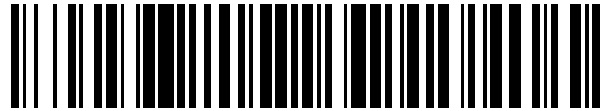


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 848 543**

51 Int. Cl.:

B23K 26/06 (2014.01)

B23K 26/073 (2006.01)

B23K 26/14 (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 17179791 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.11.2020 EP 3272453**

54 Título: **Un procedimiento de procesamiento por láser de un material metálico con control de la posición del eje óptico del láser en relación con un flujo de gas auxiliar, y una máquina y un programa informático para la implementación de dicho procedimiento**

30 Prioridad:

06.07.2016 IT 201600070259

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

10.08.2021

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 2 848 543 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

Un procedimiento de procesamiento por láser de un material metálico con control de la posición del eje óptico del láser en relación con un flujo de gas auxiliar, y una máquina y un programa informático para la implementación de dicho procedimiento

La presente invención se refiere al procesamiento por láser de un material metálico, más específicamente, a un procedimiento de procesamiento por láser para cortar, perforar o soldar dicho material, como se especifica en el preámbulo de la reivindicación independiente 1.

De acuerdo con otros aspectos, la presente invención se refiere a una máquina para el procesamiento por láser de un material metálico dispuesto para implementar el procedimiento de procesamiento por láser, y a un programa informático que comprende uno o más módulos de código para implementar el procedimiento antes mencionado cuando el programa se ejecuta mediante medios electrónicos de procesamiento.

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 un perfil alargado que tenga indistintamente una sección transversal cerrada (por ejemplo, una forma circular hueca, rectangular o cuadrada) o una abierta (por ejemplo, una sección plana o una sección en forma de L, C, U, etc.).

En los procedimientos industriales de procesamiento de metales, y en particular los de chapas 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 está procesando, específicamente de la densidad de energía por volumen de incidencia del rayo láser sobre el material y del intervalo de tiempo de interacción.

Por ejemplo, al dirigir una baja densidad de energía (del orden de decenas de W por mm² de superficie) durante un tiempo prolongado (del orden de segundos), se logra un proceso de endurecimiento, mientras que al dirigir una alta densidad de energía (del orden de decenas de MW por mm² de superficie) durante un tiempo del orden de femtosegundos o picosegundos, se logra un proceso de fotoablación. En el intervalo intermedio de aumento de densidad energética y disminución del tiempo de trabajo, el control de estos parámetros permite llevar a cabo procesos de soldadura, corte, perforación, grabado y marcaje.

En muchos procesos, incluidos los procesos de perforación y corte, se debe proporcionar un flujo de gas auxiliar a la región de trabajo donde se produce 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 la combustión, o incluso las funciones tecnológicas de protección del medio ambiente 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 ser realizadas por la misma máquina, que está adaptada para generar un rayo láser enfocado de alta potencia que tiene una distribución de potencia transversal predeterminada en al menos un plano de trabajo del material metálico, típicamente un rayo láser con una densidad de potencia que varía de 1 a 10000 kW/mm², y para gobernar la dirección del rayo y la posición de incidencia a lo largo del material. La diferencia entre los diferentes tipos de procesamiento que se pueden realizar 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 sujeto a procesamiento.

Las máquinas de procesamiento por láser de acuerdo con 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 CO₂ con una trayectoria óptica del rayo láser en el aire, que comprende una fuente de emisión 10, tal como un dispositivo generador de láser de CO₂, capaz de emitir un rayo láser unimodal o multimodal B y una pluralidad de espejos reflectores 12a, 12b y 12c adaptados para conducir el rayo láser emitido desde la fuente de emisión a lo largo de una trayectoria de transporte óptico del haz hacia un cabezal de trabajo, indicado colectivamente en 14, dispuesto en la proximidad de un material WP. El cabezal de trabajo 14 comprende un sistema de enfoque óptico 16 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 está dispuesta corriente abajo de la lente de enfoque y es atravesada por el rayo láser dirigido hacia un área de un plano de trabajo del material. La tobera está adaptada 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 se puede obtener. Por ejemplo, el gas auxiliar puede comprender oxígeno, que favorece una reacción exotérmica con el metal, permitiendo aumentar las velocidades de corte, o un gas inerte como el nitrógeno que no contribuye a la fusión del material pero protege el material de una oxidación no deseada en los bordes del perfil de trabajo, protege el cabezal de trabajo de las salpicaduras de material fundido y también puede usarse para enfriar los lados de la ranura producida en el material, limitando 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 de emisión 10, tal como un dispositivo generador de láser capaz de alimentar

un rayo láser a 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 de fibra óptica 12d adaptado para conducir el rayo láser emitido desde la fuente de emisión al cabezal de trabajo 14 dispuesto cerca del material M. En el cabezal de trabajo, el rayo láser que emerge de la fibra con su divergencia controlada es colimado por un sistema dióptrico de colimación 20 y reflejado por un sistema catóptrico 22 antes de ser enfocado a través de un sistema de enfoque óptico 16, 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 de emisión 18.

La Figura 3 ilustra un cabezal de trabajo 14 a modo de ejemplo de acuerdo con 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 láser B generado por la fuente de emisión 10 y transportado al cabezal de trabajo mediante una trayectoria óptica en el aire con múltiples reflexiones o en fibra óptica se colima sobre un elemento deflector reflectante 32 que desvía su eje óptico de propagación en una dirección de incidencia sobre el material que se está procesando. El sistema de enfoque óptico 16 es intermedio entre el elemento deflector reflectante 32 y una corredera protectora 34 dispuesta corriente abajo, adaptada para proteger el sistema de enfoque de cualquier salpicadura de material fundido, y comprende una unidad de soporte de lente 36 a la que se acoplan mecanismos de ajuste mecánico 38 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 que se somete el rayo láser en el cabezal de trabajo se esquematiza en las Figuras 4 y 5.

El rayo láser B procedente de una fuente de emisión S a través de una trayectoria de transporte óptico en el espacio libre o en la fibra llega al 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 láser B, dirigiéndolo a un sistema de enfoque óptico dispuesto corriente 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, corriente abajo de un sistema de enfoque óptico se concentra en un punto focal de acuerdo con las leyes de la óptica geométrica. Sin embargo, las leyes físicas de la difracción indican que el rayo láser, incluso en la mejor configuración de colimación y enfoque, tiene, corriente 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 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 potencia concentrada alrededor del eje longitudinal del haz (eje Z) y disminuyendo gradualmente a lo largo de un faldón periférico, o puede describirse como la envolvente de los perfiles gaussianos con simetría rotacional en el caso de un haz multimodal.

El uso de haces con radiación láser unimodal o multimodal, que en una primera aproximación puede describirse como gaussiana, cumple con los requisitos de control tecnológico en el campo de las aplicaciones láser de alta potencia. De hecho, un haz gaussiano se describe fácilmente mediante unos pocos 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 porque tiene la característica de propagarse por sí mismo sin modificar la distribución de potencia, por lo que puede describirse mediante un valor de radio y un valor de divergencia en condiciones de propagación de campo lejano (en cuyo caso se puede utilizar 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 la 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 para que tenga una distribución de potencia en sección transversal gaussiana (o aproximadamente gaussiana) y para 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 han 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 implica, 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 mediante 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. Un procedimiento de centrado mecánico de este tipo implica una pluralidad de ajustes mecánicos finos, por ejemplo, mediante un accionamiento por tornillo en el espejo deflector o en las lentes de colimación o de enfoque para ajustar la inclinación y el centrado del sistema óptico de propagación del rayo láser con respecto 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 pueda seguir el procesamiento.

5 La isotropía del proceso con respecto a las trayectorias de trabajo en el material siempre se ha considerado ventajosa cuando un proceso de trabajo por láser se controla mediante medios electrónicos de procesamiento, de acuerdo con cualquier trayectoria y geometría, predeterminadas en los sistemas CAD/CAM.

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

15 El documento US 5.101.091 divulga una disposición para la guía de un haz durante el tratamiento de una pieza de trabajo con un láser, a través de espejos que se interponen en la trayectoria del haz entre una fuente de láser y la pieza de trabajo. Al menos un espejo deflector de los espejos está equipado con elementos de ajuste para implementar una topografía localmente variable de su superficie de espejo, y se acciona desde un aparato de control para efectuar una deformación o distorsión de la geometría de la sección transversal del haz de acuerdo con el medida de una geometría especificada del punto focal del haz en la superficie de la pieza de trabajo.

20 El documento US 2002/008091 divulga un aparato programable para la conformación del rayo láser que incluye una matriz de microespejos preprogramables que redistribuye la energía del haz de salida del láser para producir una distribución de energía espacial adecuada para procesar materiales con precisión y rapidez a través de un patrón de mecanizado bidimensional deseado en una pieza de trabajo. Una aplicación especial de la presente invención es la conformación del rayo láser para producir una distribución de energía espacial uniforme, y se proporciona un ajuste continuo de la conformación del haz para mantener la homogeneización del haz de acuerdo con los cambios en el perfil de energía de salida del rayo láser.

25 El documento JP 2001 038485 divulga un procedimiento y un dispositivo para procesamiento por láser en el que un rayo láser se refleja mediante un espejo de curvatura variable en un cabezal de procesamiento por láser para aplicar procesamiento a una pieza de trabajo cambiando la curvatura de una cara de reflexión del espejo de curvatura variable a un valor de curvatura preestablecido de acuerdo con el grosor del trabajo W.

30 El documento US 4.202.605 divulga un espejo segmentado activo que comprende una pluralidad de elementos de espejo conectados a través de un sustrato común, comprendiendo cada uno de dichos elementos un sustrato de espejo, una junta compatible que conecta el sustrato de espejo con una estructura de soporte y un conjunto activador piezocerámico.

35 El objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento de procesamiento por láser con un rendimiento mejorado en términos de velocidad de operación, calidad de resultados y rentabilidad del proceso.

40 Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento de procesamiento por láser controlable en tiempo real para obtener resultados de procesamiento precisos en todas las condiciones operativas, alcanzables sin aumentar el tamaño de las máquinas existentes.

45 De acuerdo con la presente invención, estos objetos se consiguen mediante un procedimiento de procesamiento por láser de un material metálico que tiene las características mencionadas en la reivindicación 1.

Los modos de realización específicos son el objeto de las reivindicaciones dependientes, cuyo contenido ha de considerarse como parte integral de la presente descripción.

50 Otro objetivo de la invención es una máquina para el procesamiento por láser de un material metálico y un programa informático, según se reivindica en las reivindicaciones 9 y 10.

55 En resumen, la presente invención se basa en la consideración de que una ruptura de la simetría rotacional del conjunto del rayo láser y el flujo de gas auxiliar, es decir, una desviación de la condición de coincidencia entre los ejes de propagación de la radiación láser y el eje de salida del flujo de gas auxiliar, puede permitir obtener mejores beneficios en términos de velocidad, calidad y rentabilidad que el proceso de trabajo con el mismo rendimiento. Los modos de aplicación y explotación de la ruptura de la simetría rotacional pueden ser diferentes y, en particular, dichos modos comprenden una modificación "estática" de la posición del eje óptico del rayo láser de procesamiento con respecto al eje de simetría del flujo de gas auxiliar y una modificación "dinámica" o en un régimen de "haz aparente" de la posición del eje óptico del rayo láser de procesamiento con respecto al eje de simetría del flujo de gas auxiliar.

60 En el caso de la modificación "estática", la posición relativa del eje óptico del rayo láser con respecto al eje de simetría del flujo de gas auxiliar (distancia, ángulo con respecto a una dirección de avance local a lo largo de la trayectoria de trabajo, asumida como dirección de referencia) es fija o variada a una velocidad relativa comparable (es decir, del mismo orden de magnitud) con la velocidad de avance del proceso de trabajo.

65

5 Como resultado de un desequilibrio de la posición del eje óptico del rayo láser, por delante del eje de simetría del flujo de gas auxiliar en la dirección de traslación del flujo de gas mencionado anteriormente (es decir, el área de incidencia del eje de simetría del flujo de gas en la superficie del material que se está procesando en el caso de un proceso de corte), se puede obtener un mejor rendimiento en términos de velocidad de proceso. En efecto, tal desequilibrio genera un área de ranura fundida golpeada por el flujo de gas auxiliar que es mayor que el caso simétrico de coincidencia de los ejes. En otras palabras, la incidencia del rayo láser sobre el material antes del flujo de gas permite un suministro de gas a menor presión a la misma velocidad en comparación con el caso simétrico de coincidencia de los ejes, asegurando un menor consumo de gas proporcional a la menor presión.

10 En el caso de modificación "dinámica" o régimen de "haz aparente", la posición relativa del eje óptico del rayo láser con respecto al eje de simetría del flujo de gas auxiliar (distancia, ángulo con respecto a una dirección de avance local a lo largo de la trayectoria de trabajo, tomada como dirección de referencia) se varía a una velocidad relativa de al menos un orden de magnitud mayor que la velocidad de avance del proceso de trabajo. El eje óptico del rayo láser se controla en un movimiento periódico con respecto al eje del flujo del gas auxiliar a una frecuencia de movimiento circundante predeterminada, para asegurarse de que el proceso de trabajo en el material ve un haz aparente describible por la envolvente del movimiento del haz a una escala de frecuencias en un orden de magnitud menor que la frecuencia de movimiento circundante.

20 Como resultado de un movimiento oscilante hacia adelante y hacia atrás del eje óptico con respecto a la dirección de propagación del eje del flujo de gas auxiliar, se determina, por ejemplo, un haz aparente con una forma elíptica algo alargada, lo que permite una mayor iluminación de la ranura fundida, es decir, una iluminación que dura más en la ranura, lo que a su vez permite una mayor absorción de la radiación por parte del material en la dirección de propagación. Esta técnica permite un ahorro de energía eléctrica, porque aumenta el rendimiento por vatio de potencia del rayo láser y conserva el gas, porque mantiene el material en una condición menos viscosa que la técnica anterior, por lo que es posible empujar el material fundido fuera de la ranura con menos presión de gas.

30 Por otra parte, como consecuencia de un movimiento de oscilación circular del eje óptico, es decir, el baricentro de distribución de la potencia del láser, alrededor del eje del flujo del gas auxiliar, se determina, por ejemplo, un haz circular aparente que permite que el diámetro (aparente) de la distribución de potencia del rayo láser aumente, y así se obtiene un mayor flujo de gas dentro de la ranura a la misma presión.

35 De acuerdo con la invención, la aplicación de las consideraciones antes mencionadas a los sistemas de la técnica anterior se logra mediante la implementación de un control eficiente de la posición del eje óptico del rayo láser de procesamiento con respecto al eje de simetría del flujo de gas auxiliar por medio del control de la forma del rayo láser en tiempo real, es decir, mediante una modificación de la distribución de potencia transversal del haz, que conserva sustancialmente la forma y el diámetro efectivo del haz.

40 La presente invención se basa en el principio de utilizar un sistema óptico con deformación controlada conocido por sí mismo en aplicaciones científicas para el procesamiento de señales ópticas (por tanto, de radiación óptica de baja potencia) para dar forma a un rayo láser de alta potencia para aplicaciones industriales.

45 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 obtenible de una manera rápidamente modificable 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, en consecuencia, mejorar el rendimiento en los procesos de mecanizado o implementar procesos de mecanizado innovadores.

50 Ventajosamente, el procedimiento de la invención permite dirigir el rayo láser al centro de la región de emanación de gas auxiliar con alta precisión, evitando así la necesidad de ajustes mecánicos precisos mediante la intervención de un operador al configurar la máquina para un proceso predeterminado.

55 Aún más ventajosamente, el procedimiento de la invención permite controlar la posición del eje óptico del rayo láser de acuerdo con una relación espacial predeterminada con el eje del flujo de gas auxiliar, que no es necesariamente una posición alineada coaxialmente, con un rápido tiempo de ajuste, de modo que dicho control de posición no solo se pueda realizar como una "configuración preparatoria" para un ciclo de procesamiento, sino que también se pueda implementar en tiempo real durante un proceso de trabajo de tal manera que se 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 sobre el material.

60 En otras palabras, el procedimiento de la invención permite establecer y mantener automáticamente una estrategia de colocación mutua predeterminada entre el eje óptico del rayo láser y el eje del flujo de gas auxiliar durante un proceso de trabajo, por ejemplo, al controlar instantáneamente la posición del eje óptico del rayo láser a una distancia predeterminada del eje del flujo de gas auxiliar y en una dirección angular predeterminada con respecto a la dirección actual de la trayectoria de trabajo (la dirección de avance del proceso).

65 El procedimiento de la invención permite, además, que una estrategia variable de colocación mutua entre el eje óptico del rayo láser y el eje del flujo de gas auxiliar se establezca automáticamente 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 o en función de otros parámetros, tales como las variaciones en la velocidad de avance a lo largo de la trayectoria de trabajo, las variaciones de grosor del material de trabajo, las variaciones del ángulo de incidencia del gas auxiliar con respecto a la superficie del material que se está procesando.

Las variaciones en la velocidad de avance a lo largo de la trayectoria de trabajo surgen de las paradas necesarias de los diversos ejes de control mecánico del cabezal de trabajo que contribuyen a la definición de la propia trayectoria, por ejemplo, debido a la inversión de la dirección u orientación de trabajo del cabezal, que va precedida de una desaceleración hasta la parada y seguida de una posterior aceleración, tanto en el caso de un proceso de corte como de soldadura.

Los cambios en el grosor del material de trabajo, conocidos y esperados, requieren no solo una velocidad de avance y una posición del punto focal correspondientes dentro del propio material que son diferentes dependiendo del grosor, sino que también pueden requerir un modo diferente para romper la simetría rotacional, es decir una modificación "estática" o "dinámica" de la posición del eje óptico del rayo láser de procesamiento con respecto al eje de simetría del flujo de gas auxiliar en función de dicho grosor.

Finalmente, las variaciones en el ángulo de incidencia del gas auxiliar con respecto a la superficie del material de trabajo requieren una distribución diferente de la potencia del láser alrededor del eje del flujo de gas para mejorar el rendimiento de corte, asegurando un proceso más estable debido, por ejemplo, a un ranura más ancha o a una mejor entrega del suministro de gas auxiliar.

El control de la posición mutua entre el eje de propagación de la radiación láser y el eje de emanación del gas auxiliar se implementa de acuerdo con la invención mediante un control de la distribución de potencia transversal del haz en un área del plano de trabajo sobre el material metálico en una inmediación predeterminada del eje de flujo de gas auxiliar que define un área de suministro de dicho flujo. El área de suministro del flujo de gas auxiliar, que representa el campo de acción volumétrico del procedimiento de control de la invención, se puede identificar como el "volumen afectado" de la tobera de un cabezal de trabajo, una tobera que típicamente tiene una boca cuyo diámetro está entre 1 mm y 3,5 mm y dimensiones 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 la boca aumentado de 1 a 3 mm, y una base más grande cuya dimensión característica es función de la altura del volumen troncocónico y del ángulo de inclinación de la línea de generación, típicamente de entre 15 y 30 grados. Apropiadamente, el volumen de la tobera es lo más pequeño posible y tiene la apariencia más delgada posible de modo que también puede operar dentro de las concavidades de las superficies a procesar.

Ventajosamente, el control automático realizado por el procedimiento de la invención se puede realizar en tiempo real con frecuencias de funcionamiento entre 100 Hz y 10 kHz.

Un sistema de control adaptado para realizar el procedimiento de la invención se distingue ventajosamente de los sistemas de la técnica anterior porque puede integrarse en un cabezal de trabajo, es decir, es independiente de la generación del rayo láser y de su transporte al cabezal de trabajo.

Además, a diferencia de las soluciones conocidas para configurar o poner en marcha una máquina para un proceso específico, en las que la posición del haz óptico con respecto al flujo de gas auxiliar es ajustable como resultado de una intervención manual de un operador, o en las que la modificación de la dirección de incidencia del haz óptico se implementa de acuerdo con una lógica predeterminada, como es el caso en la técnica anterior del bamboleo, mediante lo cual una alta oscilación dinámica, programada al establecer un programa de trabajo, se imparte repetidamente al eje óptico de propagación del rayo láser a lo largo de todo el proceso, el procedimiento de la invención permite controlar eficazmente en tiempo real la posición del eje óptico de propagación del rayo láser en función de la ubicación del haz a lo largo de una trayectoria de trabajo, por lo que es posible para cambiar la posición mutua entre el eje óptico de propagación del haz óptico y el eje del flujo de gas auxiliar de manera oportuna según las condiciones de trabajo programadas que ocurren en posiciones predeterminadas a lo largo de la trayectoria de trabajo. Tales condiciones de trabajo programadas incluyen, a modo de ejemplo ilustrativo y no limitativo, 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 un modo de realización de la misma, dada a modo de ejemplo no limitativo, con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:

las Figuras 1 y 2 son ejemplos de máquinas para procesamiento por láser de acuerdo con la técnica anterior;

la Figura 3 muestra un ejemplo de la estructura de un cabezal de trabajo de una máquina láser de acuerdo con 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 de acuerdo con 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 realizar el procedimiento 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 procedimiento 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 realizar un procedimiento de procesamiento de acuerdo con la invención; y

la Figura 9 es una representación esquemática de un ejemplo de trabajo de acuerdo con el procedimiento 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 de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención.

En la Figura 6 se representa un diagrama de una trayectoria óptica de un rayo láser en el cabezal de trabajo de una máquina para el procesamiento por láser de materiales metálicos de acuerdo con la invención.

El sistema óptico de la Figura 6 comprende un dispositivo de entrada 100 de un rayo láser B, 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 el rayo láser B emerge con una divergencia predeterminada.

Corriente abajo del dispositivo de entrada 100, se dispone un sistema de colimación óptica 120, 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), corriente abajo de la cual el rayo láser colimado se conduce a un sistema de enfoque óptico 140, 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 trabajo plano II a través de una pantalla o cristal protector 160.

En la trayectoria óptica entre el sistema 120 óptico de colimación y el sistema 140 de enfoque óptico, se interponen medios 180 de conformación del haz óptico.

En particular, con referencia a la esquematización de la trayectoria óptica de un rayo láser que se muestra en la Figura 6, la presente invención se refiere a la fabricación de medios ópticos 180 para conformar el rayo láser y al control de dichos 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 ópticos 180 para conformar el rayo láser se muestran en un modo de realización ilustrativo en la que están dispuestos con su propio eje de simetría a 45° con respecto a la dirección de propagación del haz.

Para ello, los medios ópticos 180 de conformación del rayo láser se realizan como un elemento reflector deformable 200 con una superficie controlada, que comprende una pluralidad de áreas de reflexión movibles independientemente, como se esquematiza en la Figura 7, que, en estado de reposo, definen una superficie reflectante situada sobre un plano de reflexión de referencia. Dicho elemento reflector de superficie controlada deformable 200 proporciona un espejo de lámina continua, cuya superficie reflectante es modificable tridimensionalmente con respecto a la superficie reflectante plana de referencia adoptada en el estado de reposo. Dicho elemento reflector de superficie controlada deformable 200 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 adecuadamente para el uso con alta potencia óptica en virtud del uso conjunto de un recubrimiento altamente reflectante (al menos un 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 se pueden mover de forma independiente. Las áreas de reflexión de la superficie reflectante con curvatura continua no tienen bordes entre ellas, es decir, la superficie reflectante global tiene derivadas locales continuas en todas las direcciones. El movimiento de dicha pluralidad de módulos de movimiento 200a, 200b incluye movimientos de traslación de las áreas de reflexión correspondientes, tales como movimientos hacia adelante o hacia atrás, con respecto a la superficie reflectante plana de referencia adoptada en el estado de reposo o movimientos de rotación de las áreas de reflexión correspondientes alrededor de un eje paralelo a la superficie reflectante plana de referencia adoptada en el estado de reposo, o incluso una combinación de los mismos. Las deformaciones de la superficie reflectante, es decir, los movimientos de los módulos de movimiento 200a, 200b, se accionan preferentemente mediante técnicas piezoeléctricas conocidas, que hacen posible controlar el movimiento de los módulos de movimiento y la consiguiente posición de las áreas de reflexión, es decir, la modificación de su 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 demás, típicamente en desplazamientos del orden

de +/- 40 µm, 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 en general, un control de la distribución de potencia transversal del rayo láser, de acuerdo con los objetos de las aplicaciones de procesamiento deseadas.

La Figura 7 muestra un modo de realización preferente del elemento reflector 200 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. Tal modo de realización debe entenderse como puramente ilustrativo y no limitante de la implementación de la invención. En un modo de realización preferente diferente, en el que la incidencia del rayo láser colimado es perpendicular o casi perpendicular a la superficie del elemento 200 en el estado de reposo, el perfil del elemento reflectante 200 es un perfil circular.

En el modo de realización del elemento reflectante de perfil elíptico, el mismo tiene un eje mayor de 38 mm y un eje menor de 27 mm, correspondiente al tamaño máximo de abertura transversal del rayo láser incidente sobre el espejo obtenible por el sistema óptico de colimación 120.

Específicamente, en un modo de realización preferente, dicho elemento reflector de superficie controlada deformable 200 incluye una pluralidad de áreas de reflexión que se pueden mover independientemente 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 a dicha área central. En el modo de realización actualmente preferente, 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 aumenta 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 la segunda hileras. Preferentemente, con el fin de simplificar la estructura de control del elemento reflector 200, tal como se diseñó, la pluralidad de sectores circulares que forman la corona circular periférica puede fijarse, y solo las hileras de los sectores de corona circular interna son móviles, de tal manera que puedan emplear un número total de activadores limitado a 41.

En general, el número de hileras de sectores circulares, el número de sectores de corona circular y la altura de los sectores de corona circular se determinan de acuerdo con las geometrías de superficie reflectante necesarias para obtener distribuciones de potencia transversal deseadas predeterminadas del rayo láser, mediante procedimientos de simulación de las tendencias de las distribuciones de potencia transversal de un rayo láser que incide 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 actuando sobre la fase del rayo láser. En el modo de realización actualmente preferente, la deformación de la superficie del elemento reflector 200 se controla de tal manera que se determina una superficie reflectante atribuible a una combinación de polinomios de Zernike. Así, la distribución de la intensidad del rayo láser en el plano focal de acuerdo con las variaciones de fase controladas por el movimiento de las áreas de reflexión del elemento reflector 200 puede simularse ventajosamente usando procedimientos de cálculo matemático.

La geometría de la subdivisión de la superficie del elemento reflector 200 ilustrada en la Figura 7 (correspondiente a la geometría de los módulos de movimiento de las áreas de reflexión) ha sido determinada por los autores de la invención mediante un procedimiento 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 las que no se requiere un cambio en la forma de la distribución de potencia, sino solo el desplazamiento de la misma con respecto al eje óptico de propagación, es posible utilizar geometrías más simples, por ejemplo, hileras igualmente espaciadas, es decir, en las que la altura de los sectores de corona circular es constante entre todas las hileras de los sectores. Para aplicaciones en las que se deba mantener una simetría rotacional de la distribución de potencia del haz, es posible proporcionar 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 circuito de un sistema de control electrónico de una máquina para el procesamiento por láser de materiales metálicos para la implementación del procedimiento de la invención.

El sistema comprende medios electrónicos de procesamiento y control que se muestran en la Figura colectivamente en ECU, que pueden estar integrados en una sola unidad de procesamiento a bordo de una máquina o implementados de forma distribuida, comprendiendo así 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 están dispuestos para acceder a los medios de memoria M para adquirir una trayectoria de trabajo y controlar la aplicación del rayo láser de procesamiento a lo largo de dicha 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, de acuerdo con la información de la trayectoria de trabajo y los parámetros de trabajo adquiridos de los medios de memoria.

Los medios sensores SENS están dispuestos a bordo de la máquina para detectar en tiempo real la posición mutua entre el cabezal de trabajo y el material que se está procesando, así como el cambio en el tiempo de dicha posición.

Los medios electrónicos de procesamiento y control ECU están dispuestos para recibir, desde los medios sensores SENS, señales indicativas de la posición mutua entre el cabezal de trabajo y el material que se está procesando a lo largo 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 primeras señales de comando CMD₁ a un conjunto 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 el modo de realización específico de la máquina y medios activadores para mover el material que se está procesando 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 en el material que se está procesando en la tobera del cabezal de trabajo. Estos medios activadores no se describen en detalle porque son conocidos 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 comando CMD₂ a los medios de suministro de flujo de gas auxiliar y los 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 comando CMD₃ al elemento reflector de superficie controlada deformable 200 de los medios de conformación del haz óptico para la implementación de los módulos de movimiento de las áreas de reflexión móviles independientemente de dicho elemento, es decir, para controlar su desplazamiento espacial mutuo (traslación a lo largo del eje óptico del elemento reflector o la inclinación con respecto a él). Las señales de comando CMD₃ se procesan mediante un programa informático que comprende uno o más módulos de código que tienen instrucciones de un modelo o programa de regulación para la implementación del procedimiento de la invención de acuerdo con la conformación predeterminada del rayo láser a obtener, 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 al menos un plano de trabajo del material metálico, siendo el plano de trabajo del material el plano de la 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 superiores a 1,5 veces la longitud de Rayleigh del haz enfocado (en el caso típico, grosores superiores a 4 mm y de hasta 30 mm). Las señales de comando CMD₃ antes mencionadas también son procesadas por el programa informático para establecer la distribución de potencia transversal predeterminada del rayo láser en una inmediación predeterminada del eje del flujo de gas auxiliar y dentro de un área de suministro de dicho flujo de acuerdo con 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 están dispuestos 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 del 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, de acuerdo con la posición actual y/o la dirección de traslación actual detectada del eje del flujo de gas auxiliar.

La posición del eje óptico de propagación del rayo láser se rige controlando los módulos de movimiento de las áreas de reflexión para realizar 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 en el material que se está procesando.

De acuerdo con un modo de realización, la posición del eje óptico de propagación del rayo láser se ajusta de manera que esté, de manera selectiva o alterna, en un área frontal y en un área posterior con respecto a la posición actual del eje del flujo de gas auxiliar a lo largo de la trayectoria de trabajo durante una operación de corte del material metálico.

Esto se hace preferentemente en la búsqueda de una trayectoria de corte, por ejemplo, en función de la velocidad de ejecución de la operación de corte y el grosor del material a cortar.

En el caso de una modificación "estática", como resultado de un desequilibrio de la posición del eje óptico del rayo láser por delante del eje de simetría del flujo de gas auxiliar en la dirección de traslación del flujo de gas antes mencionado (es decir, del área de incidencia del eje de simetría del flujo de gas sobre la superficie del material que se está procesando en el caso de un proceso de corte) se puede obtener un mejor rendimiento en términos de velocidad de proceso. Tal desequilibrio genera un área de ranura fundida golpeada por el flujo de gas auxiliar, que es mayor que el caso simétrico de coincidencia de los ejes. En otras palabras, la incidencia del rayo láser sobre el material por delante del flujo de gas permite un suministro de gas a menor presión a la misma velocidad en comparación con el caso simétrico de coincidencia de los ejes, lo que garantiza un menor consumo de gas proporcional a la menor presión.

En el caso de la modificación "dinámica" o régimen de "haz aparente", como resultado de un movimiento de oscilación del eje óptico hacia adelante y hacia atrás en relación con la dirección de propagación del eje del flujo de gas auxiliar, por ejemplo, se determina un haz aparente con una forma alargada casi elíptica, que permite una mejor iluminación de la ranura fundida, es decir, una iluminación que perdura más tiempo sobre la ranura, lo que a su vez permite una mayor absorción de radiación por parte del material en la dirección de propagación. Esta técnica permite un ahorro de energía eléctrica, porque aumenta el rendimiento por vatio de potencia del rayo láser, así como un ahorro de gas, porque mantiene el material en una condición menos viscosa en comparación con la técnica anterior, por lo que es posible empujar el material fundido fuera de la ranura con menos presión de gas.

En otro modo de realización, la posición del eje óptico de propagación del rayo láser se ajusta para seguir una trayectoria circular alrededor de la posición actual del eje del flujo de gas auxiliar durante una operación de perforación del material metálico. Esto permite generar un "haz aparente" con simetría circular de gran diámetro, incluso si se parte de un haz gaussiano de menor diámetro, con dos ventajas. La primera ventaja es que el diámetro de perforación se incrementa al final del proceso, y así permite, en la fase delicada al inicio del movimiento de corte, un mejor acoplamiento entre el rayo láser y el frente de avance dentro del grosor del material que se está procesando, así como un mayor flujo de gas, lo que permite una expulsión más eficiente del material fundido al inicio. La segunda ventaja es que, durante el proceso de perforación, el movimiento circular imparte una dirección preferencial de emisión sobre el material fundido, que necesariamente debe salir de la superficie del área de procesamiento del material desde el lado donde ocurre la perforación, facilitando la eficiencia de despojo progresiva de capas de material cada vez más profundas y, en última instancia, una ruptura más rápida del grosor global.

La Figura 9 muestra un ejemplo de procesamiento de acuerdo con el procedimiento de la presente invención.

En la Figura se indica con T una trayectoria de trabajo programada. La trayectoria de trabajo incluye un perfil de corte que comprende, a modo de ejemplo, una serie de secciones curvas T1, T2 o secciones rectas T3, que forman una línea discontinua cerrada o abierta, y una serie de huecos, por ejemplo, huecos con perfil semicircular R1, R2. La trayectoria de trabajo T también incluye un perfil de perforación circular, indicado con H, a una distancia predeterminada del perfil de corte.

En algunas posiciones ilustrativas del cabezal de trabajo a lo largo de la trayectoria antes mencionada (el cabezal de trabajo se esquematiza solo en asociación con una posición de trabajo inicial, para no complicar demasiado la representación gráfica), las áreas de suministro del flujo de gas auxiliar sobre el material que se está procesando se indican en G1, ..., Gn, y los puntos de incidencia del rayo láser sobre el material que se está procesando, circunscritos alrededor de las posiciones del eje óptico del rayo láser, se indican en S1, ..., Sn. Cabe señalar que, típicamente, para operaciones de corte y/o perforación en acero al carbono con grosores de 4 mm a 30 mm, acero inoxidable con grosores de 4 mm a 25 mm, aleaciones de aluminio con grosores de 4 mm a 15 mm, cobre y latón con grosores de 4 mm a 12 mm, el tamaño típico del área de suministro del flujo de gas auxiliar varía de 1,8 mm a 3 mm, y el punto de incidencia del rayo láser varía de 0,05 mm a 0,25 mm

Para algunas posiciones o áreas de trabajo a lo largo de la trayectoria de trabajo, se representan, a modo de ejemplo, el área de suministro correspondiente del flujo de gas auxiliar en el material que se está procesando (circular, en el modo de realización más común de una tobera circular) y uno o más puntos de incidencia del rayo láser (que también se representan a modo de ilustración mediante una forma circular, en el caso común de distribución de potencia transversal de forma gaussiana). G1 indica una primera zona de suministro del flujo de gas auxiliar en una sección de avance del rayo láser a lo largo de un primer segmento T1 de una línea de corte siguiendo 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 modo que el punto S1 de incidencia del haz en el plano de trabajo se encuentre en una zona por delante de la posición actual del eje del flujo de gas auxiliar, que corresponde al baricentro de la zona G1.

G2 indica una segunda zona de suministro del flujo de gas auxiliar en una sección de avance del rayo láser en desaceleración a lo largo del segmento T1 de la línea de corte de la trayectoria T. En esta área de trabajo, la posición del eje óptico de propagación (de la distribución de potencia) del rayo láser se ajusta de modo que el punto S2 de incidencia del haz en el plano de trabajo coincida sustancialmente con la posición actual del eje del flujo de gas auxiliar, correspondiente al baricentro de la zona G2.

5 G3 indica una tercera área de suministro del flujo de gas auxiliar en el hueco semicircular R1 de la trayectoria 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 de incidencia del haz en el plano de trabajo se desplace por la trayectoria de corte deseada dentro del área de suministro del flujo de gas auxiliar sin el movimiento de la zona mencionada anteriormente, como se indica por las posiciones subsecuentes S3, S4, S5 y S6, radialmente equidistantes de la posición actual del eje del flujo de gas auxiliar, que corresponde al baricentro de la zona G3, pero descentradas angularmente de una posición hacia atrás a una posición hacia adelante con respecto a la dirección actual de la trayectoria de trabajo en el material metálico.

10 G4 indica una cuarta área de suministro del flujo de gas auxiliar en una variación de la dirección entre la sección T2 y la sección T3 del perfil de corte, en donde la variación de la dirección tiene un pequeño radio de curvatura. En esta área de trabajo, la posición del eje óptico de propagación (de la distribución de potencia) del rayo láser se ajusta de modo que el punto de incidencia del haz en el plano de trabajo se desplace por la trayectoria de corte deseada dentro del área de suministro del flujo de gas auxiliar, sin movimiento de la zona antes mencionada, como lo indican las posiciones subsecuentes S7, S8 y S9, teniendo una distancia radial y una posición angular diferente a la posición actual del eje del flujo de gas auxiliar, que corresponde al baricentro de la zona G4, es decir, respectivamente las posiciones hacia atrás, coincidente y hacia adelante con respecto a la dirección actual de la trayectoria de trabajo sobre el material metálico.

20 Finalmente, G5 indica una quinta área de suministro del flujo de gas auxiliar en el perfil de perforación circular H que se puede alcanzar a una distancia predeterminada de la trayectoria T del perfil de corte, al interrumpir la emisión del rayo láser durante un tiempo predeterminado. En esta área de trabajo, la posición del eje óptico de propagación (de la distribución de potencia) del rayo láser se ajusta de modo que el punto de incidencia del haz en el plano de trabajo se desplace por una trayectoria circular dentro del área de suministro del flujo de gas auxiliar, posiblemente coaxial al eje del flujo de gas auxiliar, que corresponde al baricentro de la zona G5, sin movimiento de la zona anteriormente mencionada, lo que se indica por las posiciones subsecuentes S10, S11, S12 y S13.

25
30 Naturalmente, sin alterar el principio de la invención, los modos de realización y detalles de implementación pueden variar ampliamente con respecto a lo que se ha descrito e ilustrado únicamente a modo de ejemplo no limitativo, sin apartarse por ello del alcance de protección de la invención definida por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

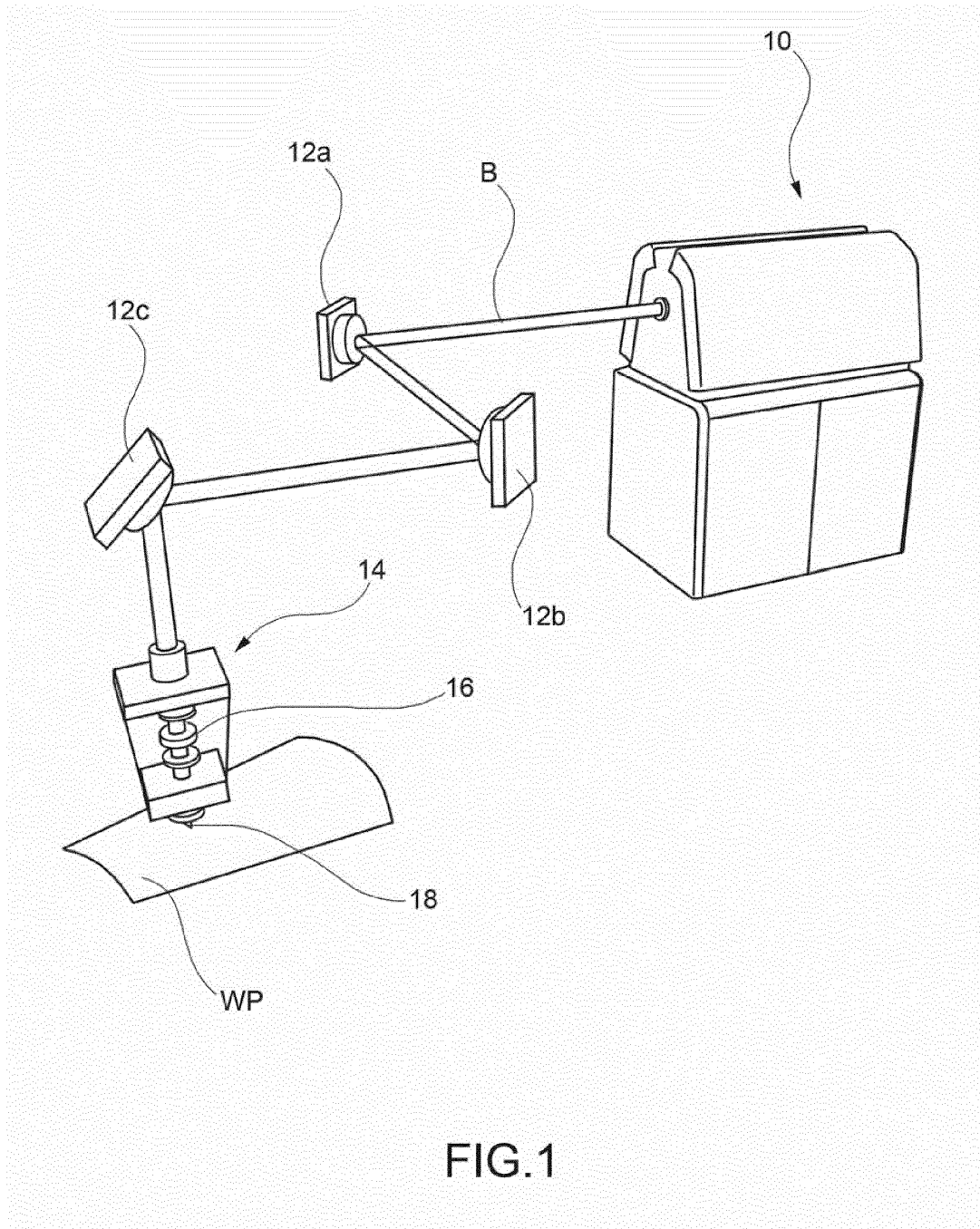
1. Un procedimiento de procesamiento por láser de un material metálico (WP), en particular para el corte, perforación o soldadura por láser de dicho material, por medio de un rayo láser (B) enfocado que tiene una distribución de potencia transversal predeterminada en al menos un plano de trabajo (II) del material metálico (WP), que comprende las etapas de:
- proporcionar una fuente de emisión de rayo láser (10);
 - conducir el rayo láser (B) emitido por dicha fuente de emisión (10) a lo largo de una trayectoria óptica de transporte del haz hasta un cabezal de trabajo (14) dispuesto en la proximidad de dicho material metálico (WP);
 - colimar el rayo láser (B) a lo largo de un eje óptico de propagación incidente sobre el material metálico (WP);
 - enfocar dicho rayo láser (B) colimado en un área de un plano de trabajo (II) de dicho material metálico (WP); y
 - conducir dicho rayo láser (B) enfocado a lo largo de una trayectoria de trabajo (T) sobre el material metálico (WP) que comprende una sucesión de áreas de trabajo (T1, R1, T2, R2, T3, H),
- comprendiendo el procedimiento conformar el rayo láser (B), en el que la conformación del rayo láser (B) comprende:
- reflejar dicho haz colimado (B) por medio de un elemento reflector de superficie controlada deformable (200) que tiene una superficie reflectante con una curvatura continua que incluye una pluralidad de áreas de reflexión movibles independientemente (200a-200r), y
 - controlar la disposición de dichas áreas de reflexión (200a-200r) para establecer una distribución de potencia transversal predeterminada del haz (B) en al menos un plano de trabajo (II) del material metálico (WP) en función del área del plano de trabajo actual (Π) y/o la dirección actual de la trayectoria de trabajo (T) en el material metálico (WP)
- caracterizado por que** el procedimiento comprende, además, las etapas de:
- suministrar un flujo de gas auxiliar hacia dicha área del plano de trabajo (II) del material metálico (WP) a lo largo de un eje del flujo del gas auxiliar,
 - trasladar el eje del flujo de gas auxiliar con relación a una trayectoria de trabajo (T) predeterminada sobre el material metálico (WP),
 - detectar la posición actual y/o la dirección de traslación actual del eje del flujo de gas auxiliar,
 - controlar la disposición de dichas áreas de reflexión (200a-200r) para establecer dicha distribución de potencia transversal predeterminada del haz (B) en un área del plano de trabajo (II) sobre el material metálico (WP) comprendida en una inmediación predeterminada alrededor del eje del flujo de gas auxiliar y dentro de un área de suministro (G1-G4) de dicho flujo,
 - ajustar automáticamente la posición del eje óptico de propagación del rayo láser (B) en función de la posición actual detectada y/o de la dirección de traslación actual detectada del eje del flujo de gas auxiliar.
2. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que controlar la disposición de dichas áreas de reflexión (200a-200r) del elemento reflector de superficie controlada (200) comprende controlar una combinación de movimientos de dichas áreas (200a-200r) con respecto a una superficie plana de referencia reflectante.
3. El procedimiento según la reivindicación 2, en el que controlar una combinación de movimientos de dichas áreas de reflexión (200a-200r) del elemento reflector de superficie controlada (200) comprende controlar el movimiento de traslación de dichas áreas (200a-200r) a lo largo del eje óptico del elemento reflector (200) y/o la rotación de dichas áreas (200a-200r) para obtener una inclinación con respecto al eje óptico del elemento reflector (200).
4. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el ajuste automático de la posición del eje óptico de propagación del rayo láser (B) 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 referencia a un patrón o programa de ajuste predeterminado.
5. El procedimiento según la reivindicación 1 o 4, en el que la posición del eje óptico de propagación del rayo láser (B) se ajusta de manera que esté de forma alternativa en un área frontal y en un área posterior con respecto a la

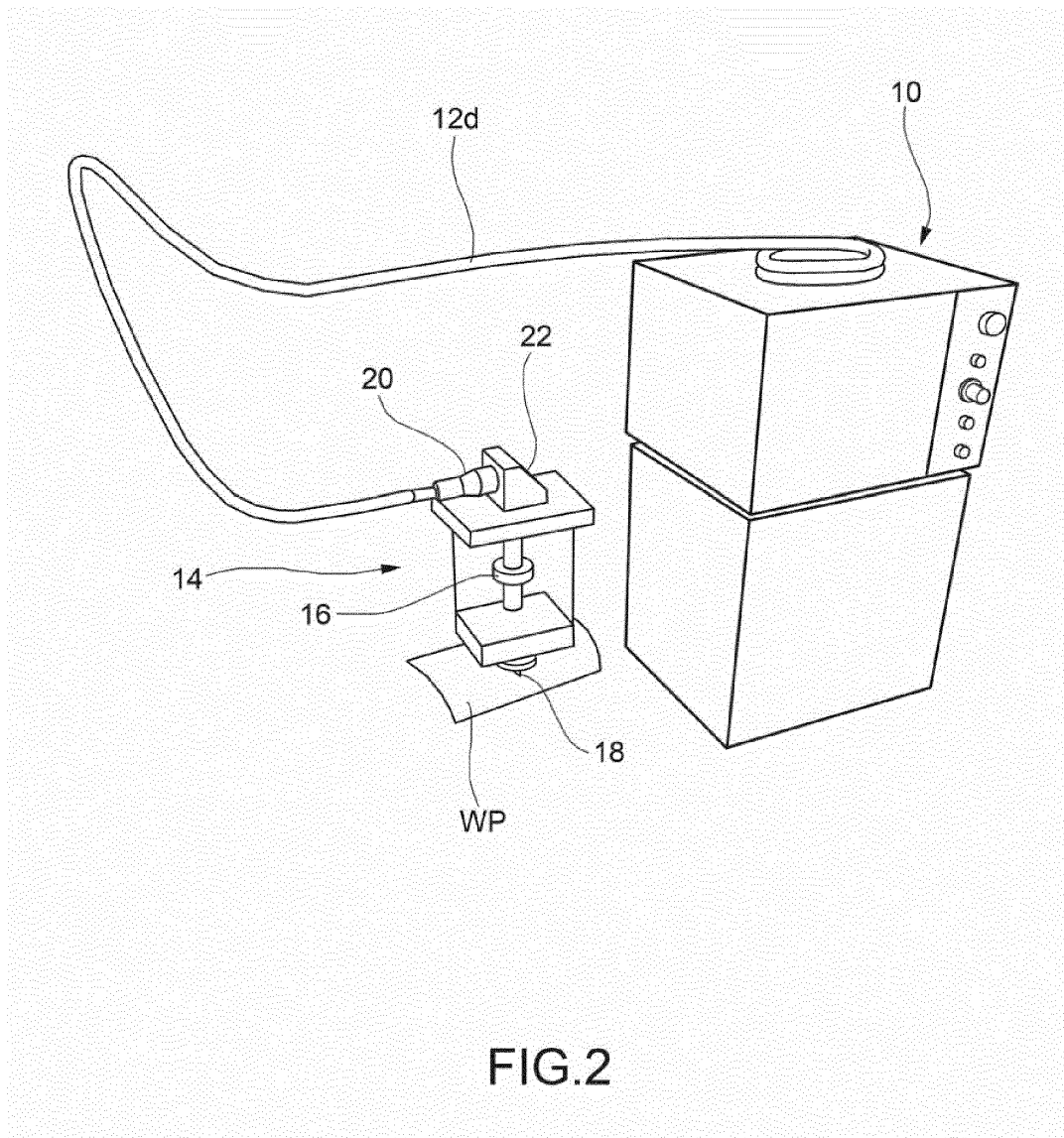
posición actual del eje del flujo de gas auxiliar a lo largo de la trayectoria de trabajo (T) durante una operación de corte del material metálico (WP).

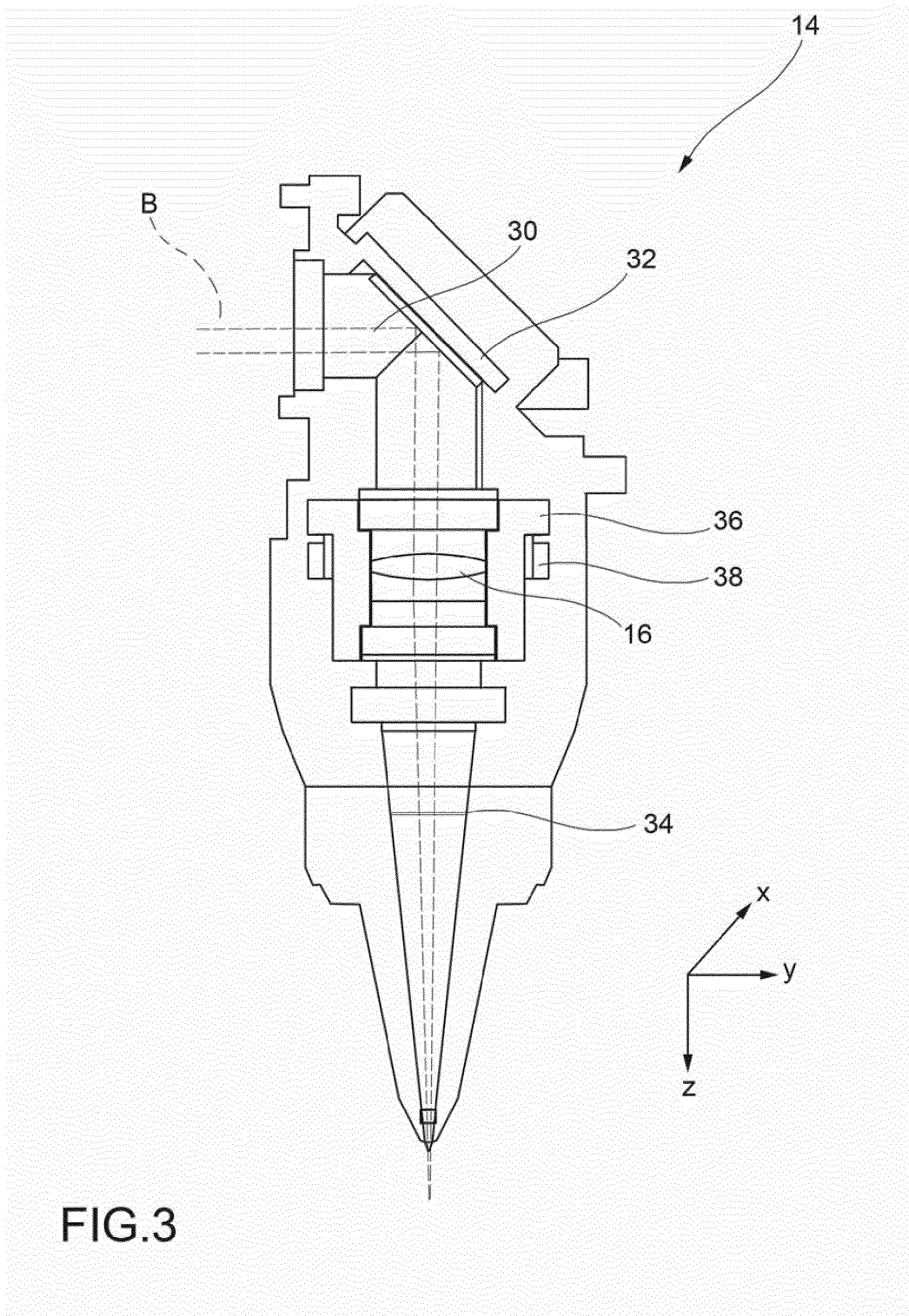
- 5 6. El procedimiento según la reivindicación 1 o 4, en el que la posición del eje óptico de propagación del rayo láser (B) se ajusta para seguir una trayectoria circular (S10, S11, S12, S13) alrededor de la posición actual del eje del flujo de gas auxiliar durante una operación de perforación del material metálico (WP).
- 10 7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende proporcionar un elemento reflector de superficie controlada deformable (200) que tiene una superficie reflectante con una curvatura continua que incluye una pluralidad de áreas de reflexión movibles independientemente (200a-200r) 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.
- 15 8. El procedimiento según la reivindicación 7, 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 aumenta desde la primera a la tercera hilera y de la cuarta a la sexta hilera en la dirección radial hacia el exterior del elemento reflector, siendo la altura de los sectores de corona circular de la cuarta hilera intermedia entre la altura de los sectores de corona circular de la primera y la segunda hilera.
- 20 9. Una máquina para el 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 láser (B) enfocado que tiene una distribución de potencia transversal predeterminada en al menos un plano de trabajo (II) del material metálico (WP), que comprende:
- 25 – una fuente de emisión de rayo láser (10);
- medios (12a, 12b, 12c; 12d) para conducir el rayo láser (B) emitido por dicha fuente de emisión (10) a lo largo de una trayectoria óptica de transporte del haz hasta un cabezal de trabajo (14) dispuesto en la proximidad de dicho material metálico (WP);
- 30 – medios ópticos (120) para colimar el rayo láser (B) a lo largo de un eje óptico de propagación incidente sobre el material metálico (WP);
- 35 – medios ópticos (16; 140) para enfocar dicho rayo láser (B) colimado en un área de un plano de trabajo (II) de dicho material metálico (WP),
- en el que al menos dichos medios ópticos de enfoque (16; 140) de dicho rayo láser (B) colimado son transportados por dicho cabezal de trabajo (14) a una distancia controlada de dicho material metálico (WP);
- 40 – medios para ajustar la distancia entre dicho cabezal de trabajo (14) y dicho material metálico (WP), adaptados para conducir dicho rayo láser (B) enfocado a lo largo de una trayectoria de trabajo (T) sobre el material metálico (WP) que comprende una sucesión de áreas de trabajo (T1, R1, T2, R2, T3, H),
- 45 – medios ópticos (180) para conformar el rayo láser (B) que incluyen un elemento reflector de superficie controlada deformable (200) que tiene una superficie reflectante con una curvatura continua que incluye una pluralidad de áreas de reflexión movibles independientemente (200a-200r), adaptadas para reflejar dicho rayo láser (B) colimado, estando adaptada la disposición de dichas áreas de reflexión (200a-200r) para establecer una distribución de potencia transversal predeterminada del haz (B) en al menos un plano de trabajo (II) del material metálico (WP); y
- 50 – medios electrónicos de procesamiento y control (ECU, CM1, CM2, CM3) dispuestos para controlar la disposición de dichas áreas de reflexión (200a-200r) para establecer una distribución de potencia transversal predeterminada del haz (B) en al menos un plano de trabajo (II) del material metálico (WP) en función del área del plano de trabajo actual (II) y/o la dirección actual de la trayectoria de trabajo (T) sobre el material metálico (WP),
- 55 **caracterizado por que** comprende una tobera (18) para suministrar un flujo de gas auxiliar hacia la zona de trabajo del material (WP), y
- 60 **por que** dichos medios electrónicos de procesamiento y control (ECU, CM1, CM2, CM3) están dispuestos, además, para:
- detectar la posición actual y/o la dirección de traslación actual del eje del flujo de gas auxiliar,
- 65 – trasladar el eje del flujo de gas auxiliar con relación a una trayectoria de trabajo (T) predeterminada sobre el material metálico (WP),

– ajustar automáticamente la posición del eje óptico de propagación del rayo láser (B) en función de la posición actual detectada y/o de la dirección de traslación actual detectada del eje del flujo de gas auxiliar.

- 5 10. Programa informático que comprende uno o más módulos de código para realizar un procedimiento de conformación de un rayo láser (B) cuando el programa es ejecutado por medios electrónicos de procesamiento y control (ECU, CM1, CM2, CM3) en una máquina para procesamiento por láser de un material metálico. (WP),
- 10 en el que dicha máquina comprende: medios ópticos (180) para conformar el rayo láser (B) incluyendo un elemento reflector de superficie controlada deformable (200) que tiene una superficie reflectante con una curvatura continua que incluye una pluralidad de áreas de reflexión movibles independientemente (200a-200r), adaptadas para reflejar un rayo láser (B) colimado, estando adaptada la disposición de dichas áreas de reflexión (200a-200r) para establecer una distribución de potencia transversal predeterminada del haz (B) en al menos un plano de trabajo (II) del material metálico (WP); y medios electrónicos de procesamiento y control (ECU, CM1, CM2, CM3)
- 15 dispuestos para controlar la disposición de dichas áreas de reflexión (200a-200r) para establecer una distribución de potencia transversal predeterminada del haz (B) en al menos un plano de trabajo (II) del material metálico (WP) en función del área del plano de trabajo actual (II) y/o la dirección actual de la trayectoria de trabajo (T) sobre el material metálico (WP),
- 20 **caracterizado por que** dicho procedimiento de conformar un rayo láser (B) comprende controlar la disposición de dichas áreas de reflexión (200a-200r) para establecer dicha distribución de potencia transversal predeterminada del haz (B) en un área del plano de trabajo (II) en el material metálico (WP) comprendido en una inmediación predeterminada alrededor del eje del flujo de gas auxiliar y dentro de un área de suministro (G1, G2, G3, G4) de dicho flujo, y ajustar automáticamente la posición del eje óptico de propagación del rayo láser (B) en función de la
- 25 posición actual detectada y/o de la dirección de traslación actual detectada del eje del flujo de gas auxiliar.







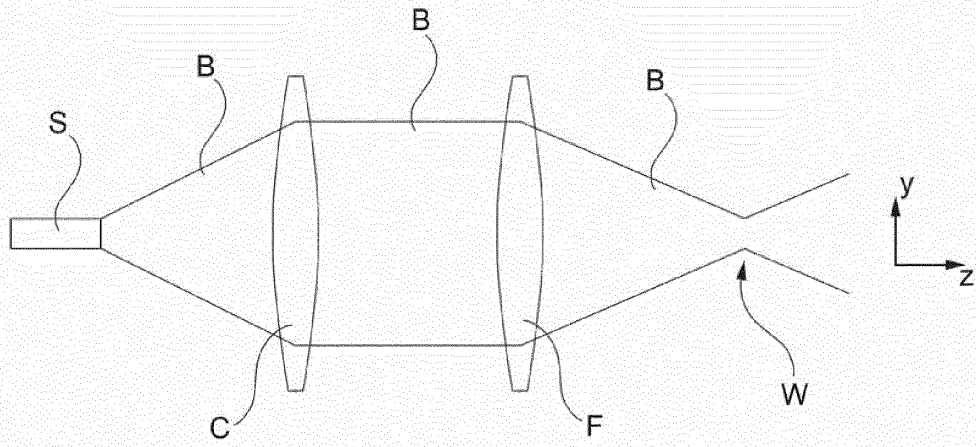


FIG.4

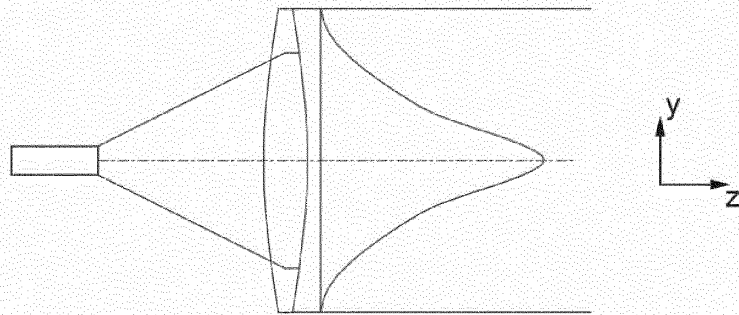


FIG.5

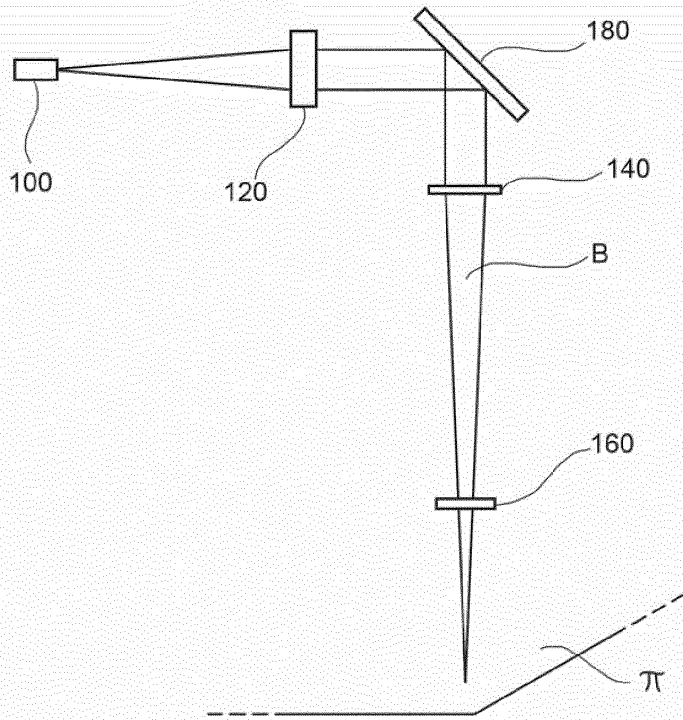


FIG. 6

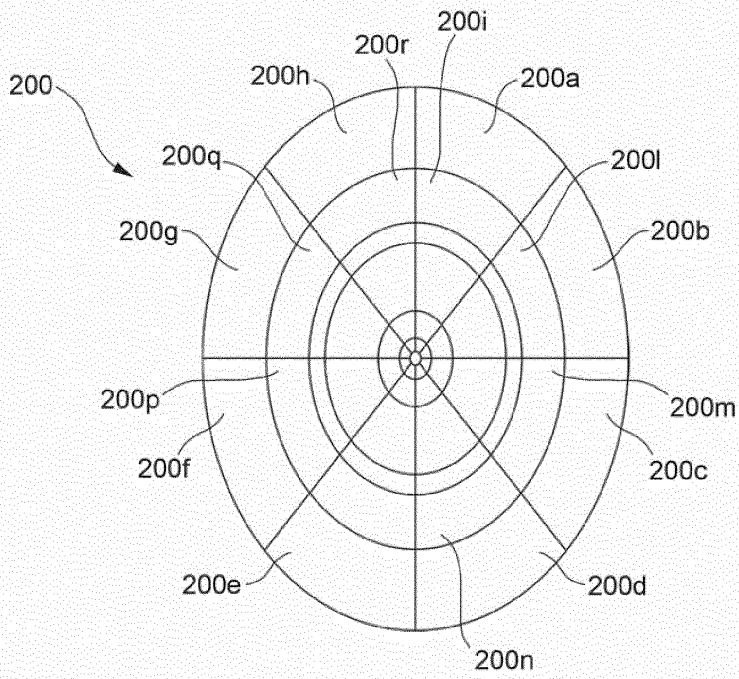


FIG. 7

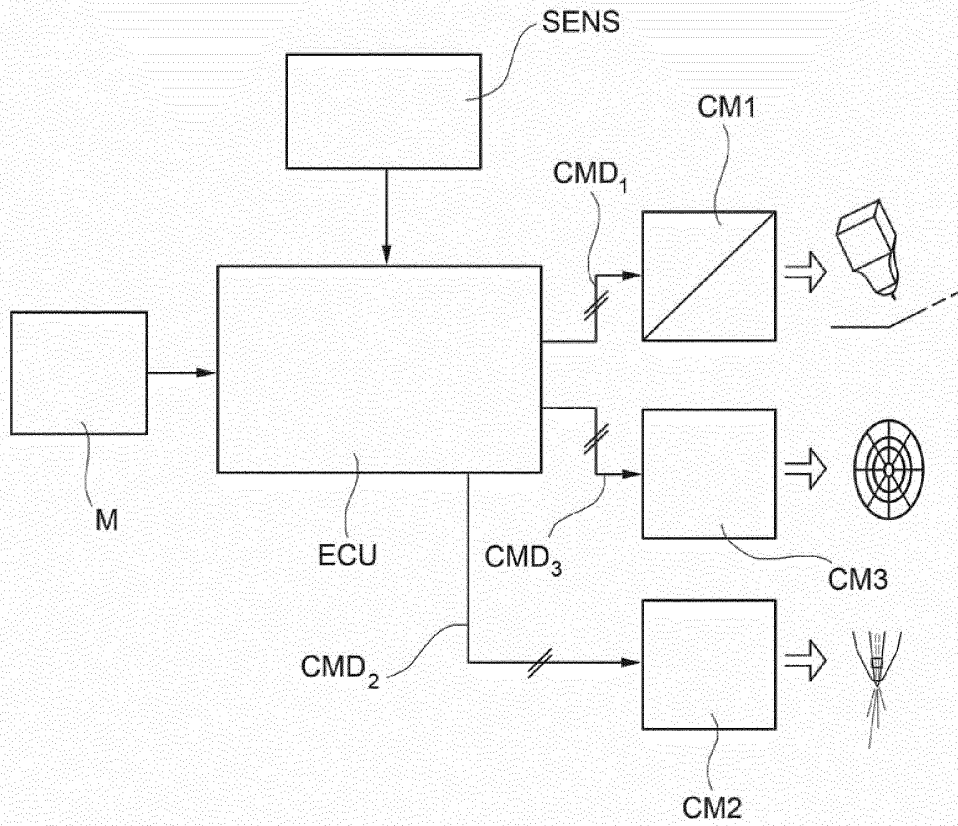


FIG.8

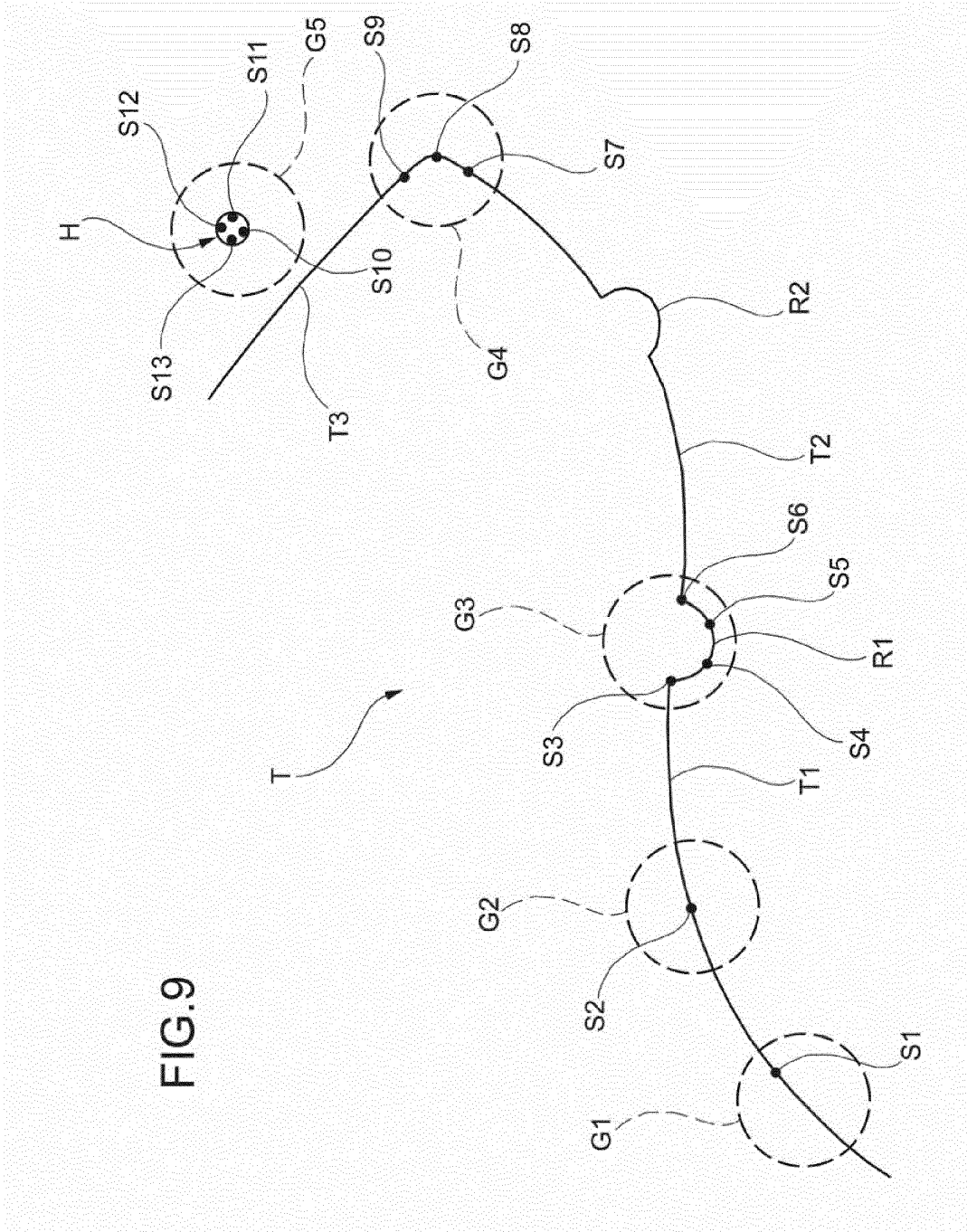


FIG. 9