

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 098**

51 Int. Cl.:

**B23K 26/06** (2014.01)

**B23K 26/073** (2006.01)

**B23K 26/14** (2014.01)

**B23K 26/21** (2014.01)

**B23K 26/38** (2014.01)

**B23K 26/382** (2014.01)

**G02B 26/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.07.2017 E 17179802 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2019 EP 3266557**

54 Título: **Método de procesamiento por láser de un material metálico con alto control dinámico de los ejes de movimiento del rayo láser a lo largo de una trayectoria de procesamiento predeterminada, así como una máquina y un programa informático para la implementación de dicho método**

30 Prioridad:

**06.07.2016 IT 201600070441**

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

**18.02.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SBETTI, MAURIZIO**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

ES 2 743 098 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 de procesamiento por láser de un material metálico con alto control dinámico de los ejes de movimiento del rayo láser a lo largo de una trayectoria de procesamiento predeterminada, así como una máquina y un programa informático para la implementación de dicho método

La presente invención se relaciona con el procesamiento por láser de un material metálico, más específicamente, un método de procesamiento por láser de, una máquina y un programa informático para cortar, perforar o soldar dicho material, como se especifica en el preámbulo de las reivindicaciones 1, 7 y 8 respectivamente (véase, por ejemplo, el documento US2014/346155).

En la siguiente descripción y en las reivindicaciones, el término "material metálico" se utiliza para definir cualquier pieza de trabajo metálica, tal como una lámina o perfil alargado que tiene indistintamente una sección transversal cerrada (por ejemplo, una forma circular, rectangular o cuadrada hueca) o una abierta (por ejemplo, una sección plana o una sección en forma de L, C, U, etc.).

En los métodos industriales de tratamiento de metales, y en particular los de láminas y perfiles metálicos, el láser se utiliza como herramienta térmica para una amplia variedad de aplicaciones que dependen de los parámetros de interacción del rayo láser con el material que se procesa, específicamente de la densidad por volumen de incidencia del rayo láser sobre el material y sobre el intervalo de tiempo de interacción.

Por ejemplo, al dirigir una densidad de energía baja (en el orden de decenas de W por mm<sup>2</sup> de superficie) durante un tiempo prolongado (en el orden de segundos), se logra un proceso de endurecimiento, mientras al dirigir una alta densidad de energía (en el orden de decenas de MW por mm<sup>2</sup> de superficie) durante un tiempo en el orden de femtosegundos o picosegundos, se logra un proceso de foto-ablación. En el intervalo intermedio de aumento de la densidad de energía y disminución del tiempo de trabajo, el control de estos parámetros permite realizar procesos de soldadura, corte, perforación, grabado y marcaje.

En muchos procesos, incluyendo procesos de perforación y corte, debe proporcionarse un flujo de gas auxiliar a la región de trabajo en donde tiene lugar la interacción entre el rayo láser y el material, que tiene las funciones mecánicas de propulsión del material fundido o las funciones químicas de ayudar en la combustión, o incluso las funciones tecnológicas de blindaje del entorno ambiental que rodea la región de trabajo.

En el campo del procesamiento por láser de materiales metálicos, el corte, la perforación y la soldadura por láser son operaciones de procesamiento que pueden llevarse a cabo por la misma máquina, la cual se adapta para generar un rayo láser enfocado de alta potencia que tiene una distribución de potencia transversal predeterminada en por lo menos un plano de trabajo del material metálico, típicamente un rayo láser con una densidad de potencia que varía de 1 a 10000 kW/mm<sup>2</sup>, y para gobernar la dirección del haz y la posición de incidencia a lo largo del material. La diferencia entre los diferentes tipos de procesamiento que pueden realizarse en un material es sustancialmente atribuible a la potencia del rayo láser utilizado y al tiempo de interacción entre el rayo láser y el material sometido a procesamiento.

Las máquinas de procesamiento por láser, según la técnica anterior, se muestran en las figuras 1 y 2.

La figura 1 muestra esquemáticamente una máquina de procesamiento industrial con un láser de CO<sub>2</sub> con una trayectoria óptica del rayo láser en el aire, que comprende una fuente 10 de emisión, tal como un dispositivo generador de láser de CO<sub>2</sub>, capaz de emitir un rayo láser unimodal o multimodal B y una pluralidad de espejos 12a, 12b y 12c reflectores, adaptados para conducir el rayo láser emitido desde la fuente de emisión a lo largo de una trayectoria de transporte óptico de haz hacia un cabezal de trabajo, indicado colectivamente en 14, dispuesto cerca de un material WP. El cabezal 14 de trabajo comprende un sistema 16 de enfoque óptico del rayo láser, que consiste en general en una lente de enfoque, adaptada para enfocar el rayo láser a lo largo de un eje óptico de propagación incidente sobre el material metálico. Una tobera 18 se dispone aguas abajo de la lente de enfoque y se atraviesa por el rayo láser dirigido hacia un área de un plano de trabajo del material. La tobera se adapta para dirigir un haz de un gas auxiliar inyectado por un sistema correspondiente, no mostrado, hacia el área de trabajo en el material. El gas auxiliar se utiliza para controlar la ejecución de un proceso de trabajo, así como la calidad del procesamiento que puede obtenerse. Por ejemplo, el gas auxiliar puede comprender oxígeno, el cual favorece una reacción exotérmica con el metal, lo que permite incrementar las velocidades de corte, o un gas inerte tal como nitrógeno, que no contribuye a la fusión del material, pero protege el material de la oxidación indeseable en los bordes del perfil de trabajo, protege el cabezal de trabajo de cualquier salpicadura de material fundido, y también puede utilizarse para enfriar los lados de la ranura producida en el material, lo que confina la expansión del área alterada térmicamente.

La figura 2 muestra esquemáticamente una máquina de procesamiento industrial con el rayo láser canalizado a través de fibra óptica. Comprende una fuente 10 de emisión, tal como un dispositivo generador de láser capaz de introducir un rayo láser en una fibra de transporte, por ejemplo, una fibra láser dopada con iterbio, o un láser de diodo directo, adaptado para emitir un rayo láser unimodal o multimodal y un cable 12d de fibra óptica adaptado

para conducir el rayo láser emitido desde la fuente de emisión al cabezal 14 de trabajo dispuesto cerca del material M. En el cabezal de trabajo, el rayo láser que emerge de la fibra con su divergencia controlada se colima por un sistema 20 dióptrico de colimación y se refleja por un sistema 22 catóptrico antes de enfocarse a través de un sistema 16 de enfoque óptico, que consiste en general en una lente de enfoque, a lo largo de un eje óptico de propagación incidente sobre el material WP que pasa a través de la tobera 18 de emisión.

La figura 3 ilustra un cabezal 14 de trabajo a modo de ejemplo según la técnica anterior. En 30 se representa un canal tubular que tiene secciones cilíndricas o cónicas dentro de las cuales se transmite el rayo láser, indicado en B. El rayo B láser generado por la fuente 10 de emisión y transportado al cabezal de trabajo por medio de una trayectoria óptica en aire con múltiples reflexiones o en fibras ópticas se colima sobre un elemento 32 deflector reflectante que desvía su eje óptico de propagación en una dirección de incidencia sobre el material que se procesa. El sistema 16 de enfoque óptico es intermedio entre el elemento 32 deflector reflectante y una corredera 34 protectora dispuesta aguas abajo, adaptada para proteger el sistema de enfoque de cualquier salpicadura de material fundido, y comprende una unidad 36 de soporte de lente a la que se acoplan mecanismos 38 de ajuste mecánico para calibrar la colocación de la lente transversalmente a la dirección de propagación del haz (ejes X-Y) y en la dirección de propagación del haz (eje Z).

El procesamiento óptico, al cual se somete el rayo láser en el cabezal de trabajo, se representa diagramáticamente en las figuras 4 y 5.

El rayo B láser, que se origina desde una fuente de emisión S a través de una trayectoria de transporte óptico en el espacio libre o en la fibra alcanza el cabezal de trabajo con una divergencia predeterminada. Un sistema de colimación óptica, mostrado en la figura 4 por la lente C, hace posible la colimación del rayo B láser, dirigiéndolo a un sistema de enfoque óptico dispuesto aguas abajo, representado por la lente F, capaz de producir un rayo láser enfocado. En la primera aproximación, un rayo láser ideal, es decir, un rayo láser idealmente colimado en rayos paralelos, aguas abajo de un sistema de enfoque óptico, se concentra en un punto focal según las leyes de la óptica geométrica. Las leyes físicas de la difracción, sin embargo, indican que el rayo láser, incluso en la mejor configuración de colimación y enfoque, tiene, aguas abajo del sistema de enfoque óptico, un punto focal finito en su cintura. Esto se representa en la figura 4 por la región indicada W, que corresponde al área focal del haz B. En general, en los usos de procesamiento industrial, el plano de trabajo de un material coincide con el plano transversal en la cintura del haz.

La figura 5 muestra la distribución de la densidad de potencia de un rayo láser normalmente colimado, que es típicamente de forma gaussiana con simetría rotacional en el caso de un haz unimodal, es decir, con una potencia concentrada alrededor del eje longitudinal del haz (eje Z) y decreciendo gradualmente a lo largo de un faldón periférico, o puede describirse como la envolvente de perfiles gaussianos con simetría rotacional en el caso de un haz multimodal.

El uso de haces con una radiación láser unimodal o multimodal, que puede describirse en una primera aproximación como gaussiana, cumple con los requerimientos de control tecnológico en el campo de las aplicaciones de láser de alta potencia. De hecho, un haz gaussiano se describe fácilmente por unos cuantos parámetros y es fácilmente controlable en su propagación a lo largo de una trayectoria de transporte óptico desde una fuente de emisión hasta el cabezal de una máquina de procesamiento, dado que tiene la característica de propagarse por sí mismo sin modificar la distribución de potencia, con lo cual puede describirse mediante un valor de radio y un valor de divergencia en condiciones de propagación de campo lejano (en cuyo caso puede utilizarse una aproximación de óptica geométrica). En las condiciones de propagación del haz enfocado en el campo cercano, a lo largo de una trayectoria de trabajo donde la aproximación de óptica geométrica ya no es válida, el haz en cualquier caso mantiene el patrón de distribución de potencia gaussiana en cada una de sus secciones transversales.

Por estas razones, en el campo del procesamiento por láser, siempre ha existido la necesidad de controlar la propagación del rayo láser de modo que tenga una distribución de potencia en sección transversal gaussiana (o aproximadamente gaussiana), y establecer, de una vez por todas, la posición mutua relativa entre el eje óptico de propagación del rayo láser y el eje baricéntrico del flujo de gas auxiliar.

Se ha desarrollado una serie de soluciones en la técnica anterior, adaptadas para proporcionar una estabilidad (si no una rigidez) de colocación entre el eje óptico de propagación del rayo láser y el eje de emanación del gas auxiliar, y esto involucra en general la coincidencia de los dos ejes. El ajuste de la posición mutua entre el eje óptico de propagación del rayo láser y el eje del flujo de gas auxiliar se realiza en la técnica anterior por medio de un procedimiento de centrado mecánico realizado manualmente por un operador durante la calibración periódica de la máquina (cabezal de trabajo), por ejemplo, cuando es necesario cambiar la tobera debido al desgaste. El procedimiento de centrado mecánico involucra una pluralidad de ajustes mecánicos finos, por ejemplo, por medio de un accionamiento por tornillo en el espejo deflector o en las lentes de colimación o de enfoque, para ajustar la inclinación y centrado del sistema óptico de propagación del rayo láser con relación a la colocación de la tobera en el cabezal.

Esta elección de diseño, que en el caso de un haz puramente unimodal respeta la simetría rotacional del haz y el flujo de gas auxiliar, respectivamente dictados por la distribución gaussiana de la potencia del rayo láser y por la sección circular de la boca de la tobera de salida del gas auxiliar, asegura la isotropía del comportamiento de cada proceso de trabajo (corte, soldadura, etc.) con respecto a las direcciones que el procesamiento puede seguir.

La isotropía del proceso con respecto a las trayectorias de trabajo sobre el material siempre se ha considerado favorable en casos donde un proceso de trabajo por láser se controla por medios electrónicos de procesamiento, según cualquier trayectoria y geometría, predeterminadas en sistemas CAD/CAM.

Se considera ampliamente que un sistema físicamente "desequilibrado", o sin simetría rotacional en los puntos de incidencia del rayo láser y gas auxiliar en el material, da como resultado complejidad y dificultades en el control de las trayectorias de trabajo, o empeora la calidad de los resultados de procesamiento.

La necesidad de incrementar el rendimiento de las máquinas en cuanto a producción cuantitativa y, por tanto, de velocidades de procesamiento, ha conducido a la necesidad de incrementar las aceleraciones máximas alcanzables por el cabezal de trabajo de la máquina, en la búsqueda de una trayectoria de trabajo así como la sacudida aplicable al cabezal mencionado anteriormente y, por tanto, en última instancia, la corriente de sobretensión eléctrica a suministrarse a los motores eléctricos que contribuyen al movimiento del cabezal de trabajo.

A modo de ejemplo, el procesamiento de materiales delgados a velocidades potencialmente alcanzables de varias decenas de metros por minuto involucra (en el caso de variaciones súbitas de trayectoria, las cuales se determinan al seguir una línea discontinua de corte) la desaceleración (o detención) del cabezal de trabajo en su traslación a lo largo de un eje de movimiento y la reanudación (o arranque) de la traslación del cabezal de trabajo a lo largo de un eje de movimiento diferente, con la aplicación de aceleraciones lineales o tangenciales del orden de 2 a 6 g. La misma dinámica también puede requerirse para los miembros de movimiento del material, lo que depende de la cinemática de accionamiento del movimiento recíproco entre el rayo láser y el material. En consecuencia, es necesaria una retroalimentación rápida de la posición mutua del cabezal de trabajo con respecto al material y viceversa, y una mecánica de movimiento robusta para el cabezal, o el material, capaz de sostener una dinámica elevada sin vibraciones apreciables del punto de incidencia del rayo láser y del gas auxiliar en relación con la trayectoria esperada en el material.

De hecho, lo que puede ocurrir es que las aceleraciones excesivas, combinadas con la inercia y la flexibilidad intrínseca (nunca cancelable) de los mecanismos de movimiento de la máquina, puedan sacar de posición a la tobera de salida del gas auxiliar y el eje óptico del rayo láser rígidamente asociado con la misma con respecto a una trayectoria de trabajo predeterminada, aunque durante un tiempo limitado. Esto es típico, por ejemplo, del procesamiento cerca de un punto angular donde hay una variación discontinua en la dirección de la trayectoria de trabajo. La alta dinámica de movimiento y las oscilaciones subsecuentes del cabezal de trabajo o del material determinan una evolución del eje óptico de propagación del rayo láser según una trayectoria local de oscilación subamortiguada, con lo cual, cerca del punto angular, se genera un procesamiento imperfecto desde el punto de vista geométrico, por ejemplo, dado que sigue una trayectoria ondulada de amplitud decreciente, en lugar de una trayectoria recta definida por el conjunto de trayectorias de trabajo.

Una solución simple, adoptada en la técnica, es la de diseñar una trayectoria de trabajo tal que no permita una variación discontinua de la dirección. Esta es una solución aproximada e insuficiente para el procesamiento de precisión.

Una solución alternativa descrita, por ejemplo, en la solicitud de patente WO 2006/075209, consiste en equipar una máquina con un marco que lleva miembros de traslación fuertes y rígidos para trasladar el cabezal de trabajo a lo largo de un primer par de ejes cartesianos, los cuales son capaces de transportar el cabezal a través de un área de trabajo amplia, aunque lentamente y con una aceleración reducida, y de soportar un par de correderas de movimiento de luz integradas, con una inercia reducida para el movimiento local del cabezal de trabajo a lo largo de un segundo par de ejes cartesianos que tienen un desplazamiento limitado, que puede cubrirse con alta velocidad y alta aceleración.

La composición de los movimientos dirigidos al cabezal de trabajo por los miembros de traslación y las correderas de movimiento, apropiadamente manejados según las reglas de subdivisión de movimiento a lo largo de los ejes "lento" y "rápido", permite alcanzar una dinámica de alto rendimiento (5 a 6 g), aunque con un sistema mecánico que de hecho no cancela la inercia de los componentes, sino que distribuye los efectos de los mismos entre los primeros miembros de movimiento de eje lento y los segundos miembros de movimiento de eje rápido.

El documento US 2014/346155 da a conocer un aparato de mecanizado por láser en el que un se proporcionan primer y un segundo espejo adaptativo teniendo cada uno una cámara de presión conectada a una fuente de presión y un sustrato de espejo que limita a cámara de presión. Una presión interna en la cámara de presión puede cambiarse con la ayuda de la fuente de presión en de tal manera que el sustrato de espejo se deforma se

la presión interna en la cámara de presión cambia.

5 El documento US 2015/378184 da a conocer sistemas y métodos para sistemas de láser en los que un sistema de ajuste de parámetro de haz y sistema de enfoque altera una distribución de potencia espacial de un haz de radiación, a través de efectos termo-ópticos, antes de que el haz se acople en una fibra óptica o se suministre a una pieza de trabajo.

10 El documento JP 2001 038485 da a conocer un método y dispositivo para el procesamiento por láser en los que un haz de láser se refleja mediante un espejo de curvatura variable en un cabezal de procesamiento por láser de modo que aplique el procesamiento a una pieza de trabajo cambiando la curvatura de una cara de reflexión del espejo de curvatura variable en un valor de curvatura establecido previamente según el grosor del trabajo W.

15 El documento US 2001/040743 da a conocer un espejo de curvatura deformable capaz de la deformación controlada aplicando tensiones eléctricas a segmentos de electrodo en la parte detrás del espejo.

El objeto de la presente invención es proporcionar un método de procesamiento por láser con un rendimiento mejorado en lo que respecta a la velocidad de operación, calidad de los resultados y rentabilidad del proceso.

20 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un método de procesamiento por láser controlable en tiempo real, para obtener resultados de procesamiento precisos en todas las condiciones operativas, alcanzables sin incrementar el tamaño de las máquinas existentes.

25 Según la presente invención, estos objetos se logran mediante un método de procesamiento por láser de un material metálico según la reivindicación 1. Las realizaciones particulares son el objeto de las reivindicaciones dependientes, cuyo contenido se entenderá como parte integral de la presente descripción.

Un objeto adicional de la invención es una máquina para el procesamiento por láser de un material metálico y un programa informático, tal como se define en las reivindicaciones 7 y 8 respectivamente.

30 En resumen, la presente invención se fundamenta en la consideración de que una ruptura de la simetría rotacional del rayo láser y del ensamble de flujo de gas auxiliar, es decir, un alejamiento de la condición de coincidencia entre los ejes de propagación de la radiación láser y el eje de emanación del flujo de gas auxiliar, puede permitir obtener mejores beneficios en lo que respecta a la velocidad, calidad y rentabilidad que el proceso de trabajo con el mismo rendimiento.

35 Específicamente, en el procesamiento con cinemática basada en ejes de comando paralelos, distribuidos en un sistema de movimiento que consiste en ejes "lentos", es decir, ejes grandes y pesados para macrodesplazamientos, y ejes "rápidos", es decir, ejes pequeños y ligeros para microdesplazamientos, la presente invención aprovecha la posibilidad de romper la simetría rotacional del rayo láser y ensamble de flujo de gas auxiliar para construir una cinemática de control innovadora, en donde la función de los ejes "lentos" se asigna a los ejes de traslación convencionales del cabezal de trabajo y con ello se combina el control de colocación del rayo láser con respecto al eje de salida del flujo de gas auxiliar, correlacionado rígidamente con el eje del cabezal de trabajo, al cual se asigna la función de "ejes" "rápidos".

45 Según la invención, la aplicación de las consideraciones mencionadas anteriormente a los sistemas de la técnica anterior se logra al implementar un control eficiente de la posición del eje óptico del rayo láser de procesamiento con relación al eje de simetría del flujo de gas auxiliar por medios de control de la forma del rayo láser en tiempo real, es decir, por medio de una modificación de la distribución de potencia transversal del haz, lo que conserva sustancialmente la forma y el diámetro efectivo del haz.

50 La presente invención se basa en el principio del uso de un sistema óptico con deformación controlada conocida en sí en aplicaciones científicas para el procesamiento de señales ópticas (por tanto, de radiación óptica de baja potencia) para conformar un rayo láser de alta potencia para aplicaciones industriales.

55 La aplicación de un sistema óptico de deformación controlada en un sistema de transporte óptico de rayo láser permite ampliar la gama de conformación del rayo láser que puede obtenerse de una manera rápidamente modificable para expandirse, y regular con extrema precisión la posición mutua entre el eje de propagación de la radiación láser y el eje de emanación del gas auxiliar y, por consiguiente, mejorar el rendimiento en los procesos de mecanizado o implementar procesos de mecanizado innovadores.

60 De manera ventajosa, el método de la invención permite controlar la posición del eje óptico del rayo láser, según una relación espacial predeterminada con el eje del flujo de gas auxiliar, que no es necesariamente una posición coaxialmente alineada, con un rápido tiempo de ajuste, a fin de que el control de posición pueda implementarse en tiempo real durante un proceso de trabajo, de tal manera que controle la posición mutua deseada entre el eje óptico del rayo láser y el eje del flujo de gas auxiliar a lo largo de la trayectoria de trabajo en el material, en particular cuando la trayectoria de trabajo predeterminada en el material cambia de una primera a una segunda

dirección de trabajo.

De manera aún más ventajosa, el método de la invención permite establecer automáticamente una estrategia de colocación recíproca variable entre el eje óptico del rayo láser y el eje del flujo de gas auxiliar durante un proceso de trabajo, por ejemplo, en función de la posición espacial del área de trabajo en el material a lo largo de una trayectoria de trabajo predeterminada, y para dirigir instantáneamente y con precisión óptima la posición del eje óptico del rayo láser a una distancia predeterminada a partir del eje del flujo de gas auxiliar, y en una dirección angular predeterminada con respecto a la dirección actual de la trayectoria de movimiento (la dirección de avance del flujo de gas), lo que evita así la necesidad de un movimiento mecánico fino del cabezal de trabajo o del material.

El control de la posición mutua entre el eje de propagación de la radiación láser y el eje de emanación de gas auxiliar se implementa, según la invención, por medio de un control de la distribución de potencia transversal del haz en un área del plano de trabajo sobre el material metálico, en una inmediatez predeterminada del eje de flujo de gas auxiliar que define un área de suministro del flujo. El área de suministro del flujo de gas auxiliar (que representa el campo de acción volumétrico del método de control de la invención) es identificable como el "volumen afectado" de la tobera de un cabezal de trabajo (una tobera que típicamente tiene una boca cuyo diámetro se encuentra entre 1 mm y 3,5 mm, y las dimensiones que son típicas de un cono truncado con una altura de 6 mm a 20 mm, una base más pequeña (en la tobera) de diámetro igual al diámetro de boca incrementada de 1 a 3 mm, y una base más grande cuya dimensión característica es una función de la altura del volumen troncocónico y del ángulo de inclinación de la línea de generación, típicamente de entre 15 y 30 grados). Convenientemente, el volumen de la tobera es lo más pequeño posible, y tiene el aspecto más delgado posible, de modo que también puede operarse dentro de concavidades de las superficies a procesarse.

De manera ventajosa, el control automático, realizado por el método de la invención, puede realizarse en tiempo real con frecuencias operativas de entre 100 Hz y 10 kHz.

Por lo tanto, en virtud del método de la invención, es posible controlar, durante el procesamiento, el movimiento de los ejes "rápidos" dentro del área de suministro del flujo de gas auxiliar, es decir, con un desplazamiento máximo igual al diámetro del área de suministro del flujo de gas auxiliar, para superponer un movimiento con componentes de alta dinámica en un movimiento lentamente variable, y posiblemente para compensar los movimientos mecánicos con oscilaciones de rendimiento y ficticias en el orden de la magnitud del diámetro del área de suministro del flujo de gas auxiliar.

Un sistema de control, adaptado para llevar a cabo el método de la invención, se distingue de manera favorable de los sistemas de la técnica anterior, dado que puede integrarse en un cabezal de trabajo, es decir, es independiente de la generación del rayo láser y desde su transporte al cabezal de trabajo.

Más aun, el método de la invención permite que la posición del eje óptico de propagación del rayo láser se controle efectivamente en tiempo real en función de la localización del haz a lo largo de una trayectoria de trabajo, con lo cual es posible modificar la posición mutua entre el eje óptico de propagación del rayo láser y el eje del flujo de gas auxiliar de manera oportuna, lo que depende de las condiciones de trabajo programadas que ocurren en posiciones predeterminadas a lo largo de la trayectoria de trabajo. Las condiciones de procesamiento programadas incluyen, a modo de ejemplo ilustrativo y no limitante, la posición de trabajo actual (o, más generalmente, el área del plano de trabajo actual) a lo largo de una trayectoria de trabajo predeterminada y/o la dirección actual de la trayectoria de trabajo en el material y/o la dirección de traslación del eje del flujo de gas auxiliar.

Otras características y ventajas de la invención se describirán con mayor detalle en la siguiente descripción detallada de una realización de la misma, ofrecida a modo de ejemplo no limitante, con referencia a los dibujos adjuntos, en donde:

Las figuras 1 y 2 son ejemplos de máquinas para el procesamiento por láser, según la técnica anterior;

La figura 3 muestra un ejemplo de la estructura de un cabezal de trabajo de una máquina láser, según la técnica anterior;

Las figuras 4 y 5 muestran una representación esquemática de la forma de un rayo láser para aplicaciones de procesamiento industrial de materiales metálicos, según la técnica anterior;

La figura 6 es un diagrama esquemático de una trayectoria óptica de un rayo láser en un cabezal de trabajo, adaptado para llevar a cabo el método de la invención;

La figura 7 es una representación esquemática de un elemento reflector de superficie controlada para la conformación del haz óptico, para la implementación del método de la invención;

La figura 8 es un diagrama de bloques de la electrónica de control de una máquina de procesamiento por láser, adaptada para llevar a cabo un método de procesamiento, según la invención; y

5 Las figuras 9a a 9e son representaciones esquemáticas de un ejemplo de trabajo según el método de la presente invención.

Las figuras 1 a 5 se han descrito previamente con referencia a la técnica anterior y se hace referencia a su contenido como común a la fabricación de una máquina de procesamiento controlada para llevar a cabo un proceso de trabajo, según las enseñanzas de la presente invención.

10 Una trayectoria óptica de un rayo láser en el cabezal de trabajo de una máquina para el procesamiento por láser de materiales metálicos según la invención, se esquematiza en la figura 6.

15 El sistema óptico de la figura 6 comprende un dispositivo 100 de entrada de un rayo B láser, tal como, por ejemplo, el extremo de un cable de fibra óptica o un sistema de captación óptica de un haz propagado por una fuente de emisión a lo largo de una trayectoria óptica en el espacio libre, a partir de la cual emerge el rayo B láser con una divergencia predeterminada.

20 Aguas abajo del dispositivo 100 de entrada, se dispone un sistema 120 de colimación óptica, por ejemplo, una lente de colimación (típicamente una lente de colimación para un cabezal de trabajo de una máquina de corte por láser tiene una longitud focal de 50 mm a 150 mm), aguas abajo de la cual el rayo láser colimado se conduce a un sistema 140 de enfoque óptico, por ejemplo, una lente de enfoque (típicamente una lente de enfoque para un cabezal de trabajo de una máquina de corte por láser tiene una longitud focal de 100 mm a 250 mm), dispuesta para enfocar el haz en un plano de trabajo  $\pi$  a través de una pantalla 160 o vidrio protector.

25 En la trayectoria óptica entre el sistema 120 de colimación óptica y el sistema 140 de enfoque óptico, se interponen los medios de conformación de haces 180 ópticos.

30 En particular, con referencia a la esquematización de la trayectoria óptica de un rayo láser mostrado en la figura 6, la presente invención se relaciona con la fabricación de los medios 180 ópticos para conformar el rayo láser, y con el control de los medios para lograr una distribución de potencia transversal del rayo láser de forma controlada en un plano de trabajo predeterminado del material. En la figura, los medios 180 ópticos, para conformar el rayo láser, se muestran en una realización ilustrativa en donde se disponen con su propio eje de simetría a 45° con respecto a la dirección de propagación del haz.

35 Para este fin, los medios 180 ópticos para conformar el rayo láser se producen como un elemento 200 reflector deformable con una superficie controlada, que comprende una pluralidad de áreas de reflexión movibles de forma independiente, como se esquematiza en la figura 7, las cuales, en estado de reposo, definen una superficie reflectante que yace en un plano de reflexión de referencia. El elemento reflector de superficie 200 controlada deformable proporciona un espejo de lámina continua, cuya superficie reflectante es modificable tridimensionalmente con respecto a la superficie reflectante plana de referencia adoptada en estado de reposo. El elemento reflector de superficie 200 controlada deformable tiene una superficie reflectante con curvatura continua que incluye una pluralidad de áreas de reflexión con las que se asocia posteriormente una pluralidad correspondiente de módulos de movimiento mostrados en la figura con 200a, 200b,... y se trata apropiadamente para su uso con alta potencia óptica en virtud del uso conjunto de un recubrimiento altamente reflectante (al menos 99%) a la longitud de onda del rayo láser, y un montaje en un soporte de contacto, enfriado con agua por canalización directa. Los módulos de movimiento son integrales a la superficie reflectante de curvatura continua y son movibles de forma independiente. Las áreas de reflexión de la superficie reflectante con curvatura continua no tienen bordes entre las mismas, es decir, la superficie reflectante global tiene derivadas locales continuas en todas direcciones. El movimiento de la pluralidad de módulos 200a, 200b de movimiento incluye movimientos de traslación de las áreas de reflexión correspondientes, tales como movimientos hacia adelante o hacia atrás, con relación a la superficie reflectante plana de referencia adoptada en estado de reposo, o movimientos rotacionales de las áreas de reflexión correspondientes alrededor de un eje paralelo a la superficie reflectante plana de referencia adoptada en estado de reposo, o incluso una combinación de los mismos. Las deformaciones de la superficie reflectante, es decir, los movimientos de los módulos 200a, 200b de movimiento, de preferencia se accionan por técnicas piezoeléctricas conocidas, que hacen posible controlar el movimiento de los módulos de movimiento y la consecuente posición de las áreas de reflexión, es decir, su modificación de la posición que resulta de una combinación de movimiento por traslación y/o rotación de cada módulo en un número predeterminado de grados de libertad independientemente de los otros, típicamente en desplazamientos en el orden de +/- 40  $\mu\text{m}$ , por medio de los cuales es posible obtener aproximaciones de superficies de curvatura continua definidas por combinaciones de polinomios de Zernike, a través de lo cual es posible (al menos en teoría y con suficiente aproximación en la práctica para los fines deseados) aplicar un ajuste de la posición del eje óptico de propagación del rayo láser o, más generalmente, un control de la distribución de potencia transversal del rayo láser, según los objetos de las aplicaciones de procesamiento deseadas.

65 La figura 7 muestra una realización preferida del elemento 200 reflector con un perfil elíptico y los módulos de

movimiento posterior relacionados, adoptados para un ángulo de incidencia del rayo láser colimado de 45°, como se muestra en el diagrama de la figura 6. La realización se entenderá como puramente ilustrativa y no limitante para la implementación de la invención. En una realización preferida diferente, en donde la incidencia del rayo láser colimado es perpendicular o casi perpendicular a la superficie del elemento 200 en estado de reposo, el perfil del elemento 200 reflector es un perfil circular.

En la realización del elemento reflector con un perfil elíptico, el mismo tiene un eje mayor de 38 mm y un eje menor de 27 mm, que corresponde al tamaño máximo de abertura transversal del rayo láser incidente sobre el espejo que puede obtenerse por el sistema 120 de colimación óptica.

Específicamente, según la presente invención, dicho elemento reflector de superficie 200 controlada deformable incluye una pluralidad de áreas de reflexión movibles de forma independiente por medio de una pluralidad correspondiente de módulos de movimiento que comprenden un área central y una pluralidad de hileras de sectores de corona circular, concéntricos al área central. En la realización actualmente preferida, las hileras de sectores de corona circular concéntricos son 6 en número, los sectores de corona circular son 8 en número para cada hilera, y la altura de los sectores de corona circular se incrementa de la primera a la tercera hilera y de la cuarta a la sexta hilera en la dirección radial hacia el exterior del elemento reflector. La altura de los sectores de corona circular de la cuarta hilera es intermedia entre la altura de los sectores de corona circular de la primera y segunda hileras. De preferencia, con el fin de simplificar la estructura de control del elemento 200 reflector tal como se diseña, la pluralidad de sectores circulares que forman la corona circular periférica puede fijarse, y sólo las hileras de los sectores de corona circular interna son móviles, de tal manera que pueden emplear un número total de activadores limitado a 41.

En general, los números de hileras de sectores circulares, el número de sectores de corona circular y la altura de los sectores de corona circular, se determinan según las geometrías de superficie reflectante necesarias para obtener las distribuciones de potencia transversal deseada predeterminada del rayo láser, mediante procedimientos de simulación de las tendencias de las distribuciones de potencia transversal de un rayo láser incidente sobre el elemento reflector para un número seleccionado de áreas de reflexión. De hecho, la capacidad de deformación controlada de la superficie de reflexión del elemento 200 induce variaciones controladas de la intensidad del rayo láser en el plano focal al actuar sobre la fase del rayo láser. En la realización actualmente preferida, la deformación de la superficie del elemento 200 reflector se controla de tal manera que se determina una superficie reflectante atribuible a una combinación de polinomios de Zernike. De este modo, la distribución de la intensidad del rayo láser en el plano focal, según las variaciones de fase controladas por el movimiento de las áreas de reflexión del elemento 200 reflector, puede simularse de manera favorable al utilizar métodos de cálculo matemático.

La geometría de la subdivisión de la superficie del elemento 200 reflector, ilustrada en la figura 7 (que corresponde a la geometría de los módulos de movimiento de las áreas de reflexión) se ha determinada por los inventores a través de un proceso de simulación para obtener diferentes formas de distribución de potencia transversal con una gran libertad en la conformación del haz, incluso sin relación con la retención de la simetría rotacional del mismo. De otro modo, para aplicaciones estrictamente relacionadas con la distribución de potencia gaussiana, en donde no se requiere un cambio en la forma de la distribución de potencia, sino sólo su desplazamiento con respecto al eje óptico de propagación, es posible utilizar geometrías más simples, por ejemplo, hileras igualmente espaciadas, es decir, en donde la altura de los sectores de corona circular es constante entre todas las hileras de los sectores. Para aplicaciones en donde debe retenerse una simetría rotacional de la distribución de potencia del haz, es posible prever una pluralidad de áreas de reflexión y módulos de movimiento respectivos en forma de coronas circulares radialmente independientes.

La figura 8 muestra un diagrama de circuitos de un sistema de control electrónico de una máquina para el procesamiento por láser de materiales metálicos, para la implementación del método de la invención.

El sistema comprende los medios electrónicos de procesamiento y control mostrados en la figura colectivamente en ECU, lo que puede integrarse en una sola unidad de procesamiento en una máquina o implementarse en forma distribuida, lo que de esta manera comprende módulos de procesamiento dispuestos en diferentes partes de la máquina, incluyendo, por ejemplo, el cabezal de trabajo.

Los medios de memoria M, asociados con los medios electrónicos de procesamiento y control ECU, almacenan un patrón o programa de procesamiento predeterminado, que comprende, por ejemplo, una trayectoria de trabajo predeterminada en forma de instrucciones de movimiento para el cabezal de trabajo y/o para el material que se procesa, y parámetros de procesamiento físico que indican la distribución de potencia del haz óptico, la intensidad de potencia del haz, y los tiempos de activación del rayo láser, en función de la trayectoria de trabajo.

Los medios electrónicos de procesamiento y control ECU se disponen para acceder a los medios de memoria M para adquirir una trayectoria de trabajo y para controlar la aplicación del rayo láser de procesamiento a lo largo de la trayectoria. El control de la aplicación del rayo láser a lo largo de la trayectoria de trabajo predeterminada incluye el control del suministro de un flujo de gas auxiliar, y el control de la radiación de una distribución de



potencia predeterminada del rayo láser hacia un área de trabajo predeterminada en referencia al patrón o programa de procesamiento predeterminado, es decir, según la información de la trayectoria de trabajo y los parámetros de trabajo adquiridos de los medios de memoria.

- 5 Los medios sensores SENS se disponen en la máquina para detectar, en tiempo real, la posición mutua entre el cabezal de trabajo y el material que se procesa, así como el cambio con el paso del tiempo de la posición.

Los medios electrónicos de procesamiento y control ECU se disponen para recibir, desde los medios sensores SENS, señales indicativas de la posición mutua entre el cabezal de trabajo y el material que se procesa con el paso del tiempo, es decir, el cambio del área del plano de trabajo actual y/o de la dirección actual de la trayectoria de trabajo a lo largo del tiempo.

Los medios electrónicos de procesamiento y control ECU comprenden un primer módulo de control CM1 para controlar los parámetros mecánicos del procesamiento, dispuesto para emitir las primeras señales de comandos CMD<sub>1</sub> a un ensamble conocido de medios activadores, que comprende medios activadores para mover el cabezal de trabajo a lo largo de los grados de libertad que se le permiten mediante la realización específica de la máquina, y medios activadores para mover el material que se procesa con respecto a la posición del cabezal de trabajo, adaptado para cooperar con los medios activadores para mover el cabezal de trabajo para presentar una trayectoria de trabajo programada sobre el material que se procesa en la tobera del cabezal de trabajo. Estos medios activadores no se describen con detalle dado que se conocen en la técnica.

Los medios electrónicos de procesamiento y control ECU comprenden un segundo módulo de control CM2 para controlar los parámetros físicos del procesamiento, dispuesto para emitir segundas señales de comandos CMD<sub>2</sub> para medios de suministro de flujo de gas auxiliar y medios de control para generar y transmitir el rayo láser.

Los medios electrónicos de procesamiento y control ECU comprenden un tercer módulo de control CM3 para controlar los parámetros de procesamiento óptico, dispuesto para emitir terceras señales de comandos CMD<sub>3</sub> al elemento reflector de superficie 200 controlada deformable de los medios de conformación de haz óptico para la implementación de los módulos de movimiento de las áreas de reflexión móviles de forma independiente del elemento, es decir, para controlar su desplazamiento espacial mutuo (traslación a lo largo del eje óptico del elemento reflector o la inclinación con respecto al mismo). Las señales de comandos CMD<sub>3</sub> se procesan por medio de un programa informático que comprende uno o más módulos de códigos que tienen instrucciones de un modelo o programa de regulación, para la implementación del método de la invención según la conformación predeterminada del rayo láser a obtenerse, es decir, para establecer una distribución de potencia transversal predeterminada del rayo láser y, en consecuencia, una posición predeterminada del eje óptico de propagación del rayo láser, en función de las condiciones de procesamiento instantáneas a lo largo de un eje óptico de propagación incidente sobre el material en un área de por lo menos un plano de trabajo del material metálico, con el plano de trabajo del material como el plano de superficie del material o un plano que varía en profundidad en el grosor del material, por ejemplo, para el corte o perforación de materiales gruesos, es decir, típicamente con grosores mayores a 1,5 veces la longitud de Rayleigh del haz enfocado (en el caso típico, grosores de entre 0,5 mm y 4 mm). Las señales de comandos CMD<sub>3</sub> mencionadas anteriormente también se procesan por el programa informático para establecer la distribución de potencia transversal predeterminada del rayo láser en una intermediación predeterminada del eje del flujo de gas auxiliar y dentro de un área de suministro del flujo según las condiciones de trabajo instantáneas, es decir, el área del plano de trabajo actual y/o la dirección actual de la trayectoria de trabajo en el material metálico.

Por lo tanto, los medios electrónicos de procesamiento y control ECU se disponen para detectar la posición actual y/o la dirección de traslación actual del eje del flujo de gas auxiliar para controlar la traslación relativa del eje del flujo de gas auxiliar a lo largo de una trayectoria de trabajo predeterminada en el material metálico, y para ajustar automáticamente la posición del eje óptico de propagación del rayo láser o la distribución de potencia transversal del rayo láser, según la posición actual y/o la dirección actual detectada de la traslación del eje del flujo de gas auxiliar.

La posición del eje óptico de propagación del rayo láser se rige al controlar los módulos de movimiento de las áreas de reflexión con el fin de llevar a cabo movimientos de inclinación general predeterminados del elemento reflector en su conjunto con respecto al estado de reposo respectivo, lo que determina la traslación espacial del punto del rayo láser sobre el material que se procesa.

Según la presente invención, cuando la trayectoria de trabajo predeterminada en el material varía de una primera a una segunda dirección de trabajo, la traslación relacionada del eje del flujo de gas auxiliar se controla según direcciones intermedias a lo largo de una curva de ajuste predeterminada entre la primera y segunda dirección de trabajo, en donde la curva de ajuste tiene una distancia desde la trayectoria de trabajo predeterminada no mayor que el diámetro del área de suministro de dicho flujo. Además, según la presente invención, al mismo tiempo, se detecta la posición actual del eje del flujo de gas auxiliar, y se regula la posición del eje óptico de propagación del rayo láser en función de la posición actual del eje del flujo de gas auxiliar, con el fin de mantener el eje óptico de propagación del rayo láser dirigido a lo largo de la trayectoria de trabajo predeterminada

anteriormente mencionada.

Según la presente invención, la posición del eje óptico de propagación del rayo láser se ajusta de modo que siga una trayectoria excéntrica circular en relación con la posición actual del eje del flujo de gas auxiliar durante una  
5 operación de perforación del material metálico.

Las figuras 9a a 9e muestran un ejemplo de procesamiento según el método de la presente invención.

En las figuras se indica una trayectoria de trabajo programada en T. La trayectoria de trabajo incluye un perfil de  
10 corte que comprende, puramente a modo de ejemplo, dos líneas rectas T1 y T2, que forman un ángulo recto entre ellas y se reúnen en un punto angular A, donde la trayectoria cambia súbitamente de dirección.

En algunas posiciones ilustrativas del cabezal de trabajo a lo largo de la trayectoria mencionada anteriormente, las áreas de suministro del flujo de gas auxiliar sobre el material que se procesa (cuyo baricentro se indica en N)  
15 se indican en G1 a G4, y los puntos de incidencia del rayo láser sobre el material que se procesa, circunscritos alrededor de las posiciones del eje óptico del rayo láser, en S1 a S4. Debe observarse que, típicamente, para operaciones de corte y/o perforación en acero al carbono, acero inoxidable, aluminio, cobre y latón con grosores de 0,5 a 4 mm, el tamaño típico del área de suministro del flujo de gas auxiliar varía de 1 mm a 3,5 mm y el punto de incidencia del rayo láser varía de 0,05 mm a 0,25 mm.  
20

Para algunas posiciones o áreas de trabajo a lo largo de la trayectoria de trabajo, representan, a modo de ejemplo, el área de suministro correspondiente del flujo de gas auxiliar sobre el material que se procesa (circular, en la realización más común de una tobera circular) y un punto de incidencia del rayo láser (que también se representa a modo de ejemplo por una forma circular, en el caso común de distribución de potencia transversal de una forma gaussiana). Las flechas cerca de la trayectoria de trabajo indican la dirección de avance del borde frontal del corte, lo que corresponde a la dirección de movimiento del cabezal de trabajo en el material. En el caso del movimiento del material con respecto al cabezal de corte, la dirección de movimiento del material se opone naturalmente a la indicada por las flechas.  
25

G1 indica una primera área de suministro del flujo de gas auxiliar en una sección de avance de rayo láser a lo largo de un primer segmento T1 de una línea de corte que sigue una trayectoria predeterminada T. En esta área de trabajo, la posición del eje óptico de propagación (de la distribución de potencia) del rayo láser se ajusta de manera que el punto S1 de incidencia del haz sobre el plano de trabajo se sitúe sustancialmente coincidente con la posición actual del eje del flujo de gas auxiliar, que corresponde al baricentro del área G1.  
30

G2 indica una segunda área de suministro del flujo de gas auxiliar en una sección de avance de rayo láser a lo largo del segmento T1 de la línea de corte de la trayectoria T.  
35

En esta área de trabajo, la posición del eje del flujo de gas auxiliar sigue una trayectoria de ajuste R sin discontinuidad entre los segmentos T1 y T2, mientras la posición del eje óptico de propagación (de la distribución de potencia) del rayo láser se ajusta de manera que el punto S2 de incidencia del haz en el plano de trabajo se mantenga en la trayectoria de trabajo T, con lo cual se encuentra a una distancia radial predeterminada de la posición actual del eje del flujo de gas auxiliar (y en una dirección angular predeterminada correspondiente en un sistema de referencia del cabezal de trabajo).  
40

G3 indica una tercera área de suministro del flujo de gas auxiliar en una porción donde el rayo láser alcanza el punto angular de la variación de la dirección de procesamiento del segmento T1 al segmento T2 de la línea de corte de la trayectoria T.  
45

En esta área de trabajo, la posición del eje del flujo de gas auxiliar sigue la trayectoria de ajuste R entre los segmentos T1 y T2, mientras la posición del eje óptico de propagación (de la distribución de potencia) del rayo láser se ajusta de manera que el punto de incidencia S3 del haz en el plano de trabajo se mantenga en la trayectoria de trabajo T, con lo cual está a la máxima distancia radial desde la posición actual del eje del flujo de gas auxiliar (y en una dirección angular predeterminada correspondiente en un sistema de referencia del cabezal de trabajo).  
50

Como puede observarse a partir de la figura, la distancia máxima entre el punto de incidencia del rayo láser y la posición del eje del flujo de gas auxiliar, sin embargo, es inferior al radio del área de suministro del gas auxiliar.  
55

Finalmente, G4 indica una cuarta área de suministro del flujo de gas auxiliar en una sección de avance de rayo láser a lo largo del segmento T2 de la línea de corte de la trayectoria T.  
60

En esta área de trabajo, la posición del eje del flujo de gas auxiliar aún se encuentra a lo largo de la trayectoria de ajuste R entre los segmentos T1 y T2, mientras se ajusta la posición del eje óptico de propagación (de la distribución de potencia) del rayo láser, a fin de que el punto de incidencia S4 del haz sobre el plano de trabajo se mantenga en la trayectoria de trabajo T, con lo cual se encuentra a una distancia radial predeterminada de la  
65

posición actual del eje del flujo de gas auxiliar (y en una dirección angular predeterminada correspondiente en un sistema de referencia del cabezal de trabajo).

5 Como puede observarse a partir de la figura, la distancia entre el punto de incidencia del rayo láser y la posición del eje del flujo de gas auxiliar se reduce en vista del realineamiento del eje del flujo de gas auxiliar a la trayectoria T.

10 Aunque la figura muestra el caso donde, en la separación del punto de incidencia del rayo láser del baricentro del área de suministro del flujo de gas y en la reunión del punto de incidencia del rayo láser con el baricentro del área de suministro del flujo de gas, ambos son coincidentes, y también es posible que en una o ambas posiciones operativas antes mencionadas, el punto de incidencia del rayo láser se encuentre en una posición de avance o de retraso con respecto al baricentro del área de suministro del flujo de gas, lo que depende del rendimiento requerido en el proceso de trabajo.

15 Como se muestra en las figuras 9a a 9d, que representan las trayectorias absolutas del área de suministro del gas auxiliar y del punto láser) y en la figura 9e (que representa el área de suministro del gas auxiliar en un sistema de referencia del cabezal de trabajo y la trayectoria relativa P del punto láser dentro de la misma, la posición mutua entre el eje de propagación de la radiación láser y del eje de suministro del flujo de gas auxiliar se controla durante el proceso en tiempo real (en cuanto a distancia radial y dirección angular) para permitir la búsqueda de una trayectoria de trabajo predeterminada que requiera variaciones súbitas en dirección o velocidad, mientras el movimiento del cabezal de trabajo se controla a lo largo de una trayectoria de conexión que no muestra variaciones súbitas en la dirección, con lo cual no es necesaria una dinámica elevada del sistema de movimiento mecánico del cabezal.

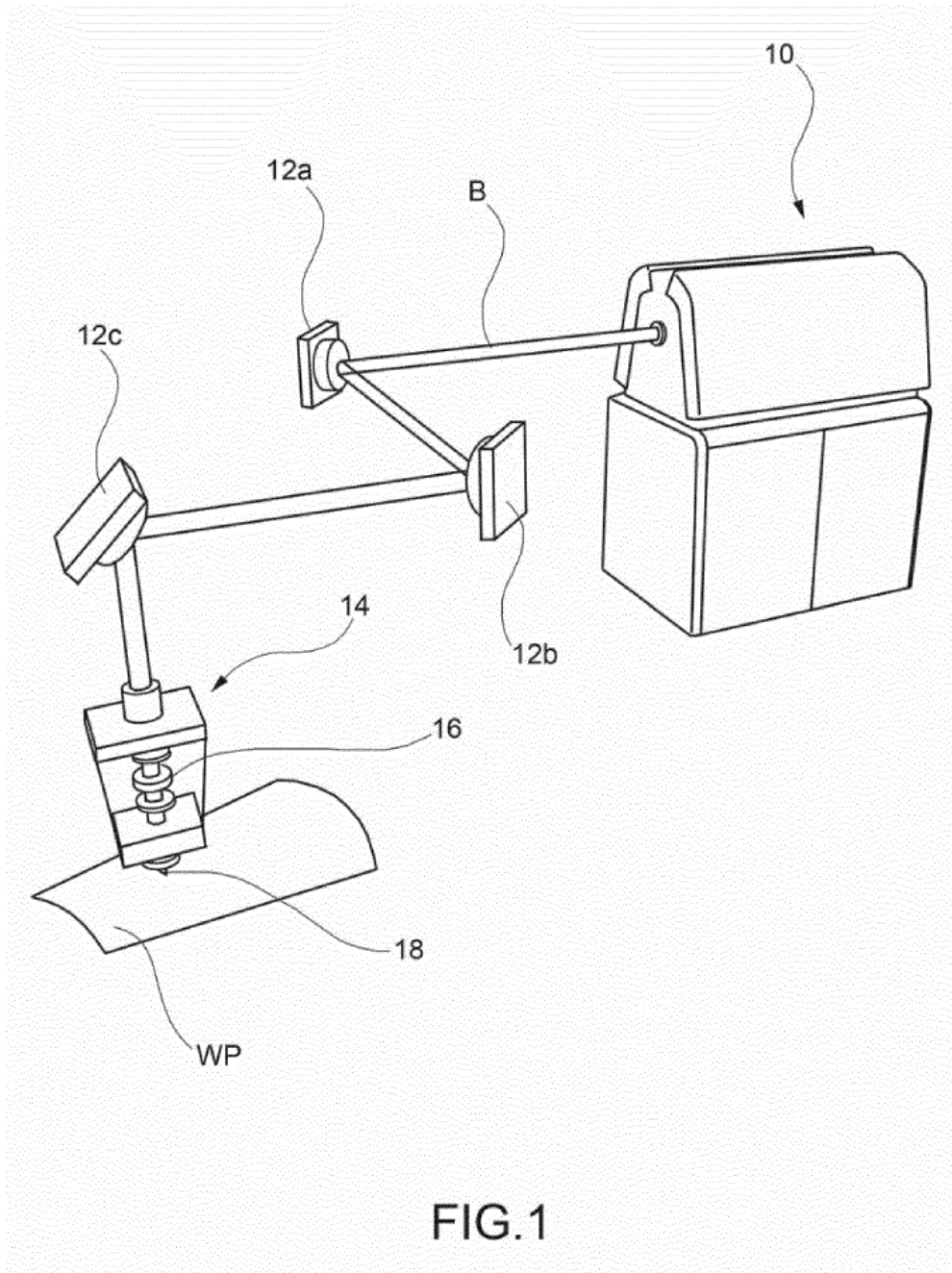
20  
25 Naturalmente, sin alterar el principio de la invención, las realizaciones y los detalles de implementación pueden variar ampliamente con respecto a lo que se describe e ilustra únicamente a modo de ejemplo no limitante, sin apartarse, de ese modo, del alcance de protección de la invención definida por las reivindicaciones adjuntas.

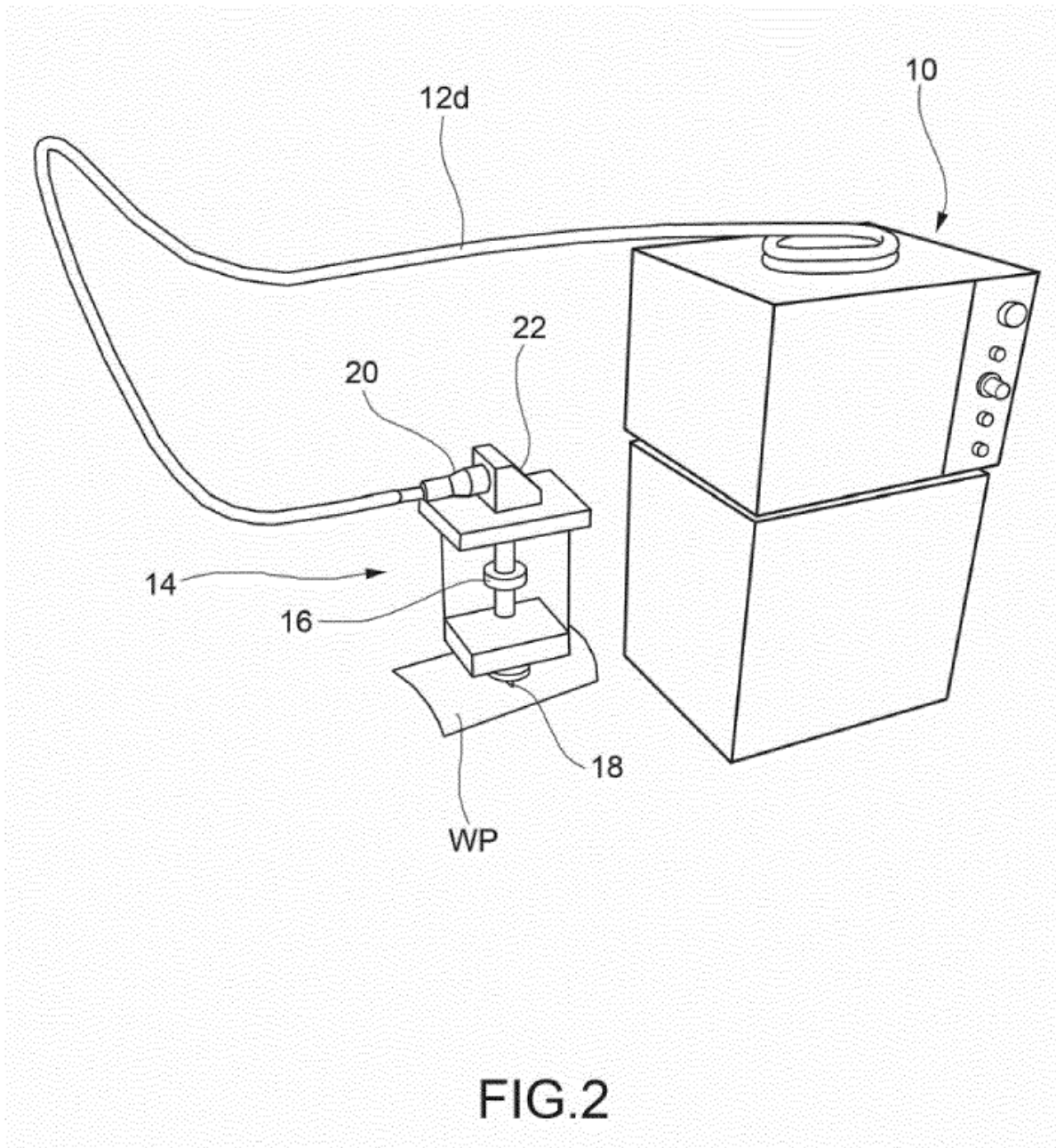
**REIVINDICACIONES**

1. Método de procesamiento por láser de un material (WP) metálico, en particular para el corte, perforación o soldadura por láser de dicho material, por medio de un rayo (B) láser enfocado que tiene una distribución de potencia transversal predeterminada en al menos un plano ( $\pi$ ) de trabajo del material (WP) metálico, que comprende las etapas de:
- proporcionar una fuente (10) de emisión de rayo láser;
  - conducir el rayo (B) láser emitido por dicha fuente (10) de emisión a lo largo de una trayectoria óptica de transporte de haz a un cabezal (14) de trabajo dispuesto cerca de dicho material (WP) metálico;
  - colimar el rayo (B) láser a lo largo de un eje óptico de propagación incidente sobre el material (WP) metálico;
  - enfocar dicho rayo (B) láser colimado en un área de un plano ( $\pi$ ) de trabajo de dicho material (WP) metálico; y
  - conducir el rayo (B) láser enfocado a lo largo de una trayectoria de trabajo en el material (WP) metálico, que comprende una sucesión de áreas (T1, T2) de trabajo, comprendiendo el método conformar el rayo (B) láser, en el que la conformación del rayo (B) láser comprende:
    - reflejar dicho haz (B) colimado por medio de un elemento (200) reflector de superficie controlada deformable que tiene una superficie reflectante con una curvatura continua que incluye una pluralidad de áreas (200a-200r) de reflexión móviles independientemente, y
    - controlar la disposición de dichas áreas (200a-200r) de reflexión para establecer una distribución de potencia transversal predeterminada del haz (B) en al menos un plano ( $\pi$ ) de trabajo del material (WP) metálico en función del área del plano ( $\pi$ ) de trabajo actual y/o la dirección actual de la trayectoria (T) de trabajo en el material (WP) metálico, caracterizado porque el método comprende además las etapas de:
      - suministrar un flujo de gas auxiliar hacia dicha área del plano ( $\pi$ ) de trabajo del material (WP) metálico a lo largo de un eje del flujo de gas auxiliar,
      - cuando la trayectoria (T) de trabajo predeterminada en el material (WP) metálico varía de una primera a una segunda dirección (T1; T2) de trabajo, controlar la traslación relativa de dicho eje del flujo de gas auxiliar según direcciones intermedias a lo largo de una curva (R) de ajuste predeterminada entre la primera y segunda dirección (T1; T2) de trabajo, en donde dicha curva (R) de ajuste tiene una distancia desde la trayectoria (T) de trabajo predeterminada no mayor que el radio del área (G1, G2, G3, G4) de suministro de dicho flujo;
      - detectar la posición actual del eje del flujo de gas auxiliar; y
      - ajustar automáticamente la posición del eje óptico de propagación del rayo (B) láser en función de la posición actual detectada y/o de la dirección de traslación actual detectada del eje del flujo de gas auxiliar, con el fin de mantener el eje óptico de propagación del rayo (B) láser dirigido a lo largo de dicha trayectoria (T) de trabajo predeterminada,
- en el que la disposición de dichas áreas (200a-200r) de reflexión se controla para establecer dicha posición del eje óptico de propagación del rayo (B) láser en un área del plano ( $\pi$ ) de trabajo en el material (WP) metálico comprendida en una inmediatez predeterminada alrededor del eje del flujo de gas auxiliar y dentro de un área (G1, G2, G3, G4) de suministro de dicho flujo.
2. Método según la reivindicación 1, en el que el control de la disposición de dichas áreas (200a-200r) de reflexión del elemento (200) reflector de superficie controlada comprende controlar una combinación de movimientos de dichas áreas (200a-200r) con respecto a una superficie plana de reflexión de referencia.
3. Método según la reivindicación 2, en el que el control de una combinación de movimientos de dichas áreas (200a-200r) de reflexión del elemento (200) reflector de superficie controlada comprende controlar el movimiento de traslación de dichas áreas (200a-200r) a lo largo del eje óptico del elemento (200) reflector y/o la rotación de dichas áreas (200a-200r) para obtener una inclinación con respecto al eje óptico del elemento (200) reflector.

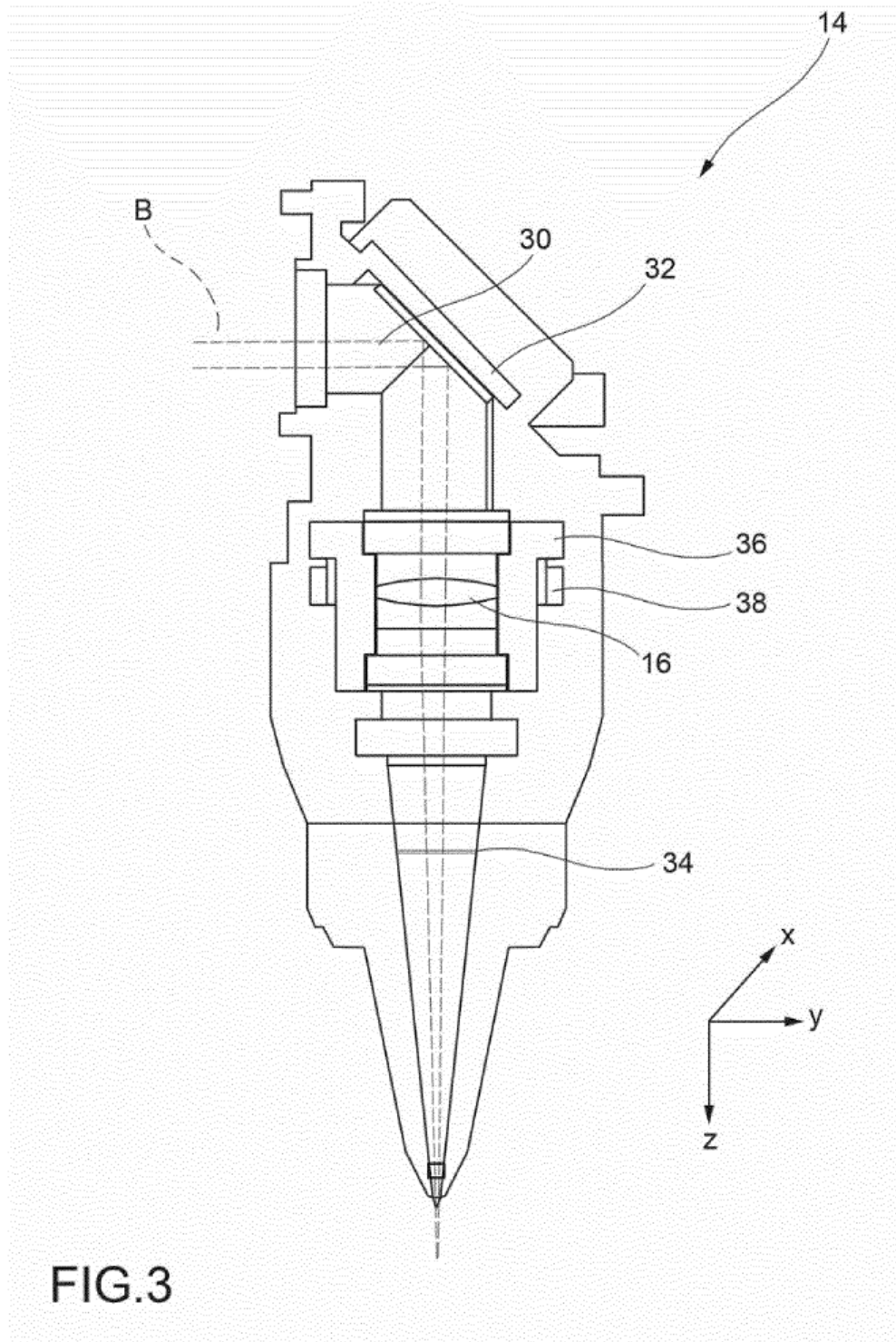
4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el ajuste automático de la posición del eje óptico de propagación del rayo (B) láser, en función de la posición actual detectada y/o de la dirección de traslación actual detectada del eje del flujo de gas auxiliar, se realiza por la referencia a un patrón o programa de ajuste predeterminado.
- 5
5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende proporcionar un elemento (200) reflector de superficie controlada deformable que tiene una superficie reflectante con una curvatura continua que incluye una pluralidad de áreas (200a-200r) de reflexión móviles independientemente por medio de una pluralidad correspondiente de módulos de movimiento que incluyen un área central y una pluralidad de hileras de sectores de corona circular, concéntricos a dicha área central.
- 10
6. Método según la reivindicación 5, en el que dichas hileras de sectores de corona circular concéntricos son 6 en número, los sectores de corona circular son 8 en número para cada hilera, y la altura de los sectores de corona circular se incrementa de la primera a la tercera hilera y de la cuarta a la sexta hilera en la dirección radial hacia el exterior del elemento reflector, y la altura de los sectores de corona circular de la cuarta hilera es intermedia entre la altura de los sectores de corona circular de la primera y segunda hilera.
- 15
7. Máquina para procesamiento por láser de un material metálico, en particular para el corte, perforación o soldadura por láser de dicho material, por medio de un rayo (B) láser enfocado que tiene una distribución de potencia transversal predeterminada en al menos un plano ( $\pi$ ) de trabajo del material (WP) metálico, que comprende:
- 20
- una fuente (10) de emisión de rayo (B) láser;
  - medios (12a, 12b, 12c; 12d) para conducir el rayo (B) láser emitido por dicha fuente (10) de emisión a lo largo de una trayectoria óptica de transporte de haz a un cabezal (14) de trabajo dispuesto cerca de dicho material (WP) metálico;
  - medios (120) ópticos para colimar el rayo (B) láser a lo largo de un eje óptico de propagación incidente sobre el material (WP) metálico;
  - medios (16; 140) ópticos para enfocar dicho rayo (B) láser colimado en un área de un plano ( $\pi$ ) de trabajo de dicho material (WP) metálico,
- 25
- en la que al menos dichos medios (16; 140) ópticos de enfoque de dicho rayo (B) láser colimado se llevan por dicho cabezal (14) de trabajo a una distancia controlada de dicho material (WP) metálico;
- 30
- medios para ajustar la posición mutua entre el cabezal (14) de trabajo y dicho material (WP) metálico, adaptados para conducir el rayo (B) láser enfocado a lo largo de una trayectoria (T) de trabajo en el material (WP) metálico, que comprende una sucesión de áreas (T1, T2) de trabajo,
  - medios (180) ópticos para la conformación del rayo (B) láser, que incluyen un elemento (200) reflector de superficie controlada deformable que tiene una superficie reflectante con una curvatura continua que incluye una pluralidad de áreas (200a-200r) de reflexión móviles independientemente, adaptadas para reflejar dicho rayo (B) láser colimado, la disposición de dichas áreas (200a-200r) de reflexión estando adaptadas para establecer una distribución de potencia transversal predeterminada del haz (B) en al menos un plano (II) de trabajo del material (WP) metálico; y
- 35
- una tobera (18) para suministrar un flujo de gas auxiliar hacia el área de trabajo sobre el material (WP), y que se caracteriza por medios (ECU, CM1, CM2, CM3) electrónicos de procesamiento y control dispuestos para controlar a disposición de dichas áreas (200a-200r) de reflexión para establecer una distribución de potencia transversal predeterminada del haz (B) en al menos un plano ( $\pi$ ) de trabajo del material (WP) metálico en función del área del plano ( $\pi$ ) de trabajo actual y/o la dirección actual de la trayectoria (T) de trabajo sobre el material (WP) metálico, y dispuestos además para:
- 40
- controlar la traslación relativa del eje del flujo de gas auxiliar cuando la trayectoria (T) de trabajo predeterminada sobre el material (WP) metálico varía de una primera a una segunda dirección (T1; T2) de trabajo, según las direcciones intermedias a lo largo de una curva (R) de ajuste predeterminada entre dicha primera y segunda dirección (T1; T2) de trabajo en el que dicha curva (R) de ajuste tiene una distancia desde la trayectoria (T) de trabajo predeterminada no mayor que el radio del área (G1, G2, G3, G4) de suministro de dicho flujo;
- 45
- detectar la posición actual del eje del flujo de gas auxiliar; y
- 50
- 55
- 60
- 65

- 5 - controlar la disposición de dichas áreas (200a-200r) de reflexión para ajustar automáticamente la posición del eje óptico de propagación del rayo (B) láser en función de la posición actual detectada y/o de la dirección de traslación actual detectada del eje del flujo de gas auxiliar con el fin de mantener el eje óptico de propagación del rayo (B) láser dirigido a lo largo de dicha trayectoria (T) de trabajo predeterminada y establecer la posición del eje óptico de propagación del rayo (B) láser en un área del plano ( $\pi$ ) de trabajo sobre el material (WP) metálico comprendida en una inmediación predeterminada alrededor del eje del flujo de gas auxiliar y dentro de un área (G1, G2, G3, G4) de suministro de dicho flujo.
- 10 8. Programa informático que comprende uno o más módulos de códigos para realizar una etapa de conformación de un rayo (B) láser en un método de procesamiento por láser de un material (WP) metálico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 cuando el programa se ejecuta por medios (ECU, CM1, CM2, CM3) electrónicos de procesamiento y control de una máquina para el procesamiento por láser de un material (WP) metálico, según la reivindicación 7, caracterizado porque el programa informático comprende instrucciones, que, cuando se ejecutan por los medios (ECU, CM1, CM2, CM3) electrónicos de procesamiento y control, hace que los medios (ECU, CM1, CM2, CM3) electrónicos de procesamiento y control lleven a cabo las siguientes etapas:
- 15 - controlar la disposición de dichas áreas (200a-200r) de reflexión para establecer una distribución de potencia transversal predeterminada del haz (B) en al menos un plano ( $\pi$ ) de trabajo del material (WP) metálico en función del área del plano ( $\pi$ ) de trabajo actual y/o la dirección actual de la trayectoria (T) de trabajo en el material (WP) metálico, controlar la disposición de dichas áreas (200a-200r) de reflexión para ajustar automáticamente la posición del eje óptico de propagación del rayo (B) láser en función de la posición actual y/o de la dirección de traslación actual del eje de un flujo de gas auxiliar con el fin de mantener el eje óptico de propagación del rayo (B) láser dirigido a lo largo de dicha trayectoria (T) de trabajo predeterminada,
- 20 controlar el establecimiento de la posición del eje óptico de propagación del rayo (B) láser en un área del plano ( $\pi$ ) de trabajo en el material (WP) metálico comprendida en una inmediación predeterminada alrededor del eje del flujo de gas auxiliar y dentro de un área (G1, G2, G3, G4) de suministro de dicho flujo,
- 25 y controlar el eje del flujo de gas auxiliar en traslación cuando la trayectoria (T) de trabajo predeterminada en el material (WP) metálico varía de una primera a una segunda dirección (T1; T2) de trabajo, según direcciones intermedias a lo largo de una curva (R) de ajuste predeterminada entre dicha primera y segunda dirección (T1; T2) de trabajo, en donde dicha curva (R) de ajuste tiene una distancia desde la trayectoria (T) de trabajo predeterminada no mayor que el radio del área (G1, G2, G3, G4) de suministro de dicho flujo.
- 30
- 35
- 40









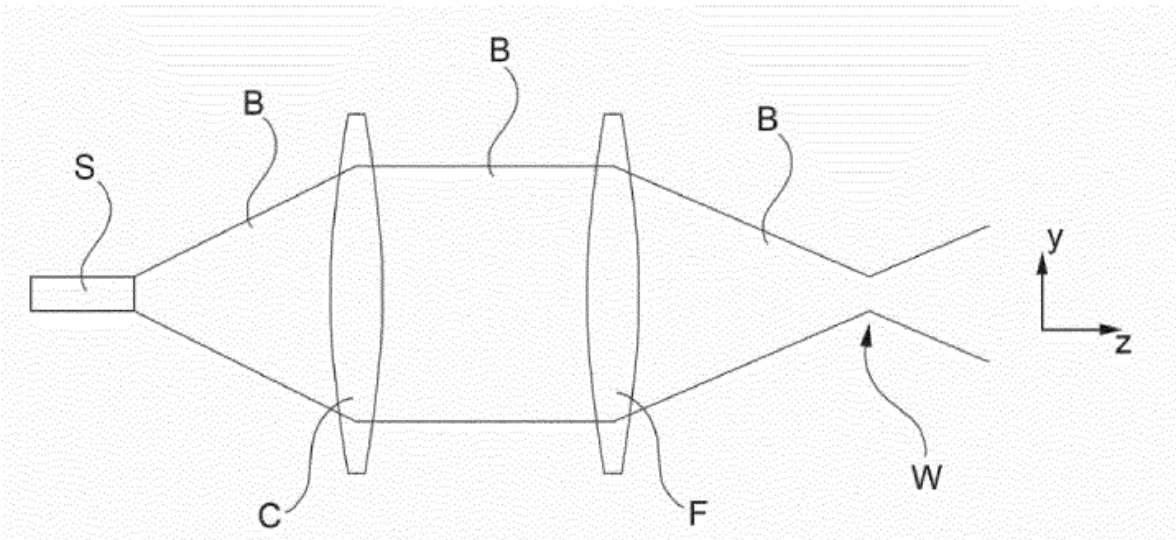


FIG.4

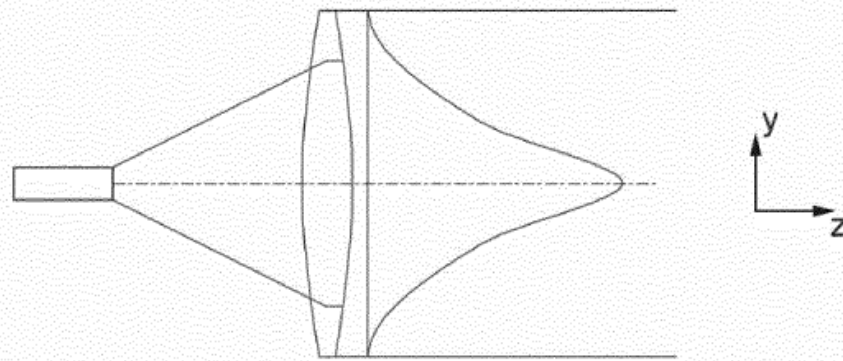


FIG.5

FIG.6

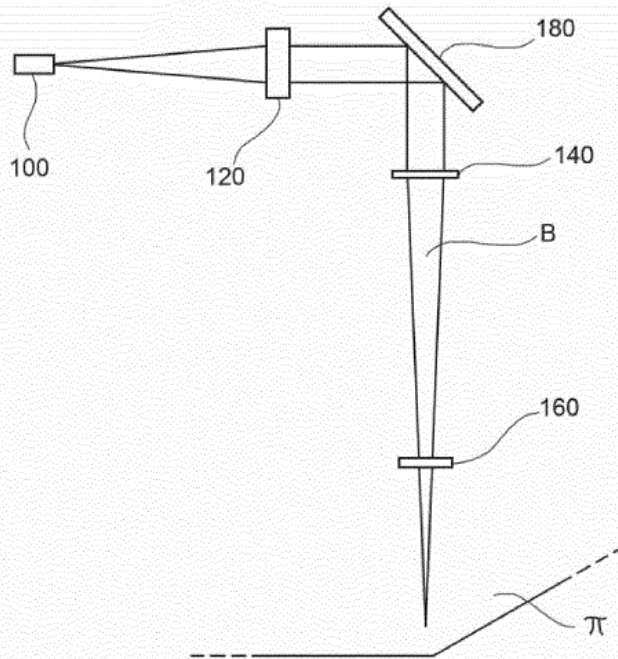
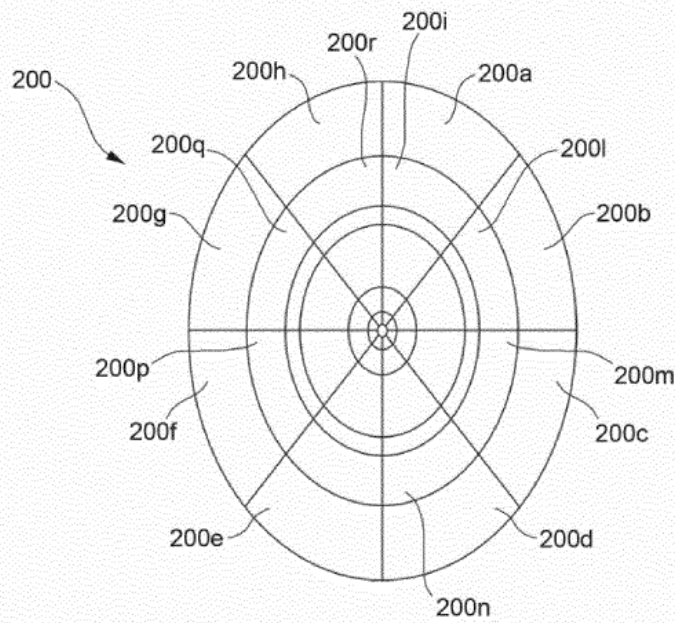
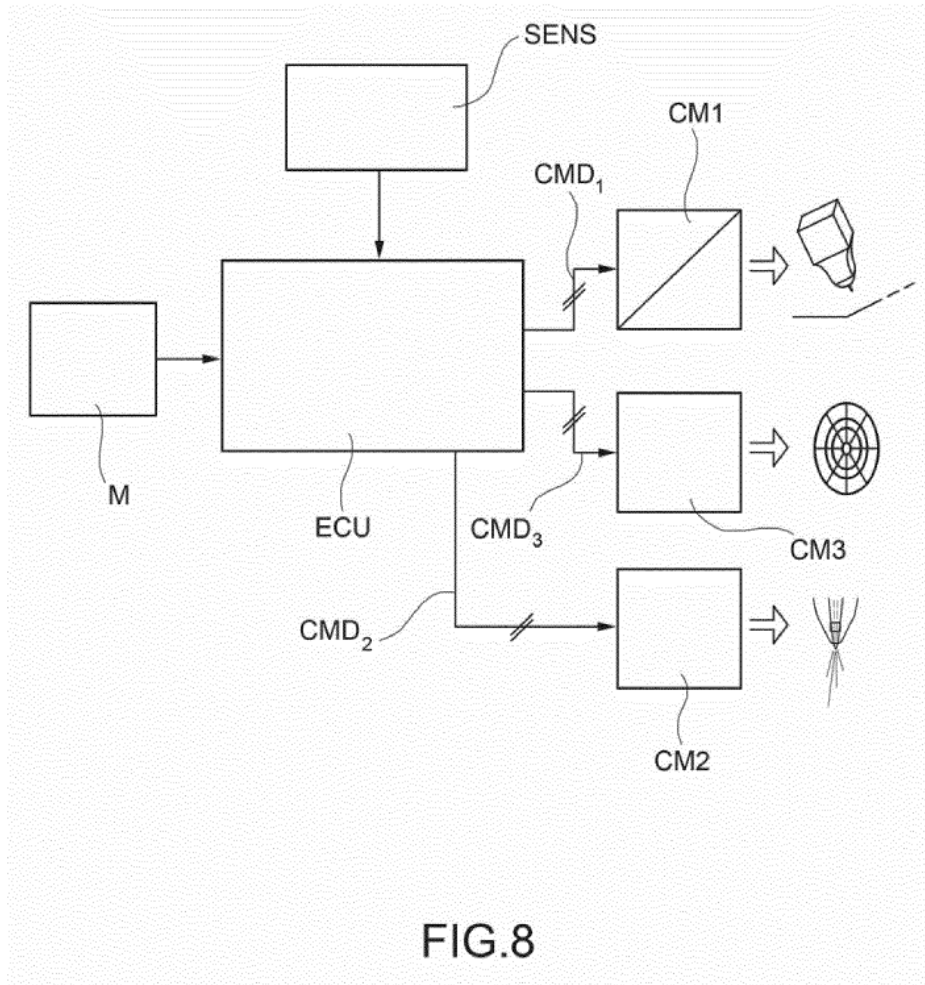


FIG.7





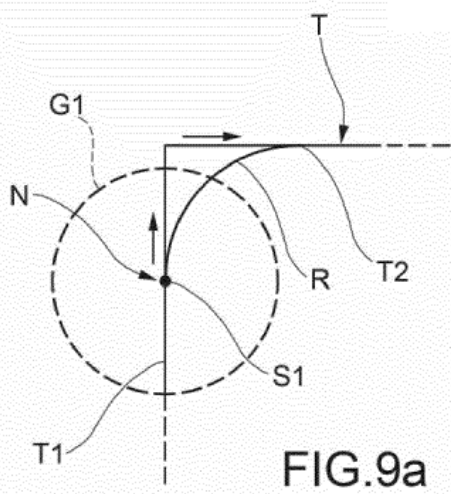


FIG. 9a

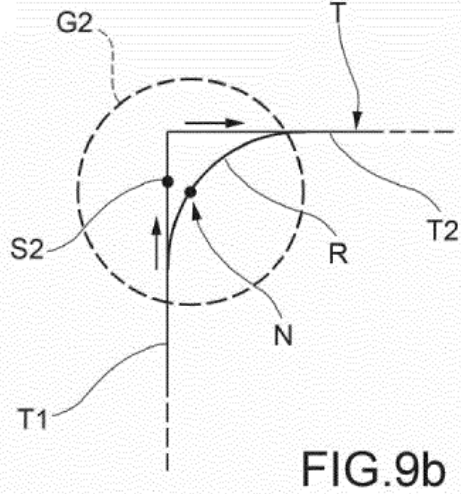


FIG. 9b

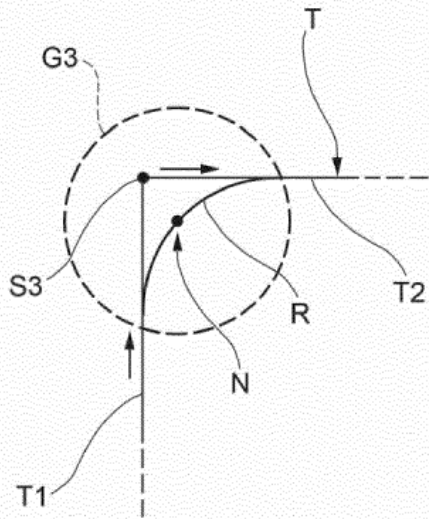


FIG. 9c

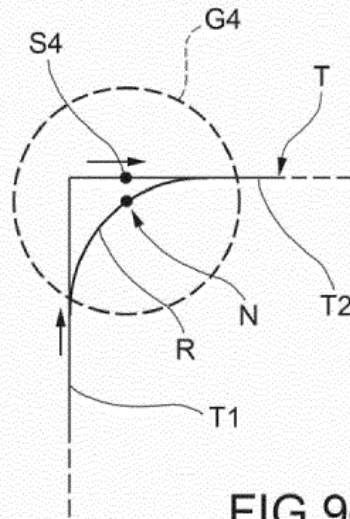


FIG. 9d

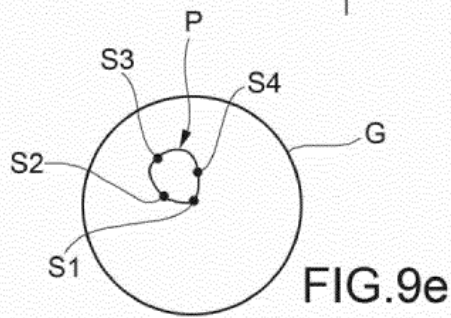


FIG. 9e