitud de onda detectada en la etapa a) supera un umbral dado, esto se interpreta como un cierre parcial de la ranura de corte en caso de corte con un gas inerte o como el comienzo de la pérdida de control del proceso reactivo en caso de corte con un gas reactivo, y al menos uno de los parámetros de control del proceso mencionados anteriormente se varía en consecuencia, mientras que si la señal de longitud de onda detectada en la etapa a) se hace más baja que un umbral dado, esto se interpreta como que significa que el proceso es demasiado lento, y al menos uno de los parámetros de control del proceso mencionados anteriormente se varía en consecuencia.
- 35
- 40
- 4.- Aparato de corte por láser, que comprende:
- 45
- una fuente láser (10);
- un cabezal láser (12) que comprende un dispositivo de enfoque (14) para enfocar el haz láser generado por la fuente láser (10) sobre una pieza de trabajo (P) y una boquilla (16) para suministrar un gas adyuvante;
- 50
- una trayectoria óptica para transportar el haz láser generado por la fuente láser (10) hacia el dispositivo de enfoque (14) del cabezal láser (12);
- un dispositivo de conducción para mover el cabezal láser (12) y la pieza de trabajo (P) el uno con respecto a la otra con una velocidad ajustable, así como para controlar la presión del gas adyuvante, para ajustar la distancia de la boquilla (16) desde la superficie (S) de la pieza de trabajo (P) y para ajustar la posición del punto focal (F) del haz láser con respecto a la superficie (S) de la pieza de trabajo (P);
- 55
- y caracterizado por:
- 60
- un dispositivo de control del proceso que comprende medios sensores adaptados para detectar al menos una banda de longitudes de onda predeterminada de la radiación emitida por el gas adyuvante o por un gas contaminante presente en el volumen de material irradiado mediante el haz láser enfocado, medios de procesamiento de señales para procesar la señal detectada mediante dichos medios sensores, y medios de control para controlar, en función de la señal recibida por dichos medios de procesamiento de señales, la fuente láser (10) y/o el dispositivo de conducción para ajustar al menos uno de los siguientes parámetros de control del proceso: la potencia del láser, la frecuencia y el ciclo de trabajo del pulso láser, la presión del gas adyuvante, la velocidad
- 65

relativa del cabezal láser (12) con respecto a la pieza de trabajo (P), la distancia de la boquilla del cabezal láser (12) desde la superficie (S) de la pieza de trabajo (P), y la distancia del punto focal (F) del haz láser desde la superficie (S) de la pieza de trabajo (P);

5 en el que dicha banda de longitudes de onda predeterminada incluye la longitud de onda a 777 nm y tiene un ancho de banda no más ancho de 100 nm

10 5.- Aparato de acuerdo con la reivindicación 4, en el que dichos medios sensores comprenden un fotodiodo (20) para detectar dicha al menos una banda de longitudes de onda predeterminada, un dispositivo reflector/deflector (22) dispuesto para dirigir la radiación emitida por el volumen de material irradiado mediante el haz láser enfocado sobre el fotodiodo (20), y un dispositivo de filtro óptico (24) interpuesto entre el fotodiodo (20) y el dispositivo reflector/deflector (22) para seleccionar dicha al menos una banda de longitudes de onda predeterminada.

15 6.- Aparato de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la fuente láser (10) es una fuente láser de estado sólido, en el que la trayectoria óptica comprende una fibra de transporte (32), en el que el cabezal láser (12) comprende un dispositivo de colimación (34) conectado al extremo final de la fibra de transporte (32), y en el que el dispositivo reflector/deflector (22) es un deflector de 90° dispuesto para reflejar al menos el 99,9% de la radiación láser y para transmitir la radiación emitida en dicha al menos una banda de longitudes de onda predeterminada.

20 7.- Aparato de acuerdo con la reivindicación 6, en el que dichos medios sensores además comprenden una lente de enfoque (36) dispuesta entre el dispositivo reflector/deflector (22) y el fotodiodo (20) para enfocar sobre este último la radiación emitida en dicha al menos una banda de longitudes de onda predeterminada, y en el que el dispositivo de filtro óptico (24) está dispuesto entre el dispositivo reflector/deflector (22) y la lente de enfoque (36) y comprende un primer filtro óptico (38) dispuesto para reducir la radiación láser y un segundo filtro óptico (40) dispuesto para seleccionar dicha al menos una banda de longitudes de onda predeterminada.

30 8.- Aparato de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la fuente láser (10) es una fuente láser de estado sólido, en el que la trayectoria óptica comprende una fibra de transporte (32) y en el que dichos medios sensores comprenden un fotodiodo (20) para detectar dicha al menos una banda de longitudes de onda predeterminada, un dispositivo de ramificación (48, 50) dispuesto a lo largo de la trayectoria óptica (32) y configurado para permitir que el haz láser generado mediante la fuente láser (10) sea transportado en su totalidad hasta el cabezal láser (12) a través de la fibra de transporte (32) y la radiación que es emitida por el proceso de corte por láser y es transportada a través de la fibra de transporte (32) se dirija sobre el fotodiodo (20), y un dispositivo de filtro óptico (24) interpuesto entre el fotodiodo (20) y el dispositivo de ramificación (48, 50) para seleccionar dicha al menos una banda de longitudes de onda predeterminada.

40 9.- Aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la trayectoria óptica comprende un dispositivo de acoplamiento óptico (42) que comprende una lente de colimación (44) y una lente de enfoque y lanzamiento (46), y en el que el dispositivo de ramificación (48, 50) comprende un divisor de haces (48) dispuesto entre la lente de colimación (44) y la lente de enfoque y lanzamiento (46) como para permitir que el haz láser generado por la fuente láser (10) pase en su totalidad a través de la lente de enfoque y lanzamiento (46) y la radiación que es emitida por el proceso de corte por láser y es transportada a través de la fibra de transporte (32) se dirija sobre el fotodiodo (20).

45 10.- Aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la trayectoria óptica comprende un dispositivo de acoplamiento óptico y en el que el dispositivo de ramificación (48, 50) comprende una fibra secundaria (50) soldada a la fibra de transporte (32) en un punto de esta última que está situado aguas abajo del dispositivo de acoplamiento óptico.

50 11.- Aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la fibra de transporte (32) está soldada a una fibra de salida (54) de una fuente láser (10) y en el que el dispositivo de ramificación (48, 50) comprende una fibra secundaria (50) que está soldada a la fibra de transporte (32) en el mismo punto en el que está soldada esta última a la fibra de salida (54).

55 12.- Aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la fuente láser (10) comprende una pluralidad de módulos láser (10.1, 10.2, ..., 10.N) capaces de emitir un haz láser independientemente entre sí, y una pluralidad correspondiente de fibras de salida (54.1, 54.2, ..., 54.N) cada una asociada a un respectivo módulo láser (10.1, 10.2, ..., 10.N), en el que la trayectoria óptica comprende un combinador óptico (56) al cual están conectadas las fibras de salida (54.1, 54.2, ..., 54.N) por el lado de entrada y al cual está conectada la fibra de transporte (32) por el lado de salida, y en el que el dispositivo de ramificación (48, 50) comprende una fibra secundaria (50) soldada al combinador óptico (56).

60

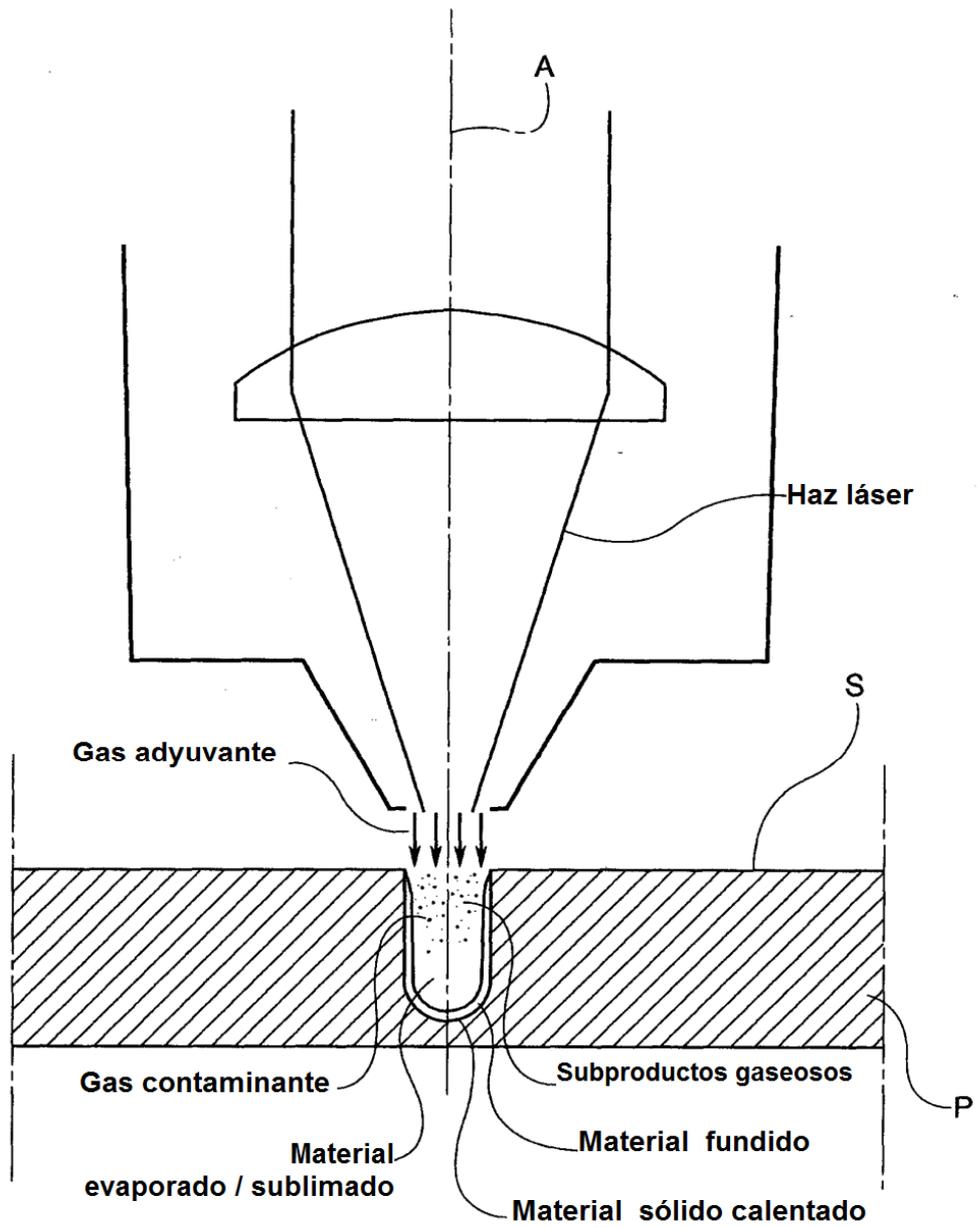


FIG. 1

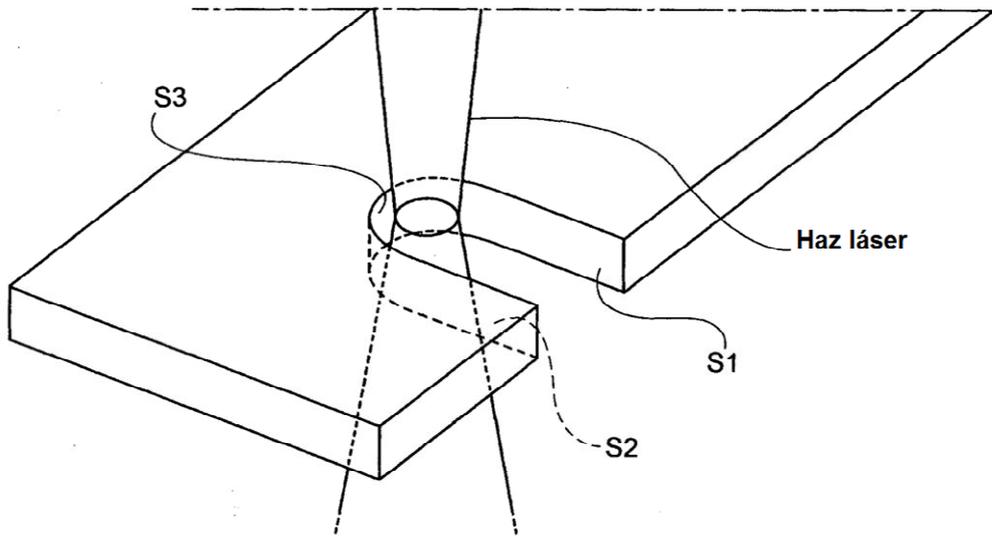


FIG. 2

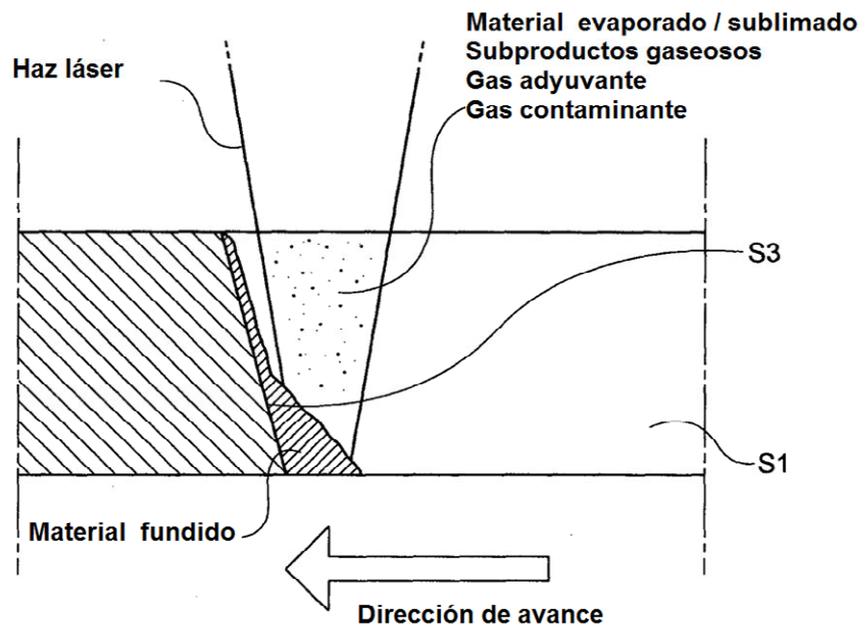


FIG. 3

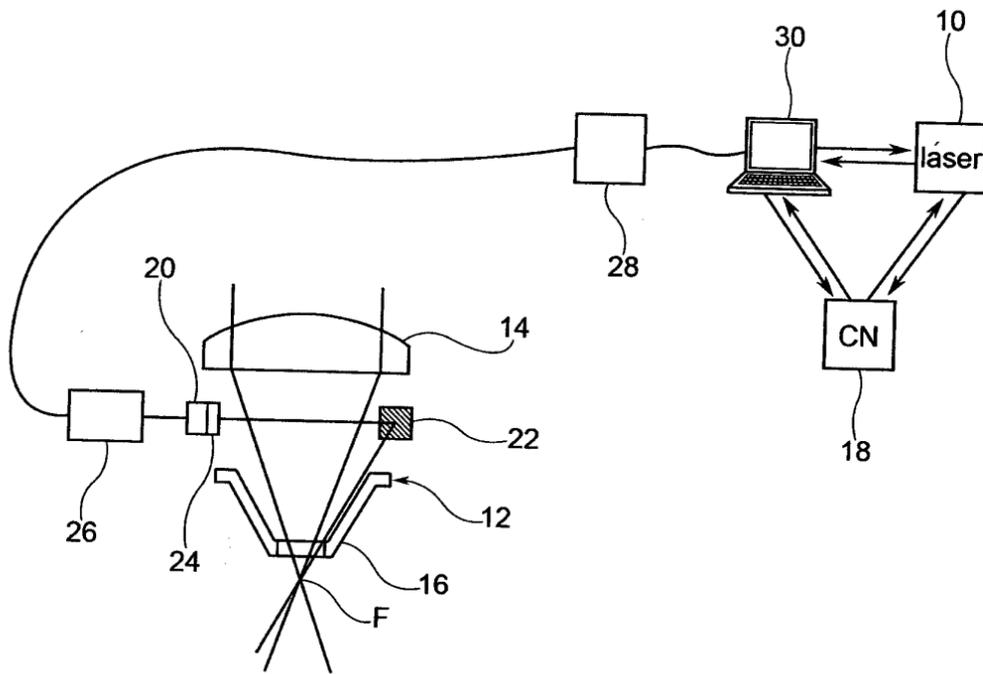


FIG. 4

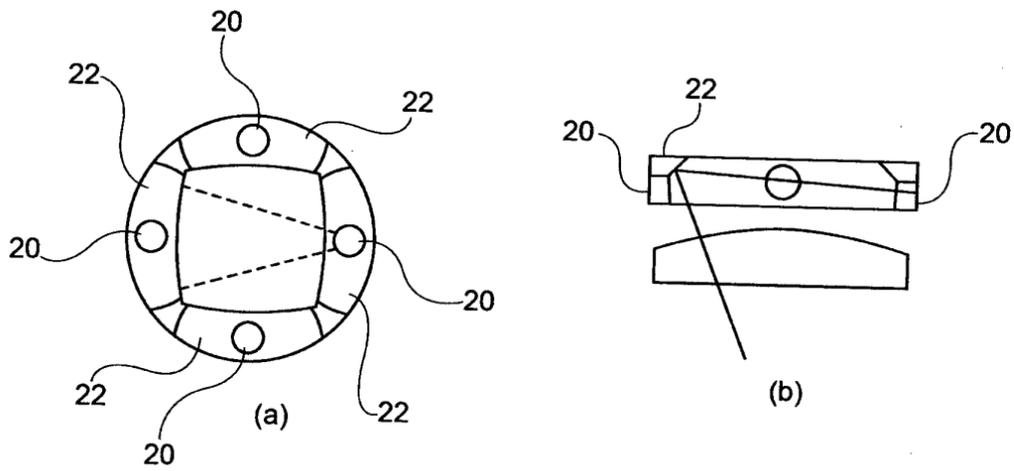


FIG. 5

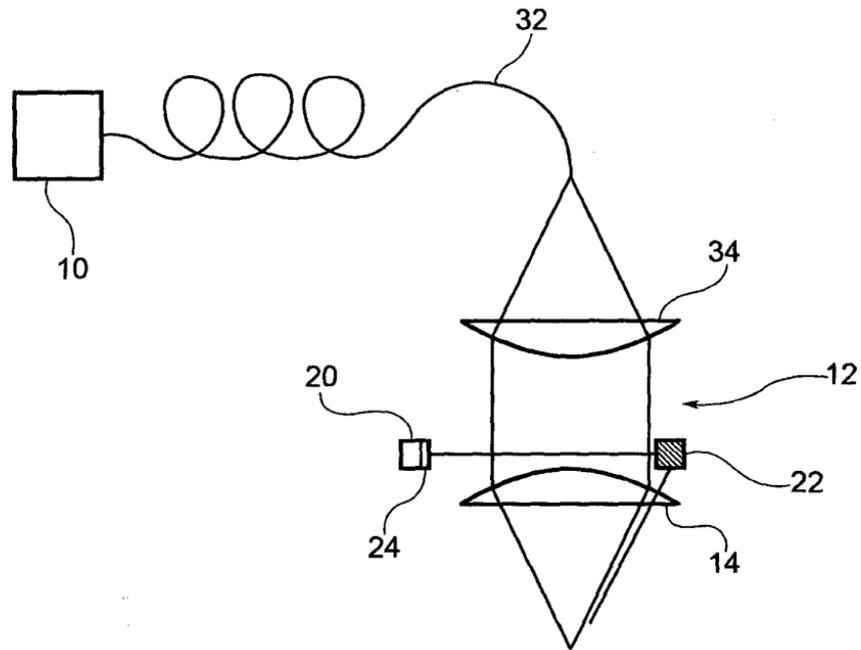


FIG. 6

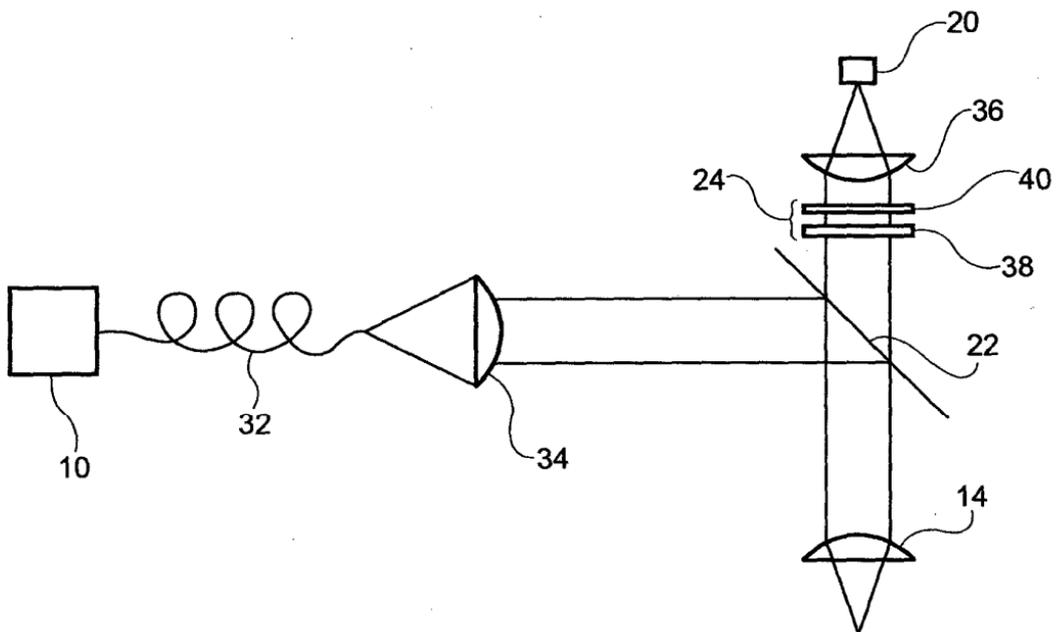


FIG. 7

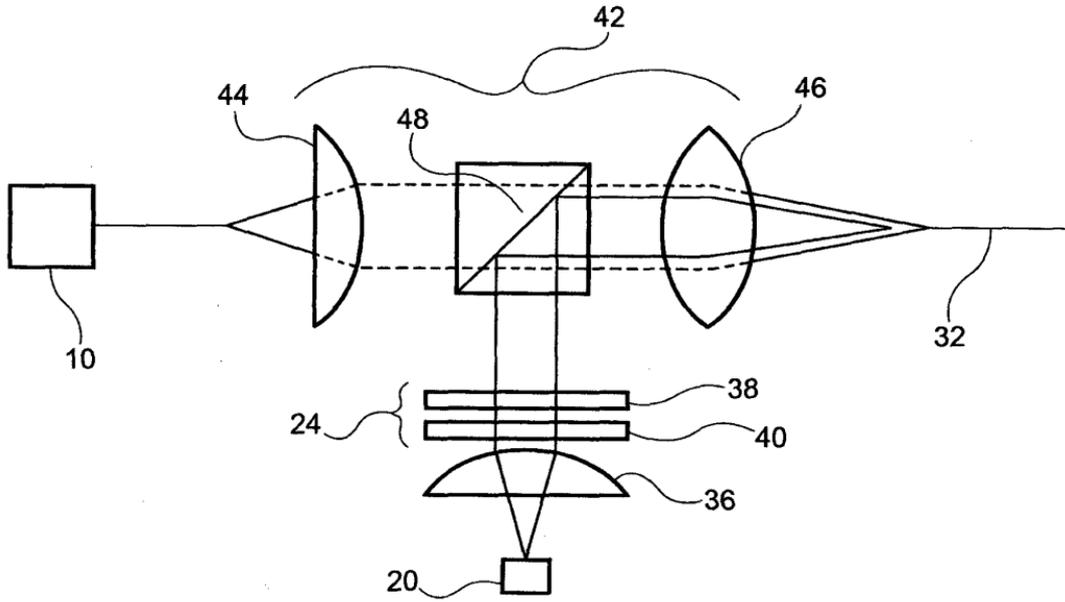


FIG. 8

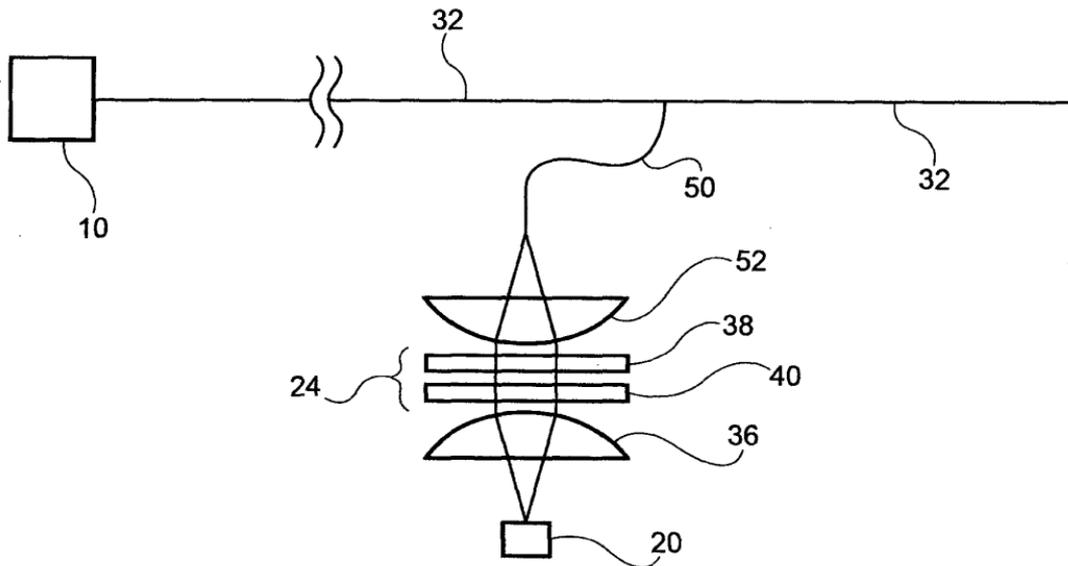


FIG. 9

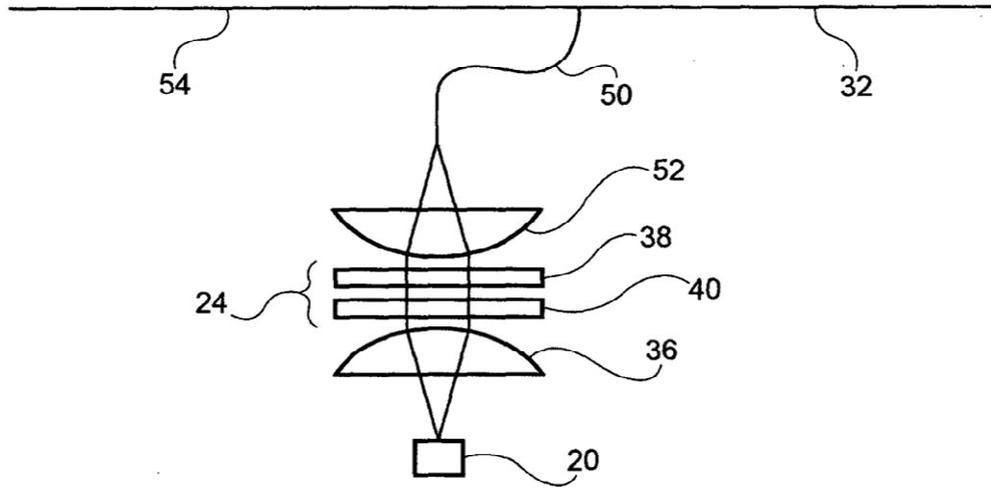


FIG. 10

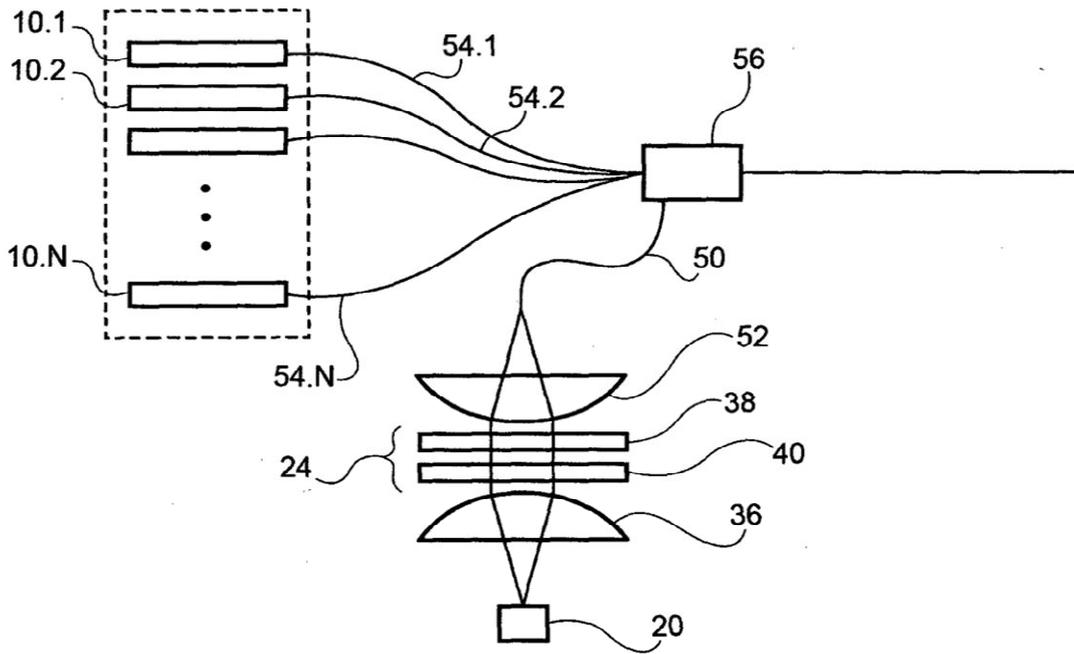


FIG. 11