

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 807 595**

51 Int. Cl.:

B23K 26/04 (2014.01)

B23K 26/08 (2014.01)

B23K 26/082 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.07.2015** **E 15178871 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020** **EP 3124163**

54 Título: **Sistema y método para procesamiento con láser**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.02.2021

73 Titular/es:

YASKAWA SLOVENIJA D.O.O (100.0%)

Lepovce 23

1310 Ribnica, SI

72 Inventor/es:

JEZERSEK, MATIJA;

MOZINA, JANEZ;

DIACI, JANEZ y

KOSLER, HUBERT

74 Agente/Representante:

ARAUJO EDO, Mario

ES 2 807 595 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

Sistema y método para procesamiento con láser

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a procesamiento con láser, en particular, a un sistema y a un método para el procesamiento con láser de una pieza.

10 Antecedentes

El procesamiento con láser, tal como la soldadura con láser, el corte con láser, el marcado con láser y el grabado con láser, se realiza mediante sistemas que utilizan un sistema de escaneado láser, tal como un cabezal de escaneado, para dirigir un haz láser sobre una pieza.

15 Para monitorizar el procesamiento con láser, es conocido utilizar sistemas que comprenden una cámara. En algunos sistemas, la cámara está dispuesta en un eje central de haz, que se define mediante el sistema de escaneado láser. El eje central de haz define una trayectoria, es decir, una dirección, orientación y posición, de un haz central, que puede proporcionarse en una posición central o en una configuración central de una óptica de desviación del sistema de escaneado.

20 Una posición de la cámara en el eje central de haz tiene la desventaja de que la vista de la cámara en la parte de la pieza que se está procesando puede quedar obstruida mediante expulsiones por fusión y/o columnas de plasma creadas durante el procesamiento con láser. Esta desventaja se puede evitar utilizando una orientación inclinada para la cámara de manera que la dirección de visión de la cámara esté inclinada con respecto al haz láser dirigido y con respecto al eje central de haz. En el documento US 2006/0006156 A1 se proporciona un ejemplo para un dispositivo de soldadura con láser con una cámara inclinada.

30 Para obtener resultados de proceso de alta calidad, por ejemplo, en términos de resistencia de la soldadura, apariencia visual o estética y funcionalidad, es esencial que el haz láser sea dirigido con precisión con respecto a una trayectoria predeterminada deseada y que la trayectoria predeterminada se haya definido de manera correcta y precisa con respecto a la pieza. Una de las formas más comunes para generar una trayectoria para el haz láser, es decir, una secuencia de configuraciones que permite dirigir el haz láser a lo largo de dicha trayectoria, es enseñar al sistema mediante el uso de un haz piloto o un haz de guía. En dicho procedimiento, el haz piloto se mueve a referencias específicas o puntos de referencia de la pieza y se determina la configuración correspondiente para el haz láser que se utiliza para el procesamiento con láser. La precisión de una evaluación visual del posicionamiento del haz de guía a ojo es limitada (a simple vista se resuelve alrededor de 0,25 mm) y la generación de la trayectoria correspondiente lleva mucho tiempo.

40 El documento DE 10 2010 005 896 A1 divulga un robot de soldadura láser para conectar piezas por medio de una soldadura. En un brazo del robot de soldadura, se proporciona un dispositivo de soldadura con láser que comprende una disposición de acoplamiento para acoplar la luz láser y un cabezal láser. El cabezal láser comprende un escáner de espejo que incluye un espejo inclinable y al menos una óptica de enfoque que tiene un aparato de posicionamiento, permitiendo enfocar y posicionar el haz láser en el componente. El dispositivo de soldadura láser del robot de soldadura láser comprende al menos un control electrónico para los componentes que forman el cabezal láser. El cabezal láser es adecuado para colocarse a una distancia de más de 250 mm de la unión de las piezas a soldar. Se proporciona un aparato de detección en o sobre el cabezal láser para determinar una posición de la unión de las piezas con respecto a la posición de un foco de haz láser, en el que el aparato de detección está acoplado operativamente con el control electrónico del cabezal láser. Este documento divulga además un método para unir piezas utilizando dicho robot de soldadura láser.

55 El documento EP 1 219 380 A2 divulga un método de soldadura láser y un aparato de soldadura láser correspondiente. En el método de soldadura láser, un detector de porción de soldadura y un proyector de haz láser dispuestos a una distancia predeterminada detrás del detector de porción de soldadura se mueven juntos. El detector de la porción de soldadura detecta una línea de soldadura y el proyector de haz láser proyecta en la línea de soldadura detectada por el detector de la porción de soldadura para soldadura láser. Los datos sobre las posiciones de soldadura detectadas secuencialmente por el detector de la porción de soldadura se almacenan secuencialmente en combinación con los tiempos en que se obtienen los datos sobre las posiciones de soldadura y las velocidades de movimiento del detector de la porción de soldadura en la memoria. Un tiempo en que el detector de la porción de soldadura pasa un punto en el que acaba de llegar el proyector de haces láser se calcula en función de los tiempos y las velocidades de movimiento almacenadas en la memoria. El proyector de haz láser proyecta un haz láser en una posición de soldadura detectada en el tiempo así calculado.

65 El documento GB 1 575 054 divulga un aparato para el procesamiento de alta precisión de una pieza con haces láser que comprende un láser de procesamiento para proyectar un haz láser de procesamiento mediante un sistema óptico de enfoque, un divisor de haz y un sistema óptico de control de desviación de haz láser. El aparato

comprende además un láser de medición para proyectar un haz de medición que es introducido en una trayectoria del haz láser de procesamiento por el divisor de haz mediante un sistema óptico de enfoque. El procesamiento con láser mediante el dispositivo se realiza escaneando una superficie de procesamiento conocida de la pieza con el haz láser de medición, determinando coordenadas de posición de la superficie de la pieza en referencia a coordenadas de punto central de una superficie efectiva del láser de procesamiento, y dirigiendo luz láser sobre la superficie de la pieza en base a dichas coordenadas.

El documento JP 4 418 282 B2 divulga un dispositivo de generación de imágenes con haz láser que comprende una fuente de luz láser para generar un haz láser de procesamiento que está controlado por un sistema óptico de telescopio, una placa polarizadora, un espejo y una lente de objeto. Además, el dispositivo de formación de imágenes con haz láser comprende una fuente de luz para generar un haz láser de medición, ajustándose el haz láser de medición mediante un dispositivo de conformación y un semiespejo antes de ser transmitido a través del espejo y la lente de objeto. El haz láser de medición y el haz láser de procesamiento son siempre dirigidos en la misma dirección mientras la pieza es desplazada con respecto a los haces láser por una plataforma de desplazamiento en la que la pieza está dispuesta.

El documento US 2012/015318 A1 divulga un dispositivo de procesamiento con láser en el que se puede configurar una fuente de radiación láser para emitir luz de diferentes intensidades de pico de pulso para proporcionar luz láser para un modo de diagnóstico y luz láser para un modo de terapia.

Resumen de la invención

El objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para procesamiento con láser que permitan un procesamiento con láser rápido, preciso y eficiente.

Este objetivo se alcanza mediante las reivindicaciones independientes. Desarrollos adicionales y realizaciones ventajosas se definen en las reivindicaciones dependientes.

La presente invención se refiere a un sistema para procesamiento con láser de una pieza, en el que el sistema comprende una fuente láser, un sistema de escaneado láser, una cámara, un robot, una unidad de procesamiento y una unidad de control.

La fuente láser está configurada para generar un haz de trabajo. La fuente láser puede estar adicionalmente configurada para generar un haz de medición. Alternativamente, el sistema puede comprender una fuente óptica adicional para generar el haz de medición. Debido a que el sistema está configurado para generar dos haces diferentes, a saber, el haz de trabajo y el haz de medición, el haz de trabajo se puede utilizar para el procesamiento con láser mientras que el haz de medición se puede usar para generar datos de trayectoria en función de los cuales se puede controlar el sistema para procesamiento con láser, como se explica más adelante.

El sistema de escaneado láser define un eje central de haz y está configurado para dirigir el haz de medición sobre la pieza y para dirigir el haz de trabajo sobre la pieza. De este modo, se puede utilizar el mismo sistema de escaneado láser para generar datos de trayectoria basados en el escaneado del haz de medición y para el procesamiento con láser en base a el escaneado del haz de trabajo.

La cámara está inclinada respecto al eje central de haz y separada del eje central de haz. De acuerdo con esta disposición, la cámara puede tener una dirección de visualización de una pieza que está en ángulo o inclinada con respecto al haz de medición cuando éste está escaneando la pieza. Esto permite determinar la posición y la orientación de la pieza en un espacio tridimensional con respecto al sistema, por ejemplo, mediante triangulación. Esto no sería posible, si la dirección de visualización de la cámara y la dirección del haz de medición coincidieran.

Debido a su disposición inclinada y separada, la cámara también es adecuada para monitorizar el procesamiento con láser desde un lateral. Esto permite realizar la monitorización incluso en caso de que se den columnas de plasma o expulsiones de material fundido que generalmente se extienden en una dirección vertical, es decir, en una dirección correspondiente o cercana a la dirección central de haz. Debido a que la cámara está separada e inclinada respecto a esta dirección, la visibilidad de la parte de interés de la pieza no queda obstruida para la cámara.

La orientación inclinada y separada de la cámara permite además determinar una posición o distancia vertical de la ubicación de procesamiento en la pieza desde el sistema de escaneado láser.

Además, la cámara está dispuesta en una relación fija respecto al sistema de escaneado láser y el robot está configurado para mover el sistema de escaneado láser. De este modo, el escaneado del haz de trabajo y del haz de medición puede realizarse en combinación por el sistema de escaneado láser y por el robot. Esto permite un escaneado más rápido y aumentar el rango de escaneado, incrementándose el rango de escaneado tanto en términos de un área escaneable como en términos de una orientación escaneable de una porción de superficie de la pieza con respecto al sistema. La relación fija entre la cámara y el sistema de escaneado láser garantiza que el movimiento del sistema de escaneado láser causado por el robot coincida con un movimiento correspondiente de la

cámara. Por consiguiente, la orientación de la cámara y las ventajas resultantes previamente descritas se pueden proporcionar a una velocidad de escaneado alta y para un área de escaneado grande.

5 La unidad de procesamiento está configurada para determinar una relación entre una configuración del sistema y una posición resultante de un foco del haz de trabajo o de una proyección del haz de trabajo con respecto a la pieza para esa configuración, en base a una relación espacial entre el haz de trabajo y un haz de medición y en base a una imagen de cámara de la pieza tomada cuando la pieza es escaneada por el haz de medición. La unidad de procesamiento está configurada además para generar datos de trayectoria en base a la relación determinada mencionada anteriormente y en base a criterios predefinidos. Los datos de trayectoria son datos que permiten
10 controlar la configuración del sistema de tal manera que el haz de trabajo sea dirigido sobre la pieza a lo largo de una trayectoria definida por los datos de trayectoria. Por consiguiente, los datos de trayectoria no necesariamente deben comprender las coordenadas tridimensionales de la trayectoria deseada, sino información correspondiente que permita ajustar la configuración del sistema, de modo que el haz de trabajo sea dirigido a lo largo de una trayectoria correspondiente con respecto a la pieza. Dicha información correspondiente puede comprender, por
15 ejemplo, una secuencia de configuraciones del sistema que permite dirigir el haz de trabajo a lo largo de la trayectoria correspondiente. Como la relación determinada comprende información posicional de la pieza, los criterios restantes para generar la trayectoria de escaneado con respecto a la pieza pueden ser predefinidos, es decir, se pueden definir de antemano e independientemente de la forma y la posición relativa y la orientación de la pieza con respecto al sistema. Esto permite predefinir ciertos criterios para una trayectoria de escaneado
20 independientemente de cualquier pieza específica y usar estos criterios para generar una trayectoria para una pieza que tenga una forma específica y una orientación y posición relativas específicas con respecto al sistema. De este modo, el propio sistema puede obtener parcialmente la información requerida para generar la trayectoria utilizando el haz de medición y la cámara sin necesidad de recopilar información sobre la pieza específica, por ejemplo sobre su forma, orientación o posición. Por consiguiente, el sistema puede generar los datos de trayectoria automáticamente tan pronto como la pieza a procesar esté dispuesta bajo del sistema de escaneado láser. Debido a que los datos de
25 la trayectoria pueden generarse automáticamente para la pieza específica posicionada de la trayectoria generada, es independiente de cualquier posicionamiento de la pieza y no depende de la información externa de la pieza. Por consiguiente, el procesamiento puede ser comparativamente preciso y rápido sin necesidad de una preparación prolongada del procesamiento con láser.

30 La unidad de control está configurada para controlar la configuración del sistema para dirigir el haz de trabajo sobre la pieza de acuerdo con los datos de trayectoria para procesar el material de la pieza. Debido a que el sistema permite generar los datos de trayectoria inmediatamente antes del procesamiento con láser en base a una medición realizada por el mismo sistema que se utiliza para el procesamiento con láser y en base a la misma pieza en la
35 misma orientación y posición que la utilizada para el procesamiento con láser, el procesamiento con láser puede ser muy preciso y puede tener una alta calidad.

Por consiguiente, el sistema permite un procesamiento con láser rápido y preciso y una monitorización del procesamiento, usándose el mismo sistema de escaneado para dirigir el haz de medición y para dirigir el haz de
40 trabajo y la misma cámara se usa para monitorizar y para la generación de trayectorias. Al utilizar el sistema de escaneado láser y la cámara para diferentes funciones, no es necesario que el sistema comprenda componentes adicionales para realizar estas funciones. Este uso eficiente de los componentes del sistema permite proporcionar las funciones anteriores a un costo relativamente bajo.

45 El procesamiento con láser puede comprender al menos uno de: soldadura con láser, corte con láser, marcado con láser y grabado con láser.

Los criterios predefinidos pueden comprender características predefinidas en una o más imágenes de la pieza, pudiendo la cámara tomar una o más imágenes cuando la pieza es iluminada o escaneada con el haz de medición.
50 Alternativamente o adicionalmente, los criterios predefinidos pueden comprender información de trayectoria predefinida. Debido a que las características predefinidas y/o a la información de trayectoria predefinida están predefinidas, no es necesario que comprendan información sobre la geometría de la pieza y/o la posición y orientación de la pieza con respecto al sistema. La información de trayectoria predefinida puede ser independiente de cualquier imagen tomada por la cámara.

55 La configuración del sistema puede comprender una configuración de una óptica de desviación del sistema de escaneado láser, una configuración de una óptica de enfoque del sistema de escaneado láser y/o una configuración del robot. La configuración de la óptica de desviación y del robot pueden determinar la posición de una proyección del haz de medición sobre la pieza. La posición de la proyección se puede cambiar cambiando la configuración de la
60 óptica de desviación y/o del robot, es decir, moviendo la óptica de desviación y/o usando el robot para mover el sistema de escaneado láser. No es necesario un control adicional de la óptica de enfoque, pero puede dar como resultado una trayectoria que no necesariamente se encuentra sobre la superficie de la pieza, sino que también se puede disponer por encima o por debajo de la superficie. En este caso, la trayectoria puede corresponder a la trayectoria del foco del haz de trabajo puede estar por encima o por debajo de la superficie de la pieza, mientras que
65 la proyección del haz de trabajo sobre la pieza necesariamente se encuentra sobre la superficie de la pieza.

De acuerdo con una realización preferente, el sistema comprende además una unidad de monitorización para monitorizar el procesamiento con láser utilizando la cámara. Tal sistema puede usarse para un procesamiento con láser rápido y preciso, así como para monitorizar el procesamiento con láser compartiendo los componentes del sistema sin necesidad de una unidad de detección óptica adicional y sin la necesidad de una reconstrucción del sistema que requiera mucho tiempo, por ejemplo, mediante el intercambio de componentes.

De acuerdo con otra realización, el sistema comprende además una unidad de control de proceso para controlar el enfoque y/o la potencia del haz de trabajo en base a una monitorización de la unidad de monitorización. Esto permite mejorar la calidad del proceso en tiempo real, es decir, durante el procesamiento con láser, en respuesta directa a una monitorización que detecte que el proceso se desvía de un proceso deseado.

La unidad de procesamiento puede estar configurada además para determinar una topología tridimensional (3D) de la pieza basada en una relación espacial entre el haz de medición y la cámara y en base a al menos una imagen de cámara de la pieza tomada cuando el haz de medición se escanea sobre la pieza. La determinación de la topología 3D es posible porque la cámara está inclinada respecto al eje central de haz y está separada del eje central de haz. Esto permite comparar una topología 3D de la pieza procesada y sin procesar antes y después del procesamiento con láser.

De acuerdo con otra realización, el sistema comprende una unidad de evaluación para comparar una topología 3D de la pieza antes y después del procesamiento con láser. Esta realización permite una evaluación rápida y fácil del procesamiento con láser.

El sistema puede comprender además una unidad de visualización para visualizar una diferencia entre las topologías comparadas. Por consiguiente, la calidad del proceso con láser se puede visualizar y evaluar en función de una apariencia visualizada.

Preferentemente, la potencia del haz de medición es menor que la potencia del haz de trabajo. Esto puede garantizar que la pieza no sea procesada o dañada por el haz de medición y solo sea procesada por el haz de trabajo.

Preferiblemente el sistema está dispuesto, tal que para un ajuste dado del sistema, el haz de medición y el haz de trabajo abandonan el sistema de escaneo láser siguiendo la misma trayectoria. De este modo, el haz de medición y el haz de trabajo coincidirían después de abandonar el sistema de escaneo láser, si estos haces se proporcionasen simultáneamente. En esta disposición, la relación mencionada anteriormente se puede determinar con bastante facilidad porque no es necesario transformar la configuración para el haz de medición en una configuración para el haz de trabajo.

En una o más de las realizaciones mencionadas anteriormente, la fuente láser puede ser un láser de fibra y el haz de medición y el haz de trabajo pueden usar una fibra común. Esto asegura una alineación precisa de la trayectoria del haz de medición y de la trayectoria del haz de trabajo, que hace la determinación de los datos de la trayectoria, como se mencionó anteriormente, más fácil y que puede mejorar la precisión de los datos de la trayectoria. Puede que no sea necesario ajustar otros componentes ópticos para alinear el haz de medición y el haz de trabajo.

La presente invención se refiere además a un método para procesamiento con láser de una pieza mediante el uso de un sistema que comprende un sistema de escaneo láser, una cámara y un robot, en el que la cámara está inclinada respecto a un eje central de haz definido por el sistema de escaneo láser, está separada del eje central de haz y está dispuesta en una relación fija respecto al sistema de escaneo láser, comprendiendo el método lo siguiente:

- 50 - proporcionar una pieza bajo del sistema de escaneo láser,
- escanear o iluminar la pieza con un haz de medición utilizando el sistema de escaneo láser,
- 55 - durante dicho escaneo o iluminación, adquirir imágenes de la pieza utilizando la cámara,
- determinar una relación entre una configuración del sistema y una posición resultante de un foco del haz de trabajo o de una proyección del haz de trabajo en relación con la pieza para esa configuración, determinándose la relación en base a una relación entre el haz de medición y el haz de trabajo y en base a las imágenes adquiridas por la cámara,
- 60 - generar datos de trayectoria en función de la relación determinada y en función de criterios predefinidos,
- controlar la configuración del sistema para escanear el haz de trabajo sobre la pieza de acuerdo con los datos de trayectoria para procesar el material de la pieza.
- 65

Las etapas para determinar una relación y generar datos de trayectoria pueden comprender las siguientes etapas:

- características distintivas en una o más imágenes de la pieza, siendo dicha una o más imágenes imágenes tomadas por dicha cámara cuando la pieza se ilumina o escanea con el haz de medición,
- 5 - determinar a partir de dichas características distintivas una característica caracterizadora en base a una comparación con una característica predefinida,
- determinar una configuración del sistema para el haz de trabajo, determinándose dicha configuración en base a una posición de la característica caracterizadora en dicha una o más imágenes tomadas por la cámara.

10 Preferentemente, las etapas de escaneado del haz de medición y/o del haz de trabajo son realizadas por el sistema de escaneado láser y por el robot. Si el sistema de escaneado láser y el robot se usan en combinación para el escaneado, el rango de escaneado y la velocidad de escaneado se pueden aumentar.

15 **Breve descripción de los dibujos**

Otros detalles y ventajas de la presente invención resultan evidentes a partir de la siguiente descripción, en la que se describen realizaciones ilustrativas con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

20 La figura 1 ilustra un sistema de acuerdo con una realización de la presente invención,

La figura 2 ilustra una imagen adquirida con una cámara del sistema de la figura 1,

La figura 3 muestra una superposición de múltiples imágenes adquiridas por la cámara del sistema de la figura 1,

25 La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un método de acuerdo con una realización de la presente invención,

La figura 5 ilustra las etapas del método ilustrado en la figura 4,

30 La figura 6 ilustra una monitorización de un procesamiento con láser usando el sistema de la figura 1,

La figura 7 ilustra imágenes tomadas por la cámara del sistema de la figura 1, y

La figura 8 ilustra el escaneado de un haz de medición y un haz de trabajo.

35 En los dibujos, se utilizan los mismos signos de referencia para designar las mismas características.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

40 La figura 1 muestra un sistema 10 de acuerdo con una realización de la presente invención. El sistema 10 comprende una fuente láser 12, un robot 14, un sistema de escaneado láser que tiene la forma de un cabezal de escaneado con láser 16, una cámara 18, una unidad de procesamiento 20 y una unidad de control 22.

45 Como se muestra en la figura 6, el cabezal de escaneado con láser 16 define un eje central de haz 24 y la cámara 18, que está dispuesta en una relación fija respecto al cabezal de escaneado con láser 16, define un eje de visualización 26. La cámara 18 o el eje de visualización 26 de la misma están inclinados con respecto al eje central de haz 24. Adicionalmente, la cámara 18 o una sección transversal del eje de visualización 26 y un plano de imagen 28 de la cámara 18 está separados del eje central de haz 24.

50 La fuente láser 12 del sistema 10 está configurada para generar un haz de medición 30 y un haz de trabajo 31 que pueden proporcionarse a través de una fibra óptica 32 al cabezal de escaneado láser 16.

55 El cabezal de escaneado 16 está montado en el robot 14, y el que el robot permite una rotación alrededor de varios ejes A_1 a A_5 , como se ilustra en la figura 1. Esto permite trasladar el cabezal de escaneado 16 en el ejemplo de la figura 1 en tres dimensiones manteniendo la orientación del cabezal de escaneado 16 dentro del sistema de coordenadas XYZ indicado en la figura 1. Adicionalmente, el robot 14 permite cambiar la orientación del cabezal de escaneado dentro del sistema de coordenadas XYZ indicado en la figura 1.

60 El cabezal de escaneado 16 incluye una óptica de desviación 34 y una óptica de enfoque 36. El direccionado del haz de medición 30 y del haz de trabajo 31 sobre la pieza 38 puede realizarse moviendo la óptica de desviación 34 y/o usando el robot 14 para mover el cabezal de escaneado 16. Mediante el uso adicional del robot, se pueden escanear áreas más grandes y formas más complejas en comparación con los sistemas que solo usan un cabezal de escaneado 16 para escanear. Por ejemplo, el robot 14 permite escanear superficies uniformes que tienen una dirección normal que es perpendicular a la dirección Z en la figura 1. Como se puede ver en la figura 1, por lo tanto, 65 el robot 14 permite escanear las superficies inclinadas entre sí 90° o incluso más.

A continuación se explicará cómo se puede usar el sistema 10 para generar datos de trayectoria que permiten controlar la configuración del sistema 10 para dirigir el haz de trabajo 31 a lo largo de una trayectoria deseada con respecto a la pieza 38.

5 La configuración del sistema 10 comprende la configuración del robot 14, es decir, las posiciones de rotación con respecto a los ejes A_1 a A_5 , y la configuración de la óptica de desviación 34. Estos ajustes determinan la posición y la orientación del haz de medición 30 y del haz de trabajo 31, cuando se proporciona, y crean una proyección del haz de medición 30 o del haz de trabajo 31 en una posición correspondiente de la pieza 38, cuando la pieza 38 está dispuesta bajo del cabezal de escaneado con láser 16. Por consiguiente, una trayectoria sobre la pieza 38 puede estar definida por una secuencia de ajustes del robot 14 y de la óptica de desviación 34.

Además, pero no necesariamente, la configuración del sistema 10 también puede comprender una configuración de la óptica de enfoque 36. En este caso, una trayectoria que se defina por la configuración del sistema 10 con respecto a la pieza 38 también puede extenderse fuera del plano de la superficie de la pieza 38, si la trayectoria corresponde a una trayectoria de las posiciones focales del haz de trabajo 31.

Con referencia a la figura 1, el haz de medición 30 es dirigido por la óptica de desviación 34 del cabezal de escaneado con láser 16 con relativa rapidez en la dirección Y y simultáneamente mediante un movimiento del robot 14 en la dirección X con una velocidad de escaneado comparativamente baja.

La figura 2 muestra una imagen bidimensional 40 tomada por la cámara 18 durante el proceso de escaneo ilustrado en la figura 1. La imagen bidimensional 40 comprende una línea 42 que representa una proyección 44 del haz de medición 30 sobre la pieza 38, cuando el haz de medición 30 es dirigido por la óptica de desviación 34 en dirección Y. En el ejemplo de la figura 2, el tiempo de integración de la cámara 18 es comparativamente grande con respecto al escaneado en dirección Y y relativamente lento con respecto al escaneado en dirección X. Por consiguiente, la imagen 40 comprende una línea 42, en lugar de un área o un solo punto como representación de la proyección 44 del haz de medición 30.

En otros ejemplos, que no se muestran, se puede obtener una imagen similar a la de la figura 2 superponiendo múltiples imágenes de cámara, tomada con un menor tiempo de integración de la cámara 18. En estos ejemplos, cada imagen de la cámara comprende un punto en lugar de la línea 42, correspondiendo la superposición de todos los puntos a la línea 42 como se muestra en la figura 2.

En el ejemplo de la figura 1, la pieza 38 corresponde a una lámina de metal que está doblada, de manera que se proporciona una línea de plegado 46. La línea de plegado 46 corresponde a una trayectoria sobre la pieza 38 a lo largo de la cual se puede procesar la pieza 38, por ejemplo, mediante corte con láser. Como la pieza 38 está doblada o plegada hacia arriba con respecto a la línea de plegado 46. La línea de plegado 46 corresponde a una línea de valle o a una trayectoria de mínimos locales a lo largo de la superficie de la pieza 38. Este perfil de superficie de valle se refleja en la proyección 44 que tiene forma de V con un mínimo local en la línea de plegado 46. Como la cámara 18 está inclinada con respecto al eje central de haz 24 correspondiente a la dirección Z de la figura 1, también la línea 42 en la imagen de la cámara 40 tiene forma de V.

Basándose en el criterio predefinido "mínimo local en una línea 42", se puede analizar la imagen 40 y determinar un mínimo local 48 y su posición en la imagen bidimensional 40. En base a la posición del mínimo local 48 en la imagen 40, es posible determinar la posición tridimensional de la intersección de la proyección 44 y la línea de plegado 46 en el sistema de coordenadas XYZ. Esta determinación se puede realizar mediante el uso de triangulación, lo que requiere que la cámara 18 esté separada de la dirección definida por el haz de medición 30 e inclinada con respecto a esta dirección. De este modo, la posición tridimensional se puede determinar en función de la dirección del haz de medición 30 cuando apunta a la intersección entre la línea de plegado 46 y la proyección 44 en base a la dirección del haz de medición reflejado que se refleja desde la intersección a la cámara y en base a la distancia entre la cámara y el haz de medición 30.

De forma similar, es posible determinar para cada posición sobre la línea 42 de la imagen bidimensional de cámara 40 la posición tridimensional real correspondiente sobre la proyección 44 sobre la superficie de la pieza 38 en el sistema de coordenadas XYZ. El sistema de coordenadas XYZ se puede usar para describir la posición tridimensional y la orientación de la pieza 38 con respecto al sistema 10.

La figura 3 muestra una superposición de múltiples imágenes de cámara 40 que se han tomado durante el escaneado de la figura 1 para diferentes posiciones de escaneado en dirección X. Para cada línea 42 en la figura 3 se puede determinar la posición de la imagen del mínimo local 48 correspondiente. A partir de cada posición de imagen determinada, se puede determinar la posición tridimensional correspondiente sobre la línea de plegado 46 sobre la superficie de la pieza 38, tal y como se ha explicado anteriormente. A partir de estas posiciones tridimensionales determinadas, se puede generar una trayectoria tridimensional o coordenadas que representen la trayectoria tridimensional y proporcionarla a la unidad de control 22. En base a estas coordenadas, que representan datos de trayectoria, la unidad de control 22 puede controlar el cabezal de escaneado con láser 16, el robot 14 y la fuente láser 12 para escanear el haz de trabajo 31 sobre la pieza 38, tal que la proyección del haz de trabajo 31 se

mueva a lo largo de la trayectoria tridimensional que en este ejemplo corresponde a la trayectoria de la línea de plegado 46. En este ejemplo, la trayectoria de escaneo tridimensional para el haz de trabajo 31 corresponde a la trayectoria de la línea de plegado 46.

5 Cabe destacar que en otros ejemplos se pueden usar otros criterios predefinidos que dan como resultado una trayectoria tridimensional que no corresponde a una línea característica en el perfil de superficie de la pieza 38, tal como la línea de plegado 46. Por ejemplo, es posible determinar las posiciones de trayectoria en función de las posiciones de imagen que se determinan en función del criterio predefinido que la posición de la imagen de interés corresponda a "una posición sobre la línea 42 y tenga una distancia predefinida desde un mínimo local 48 en una dirección predefinida (por ejemplo, izquierda o derecha)". En otros ejemplos, la trayectoria puede tener un desplazamiento (offset) predefinido en el sistema de coordenadas XYZ con respecto a la línea de plegado 46. Cabe destacar además que ni siquiera es necesario que la trayectoria para dirigir el haz de trabajo se encuentre en el plano de superficie de la pieza 38. En algunos ejemplos, la trayectoria generada para dirigir el haz de trabajo corresponde a una trayectoria tridimensional de las posiciones de enfoque del haz de trabajo 31 que puede quedar por encima o por debajo de la superficie de la pieza 38. Esto se puede lograr utilizando una configuración correspondiente de la óptica de enfoque 36, que en algunos ejemplos es móvil.

20 Cabe destacar además que los datos de trayectoria que permiten controlar el sistema 10 de modo que el haz de trabajo 31 sea dirigido a lo largo de una trayectoria tridimensional correspondiente sobre la pieza 38 no corresponden necesariamente a las coordenadas de esta trayectoria. Como se explicó para el ejemplo anterior, la trayectoria puede generarse en términos de coordenadas tridimensionales y, en base a estas coordenadas, la unidad de control 22 puede controlar la configuración del sistema en consecuencia. En otros ejemplos, sin embargo, la configuración del sistema 10 puede controlarse sin determinar explícitamente las coordenadas de la trayectoria tridimensional, ya que la configuración también puede determinarse en función de la configuración que se utiliza para dirigir el haz de medición 30 sobre la pieza 38 y en función de la relación espacial entre el haz de medición 30 y el haz de trabajo 31. En un ejemplo, el haz de medición 30 y el haz de trabajo coinciden para la misma configuración, tal que un ajuste que se usa para dirigir el haz de medición 30 puede usarse para el mismo direccionado del haz de trabajo.

30 La figura 4 ilustra las etapas que se pueden llevar a cabo para generar datos de trayectoria y controlar la configuración del sistema 10 de acuerdo con los datos de trayectoria generados.

35 La figura 5 ilustra un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de realización de la tercera etapa de la figura 4 (tercer recuadro desde arriba). En una primera etapa, se selecciona una región de interés (ROI). Esto puede realizarse manualmente, por ejemplo, seleccionando un área determinada de las imágenes superpuestas de la figura 3 o seleccionando un área determinada de la pieza 38. Todas las etapas adicionales son preferiblemente realizadas automáticamente por la unidad de procesamiento 20 del sistema 10.

40 En una etapa siguiente se define cuál de las líneas 42 dentro de la ROI se usará como punto de partida, por ejemplo, una "primera" línea 42 para $i = 1$. Luego, la primera línea o la imagen de cámara 40 que contiene la primera línea 42 es leída y analizada en base a un criterio predefinido. En el ejemplo de la figura 5, se utilizan seis criterios predefinidos diferentes, a saber, "pico/valle (o máximo local/mínimo local) de intensidad", "pico/valle de la primera derivación espacial" de la línea 42 en la imagen 40 y "pico/valle de la segunda derivación espacial" de la línea 42. Luego se selecciona el resultado más relevante, por ejemplo, en base a un umbral predefinido y/o en una región de imagen predefinida.

50 En una etapa siguiente, las coordenadas X, Y y Z de una posición correspondiente a la posición en imagen de la característica predefinida (por ejemplo, el valle de dZ/dY) son guardadas como una posición de la trayectoria. A continuación se repiten las etapas mencionadas anteriormente para las siguientes líneas 42 hasta que se haya leído la última línea 42. A continuación se combinan las posiciones de trayectoria en un procesamiento posterior para generar datos de trayectoria y los datos de trayectoria son enviados a la unidad de control.

55 En el ejemplo de las figuras 1 a 3, la generación de trayectoria se basa en la determinación de una característica predefinida (por ejemplo, un mínimo local), en la imagen de la cámara 40 que es el resultado de la flexión de la pieza 38. En este ejemplo, la generación de la trayectoria se basa en una línea de plegado 46 en el perfil de la pieza 38.

60 Cabe destacar que en otros ejemplos los criterios predefinidos no tienen que estar necesariamente basados en características caracterizadoras de un perfil de superficie tridimensional, por ejemplo, el criterio predefinido de una "intensidad pico/valle". Este ejemplo se puede utilizar para piezas que corresponden a una combinación de dos láminas de metal planas que se han dispuesto sueltas una al lado de la otra y están en contacto. Si la superficie de dicha pieza se escanea de manera similar a la ilustrada en la figura 1, la imagen de la cámara 40 contendrá una línea recta y la intensidad de la línea recta tendrá un descenso en intensidad en una posición de imagen correspondiente a la transición de una lámina metálica a la otra lámina metálica. En este ejemplo, la trayectoria puede generarse a lo largo de la línea en la cual las láminas metálicas están en contacto y la trayectoria generada puede usarse para una soldadura láser para conectar ambas láminas metálicas.

En otros ejemplos, se puede dibujar manualmente una línea de corte en la pieza, por ejemplo con una pintura que tenga una reflectividad más alta que el material de la pieza. En este caso, se puede utilizar un "máximo local de la intensidad" como característica predefinida para generar una trayectoria para un proceso de corte con láser a lo largo del perfil pintado en la pieza.

5 En otros ejemplos adicionales, por ejemplo, para procesos de grabado, la característica predefinida puede corresponder a una imagen predefinida o a letras predefinidas que se grabarán en la pieza. En este caso, el direccionado del haz de medición 30 puede usarse para generar datos correspondientes a un perfil de superficie tridimensional de la pieza 38. En una etapa siguiente, la imagen predefinida se puede combinar con el perfil de la
10 superficie para generar datos de trayectoria correspondientes a la imagen y adaptarse a la geometría y a la posición de la pieza específica dispuesta bajo el cabezal de escaneado con láser 16.

Por consiguiente, el sistema de escaneado láser 10 permite un procesamiento con láser rápido y preciso sin requerir una generación de trayectoria que consuma mucho tiempo. La trayectoria puede ser generada automáticamente o casi automáticamente en función de criterios predefinidos.

Además, es posible determinar la topología tridimensional de la pieza antes y después del procesamiento con láser evaluando las imágenes de la cámara 40 usando triangulación. Esto permite comparar las topologías y evaluar la calidad del proceso en función de las diferencias en las topologías. Estas diferencias se pueden visualizar, por ejemplo, coloreando la superficie de acuerdo con las distancias. Esto permite una evaluación visual fácil de si el proceso cumple con los requisitos deseados o no, por ejemplo, cuando se muestran deformaciones no deseadas.

La figura 6 ilustra que el sistema 10 permite además una monitorización ventajosa del proceso en tiempo real, dado que la cámara 18 está separada del eje central de haz 24 y está inclinada con respecto a este eje. La figura 6 ilustra un proceso de soldadura con láser en el que el haz de trabajo 31 es dirigido sobre una pieza 52. El proceso de soldadura crea un orificio de cerradura 54 en la pieza 52 rodeado por restos de fusión 56. Si la intensidad del haz de trabajo 31 es demasiado alta, puede producirse una columna de plasma 58 y puede producirse una expulsión de material fundido formada por gotas de material fundido 60. La expulsión de material fundido y la columna de plasma 58 se extienden generalmente en la dirección del haz de trabajo 31 perpendicular o casi perpendicular a la pieza 52.
30 Debido a que la cámara 18 está separada del eje central de haz 24 e inclinada, la visibilidad de la cámara 18 del orificio de cerradura 54 y del material fundido 56 no queda obstruida o no queda completamente obstruida por la columna de plasma 58 y las gotas de material fundido 60, de modo que el proceso con láser puede ser, en tiempo real, observado y, si es necesario, controlado.

La figura 7 muestra imágenes de cámara tomadas por la cámara 18 en la disposición ilustrada de la figura 6 para diferentes procesos de soldadura y durante diferentes regímenes de soldadura. La figura 7a) representa una imagen de un proceso de soldadura por conducción en un régimen normal. Las figuras 7b) a 7d) muestran imágenes de un proceso de soldadura del orificio de cerradura en un régimen normal (7b)), en un régimen de expulsión de material fundido (7c)) y en régimen de columna de plasma (7d)).

40 Con referencia a la figura 7a), debido a que la cámara está separada del eje central de haz 24 y está inclinada con respecto a este eje, es posible determinar posiciones tridimensionales y distancias en el espacio tridimensional de las características adquiridas. Por ejemplo, es posible determinar la anchura W del material de fusión 56 y la longitud L del material de fusión 56 mediante triangulación. Además, es posible determinar una posición o distancia vertical V del material de fusión 56 con respecto al cabezal de escaneado con láser 16. No sería posible determinar la posición vertical si la cámara 18 estuviera dispuesta en el eje central de haz 24. También es posible determinar otros parámetros de proceso, tales como el tamaño y la extensión de la columna de plasma 58, el tamaño de las gotas de material fundido 60 y la dirección en la que se expulsan las gotas 60.

50 En base a la monitorización, es posible controlar directamente el proceso en tiempo real. Por ejemplo, si se observa la presencia de gotas de material fundido 60 (figura 7c)) o de una columna de plasma (figura 7d)), el sistema 10 puede ser controlado para reducir la intensidad del haz de trabajo 31 sobre la pieza. Esto se puede lograr cambiando el enfoque o reduciendo la potencia.

55 Debido a que la cámara 18 tiene una perspectiva inclinada del proceso, es posible monitorizar el orificio de cerradura 54 y el material de fusión 56 o al menos partes del mismo aún en caso de que se produzca una columna de plasma 58 o expulsión de material de fusión, como se puede ver en las figuras 7d) y 7c).

Aunque para el cabezal de escaneado con láser ejemplar 16 de la figura 6 se muestran a efectos de ilustración solamente dos componentes internos, a saber, la óptica de desviación 34 y la óptica de enfoque 36, la figura 8 ilustra una disposición interna de la óptica de otro cabezal de escaneado con láser ejemplar de acuerdo con otra realización. El cabezal de escaneado con láser de la figura 8 comprende una óptica de enfoque móvil 62, un combinador de haz 64, dos espejos de desviación 66, 68 y una lente de enfoque 70. A diferencia de uno de los ejemplos mencionados anteriormente del cabezal de escaneado con láser 16, la lente de enfoque 70 del cabezal de escaneado con láser de la figura 8 es fija y no se puede mover. Sin embargo, para ajustar la posición de enfoque del haz de trabajo 31 cuando el haz de trabajo 31 es dirigido sobre la pieza 38, hay una óptica de enfoque móvil 62.

5 El combinador de haz 64 es al menos parcialmente reflectante para el haz de medición 30 y al menos parcialmente transparente para el haz de trabajo 31. Las fuentes del haz de medición 30 y del haz de trabajo 31 y el combinador de haz 64 están dispuestos tal que el haz de medición y el haz de trabajo 31 coinciden detrás del combinador de haz 64 si estos haces 31, 30 se generaran simultáneamente. Ambos haces 30, 31 son reflejados por ambos espejos 66, 68 y proyectados a través de la lente 70 sobre la pieza 38.

10 Cada uno de los espejos de desviación 66, 68 está asociado con un actuador 72 y 74 correspondiente, respectivamente. Los actuadores 72 y 74 pueden girar el espejo 66, 68 correspondiente, lo que permite dirigir el haz de medición 30 y el haz de trabajo 31 sobre la pieza 38.

15 Aunque la invención se ha descrito con referencia a ejemplos ilustrativos y realizaciones, estos ejemplos y realizaciones no pretenden limitar el alcance de la presente invención. El alcance de la presente invención está definido por las reivindicaciones adjuntas.

LISTA DE SIGNOS DE REFERENCIA

10	Sistema
12	Fuente láser
14	Robot
16	Cabezal de escaneado con láser
18	Cámara
20	Unidad de procesamiento
2.2	Unidad de control
24	Eje central de haz
26	Eje de visualización
28	Plano de imagen
30	Haz de medición
31	Haz de trabajo
32	Fibra óptica
34	Óptica de desviación
36	Óptica de enfoque
38, 52	Pieza
40	Imagen de la cámara
42	Línea
44	Proyección
46	Línea de plegado
48	Mínimo local
54	Orificio de cerradura
56	Baño de fusión
58	Columna de plasma
60	Gota fundida
62	Óptica de enfoque
64	Combinador de haz
66, 68	Espejos de desviación
70	Lente de enfoque
72, 74	Actuadores

REIVINDICACIONES

1. Sistema (10) para procesamiento con láser de una pieza (38,52), comprendiendo el sistema:
 - 5 - una fuente láser (12) para generar un haz de trabajo (31), estando la fuente láser además configurada para generar un haz de medición (30) o comprendiendo el sistema una fuente óptica adicional para generar un haz de medición (30),
 - un sistema de escaneado láser (16) que define un eje central de haz (24) y está configurado para dirigir el haz de trabajo (31) sobre la pieza (38, 52) y para dirigir el haz de medición (30) sobre la pieza,
 - 10 - una cámara (18) que está inclinada respecto al eje central de haz (24), separada del eje central de haz (24) y dispuesta en una relación fija respecto al sistema de escaneado láser (16),
 - un robot (14) configurado para mover el sistema de escaneado láser (16),
 - 15 - una unidad de procesamiento (20) configurada para determinar una relación entre una configuración del sistema (10) y una posición resultante de un foco del haz de trabajo o de una proyección del haz de trabajo (31) con respecto a la pieza (38, 52) para esa configuración en base a una relación espacial entre el haz de trabajo (31) y el haz de medición (30) y a una imagen de cámara (40) de la pieza (38, 52) tomada cuando la pieza es escaneada por el haz de medición (30), y
 - 20 - generar datos de trayectoria basados en dicha relación determinada y en criterios predefinidos,
 - una unidad de control (22) configurada para controlar la configuración del sistema (10) para dirigir el haz de trabajo (31) sobre la pieza (38, 52) de acuerdo con dichos datos de trayectoria para procesar el material de la pieza.
- 25 2. El sistema (10) de la reivindicación 1, en el que el procesamiento con láser comprende al menos uno de: soldadura con láser, corte con láser, marcado con láser y grabado con láser.
3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, en el que los criterios predefinidos comprenden
 - 30 - características predefinidas (48) en una o más imágenes (40) de la pieza (38, 52) iluminada o escaneada con el haz de medición (30) tomadas por dicha cámara (18), y/o
 - información de trayectoria predefinida.
4. El sistema (10) de una de las reivindicaciones anteriores, en el que la configuración del sistema comprende una configuración de
 - 35 - una óptica de desviación (34, 66, 68) del sistema de escaneado láser (16),
 - una óptica de enfoque (36, 62) del sistema de escaneado láser (16), y/o
 - el robot (14).
5. El sistema (10) de alguna de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una unidad de monitorización para monitorizar el proceso de procesamiento con láser utilizando la cámara (18).
6. El sistema (10) de la reivindicación 5, que comprende además una unidad de control de proceso para controlar el enfoque y/o la potencia del haz de trabajo (31) en base a una monitorización de la unidad de monitorización.
- 45 7. El sistema (10) de alguna de las reivindicaciones anteriores, en el que la unidad de procesamiento está configurada además para determinar una topología 3D de la pieza (38, 52) en base a una relación espacial entre el haz de medición (30) y la cámara (18) y en base a al menos una imagen de cámara (40) de la pieza (38, 52) tomada cuando el haz de medición (30) se escanea sobre la pieza.
- 50 8. El sistema (10) de la reivindicación 7, que comprende además una unidad de evaluación para comparar una topología 3D de la pieza (38, 52) antes y después del procesamiento con láser.
9. El sistema (10) de la reivindicación 8, que comprende además una unidad de visualización para visualizar una diferencia entre las topologías comparadas.
- 55 10. El sistema (10) de alguna de las reivindicaciones anteriores, en el que la potencia del haz de medición (30) es menor que la potencia del haz de trabajo (31).
- 60 11. El sistema (10) de alguna de las reivindicaciones anteriores, que está dispuesto, tal que para un ajuste dado del sistema (10), el haz de medición (30) y el haz de trabajo (31) abandonan el sistema de escaneado láser siguiendo la misma trayectoria.
12. El sistema (10) de alguna de las reivindicaciones anteriores, en el que la fuente láser (12) es un láser de fibra y el haz de medición (30) y el haz de trabajo (31) usan una fibra común.
- 65 13. Un método para procesamiento con láser de una pieza (38, 52) mediante el uso de un sistema (10) que

comprende un sistema de escaneado láser (16), una cámara (18) y un robot (14), en el que la cámara está inclinada respecto a un eje central de haz (24) definido por el sistema de escaneado láser (16), está separada del eje central de haz y está dispuesta en una relación fija respecto al sistema de escaneado láser, comprendiendo el método lo siguiente:

- 5
- proporcionar una pieza (38, 52) bajo del sistema de escaneado láser (16),
 - escanear o iluminar la pieza con un haz de medición (30) utilizando el sistema de escaneado láser (16),
 - durante dicho escaneado o iluminación, adquirir imágenes (40) de la pieza (38, 52) utilizando la cámara (18),
 - determinar una relación entre una configuración del sistema (10) y una posición resultante de un foco de un haz
- 10
- de trabajo (31) o de una proyección del haz de trabajo en relación con la pieza (38, 52) para esa configuración, determinándose la relación en base a una relación entre el haz de medición (30) y el haz de trabajo (31) y en base a las imágenes (40) adquiridas por la cámara (18),
 - generar datos de trayectoria en función de la relación determinada y en función de criterios predefinidos,
 - controlar la configuración del sistema (10) para dirigir el haz de trabajo (31) sobre la pieza (38, 52) de acuerdo con los datos de trayectoria para procesar el material de la pieza, realizándose el escaneado del haz de trabajo
- 15
- (31) usando dicho sistema de escaneado láser (16).

14. El método de la reivindicación 13, en el que las etapas para determinar una relación y generar datos de trayectoria comprenden

- 20
- características distintivas (42) en una o más imágenes (40) de la pieza, siendo dicha una o más imágenes imágenes tomadas por dicha cámara (18) cuando la pieza (38, 52) se ilumina o escanea con el haz de medición (30),
 - determinar a partir de dichas características distintivas (42) una característica caracterizadora en base a una comparación con una característica predefinida (48),
 - determinar una configuración del sistema (10) para el haz de trabajo (31), determinándose dicha configuración en
- 25
- base a una posición de la característica caracterizadora (48) en dicha una o más imágenes (40) tomadas por la cámara (18).

15. El método de las reivindicaciones 13 o 14, en el que las etapas de escaneado del haz de medición (30) y/o del haz de trabajo (31) son llevadas a cabo por el sistema de escaneado láser (16) y por el robot (14).

30

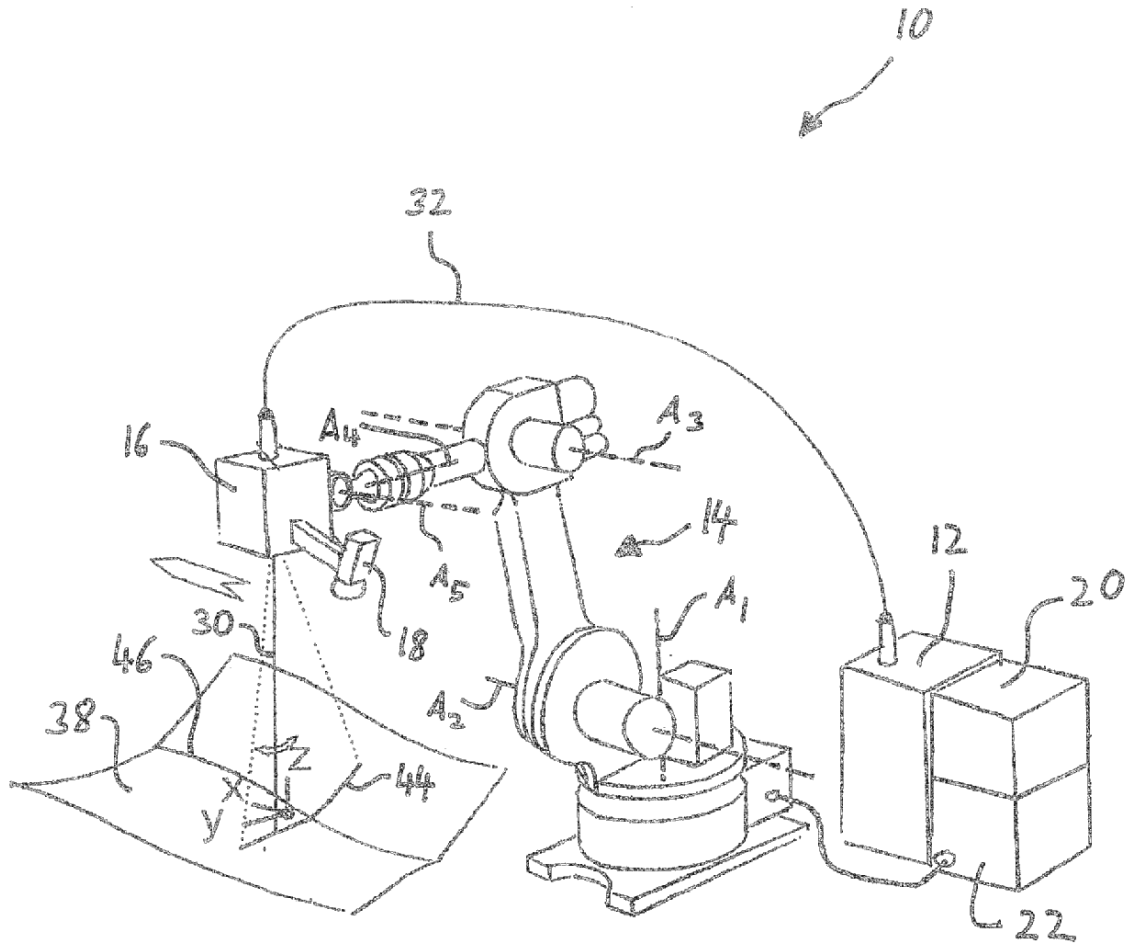


Fig. 1

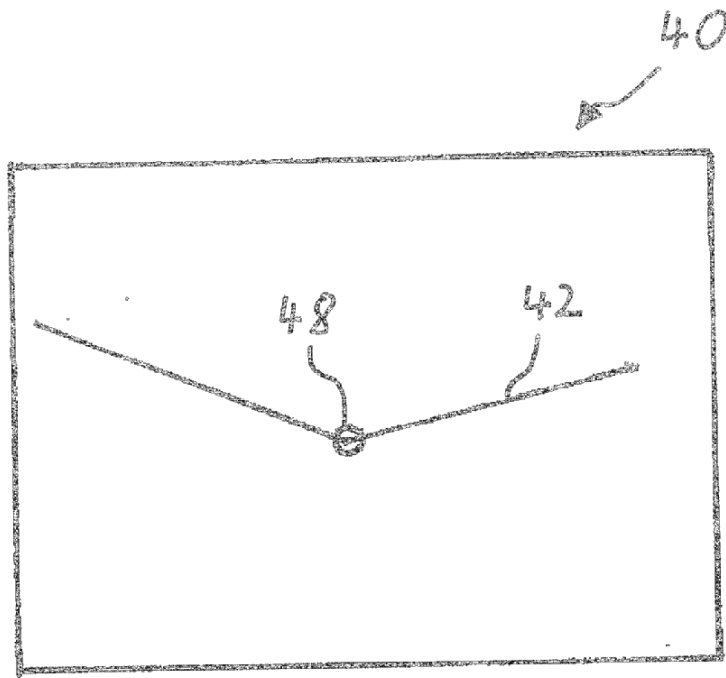


Fig. 2

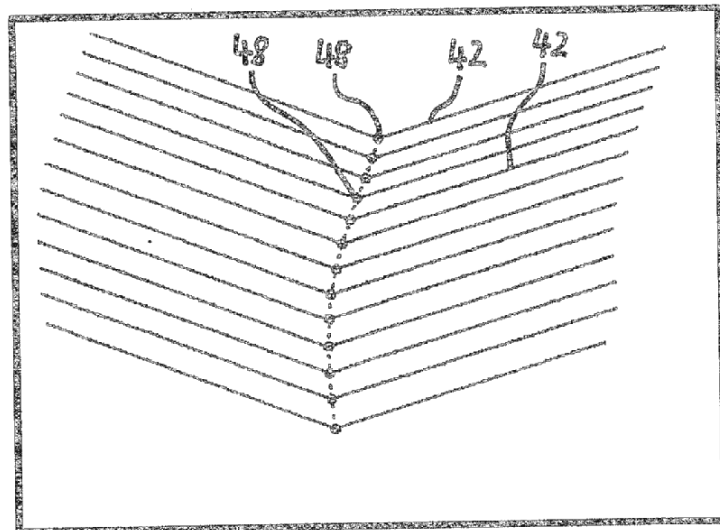


Fig. 3

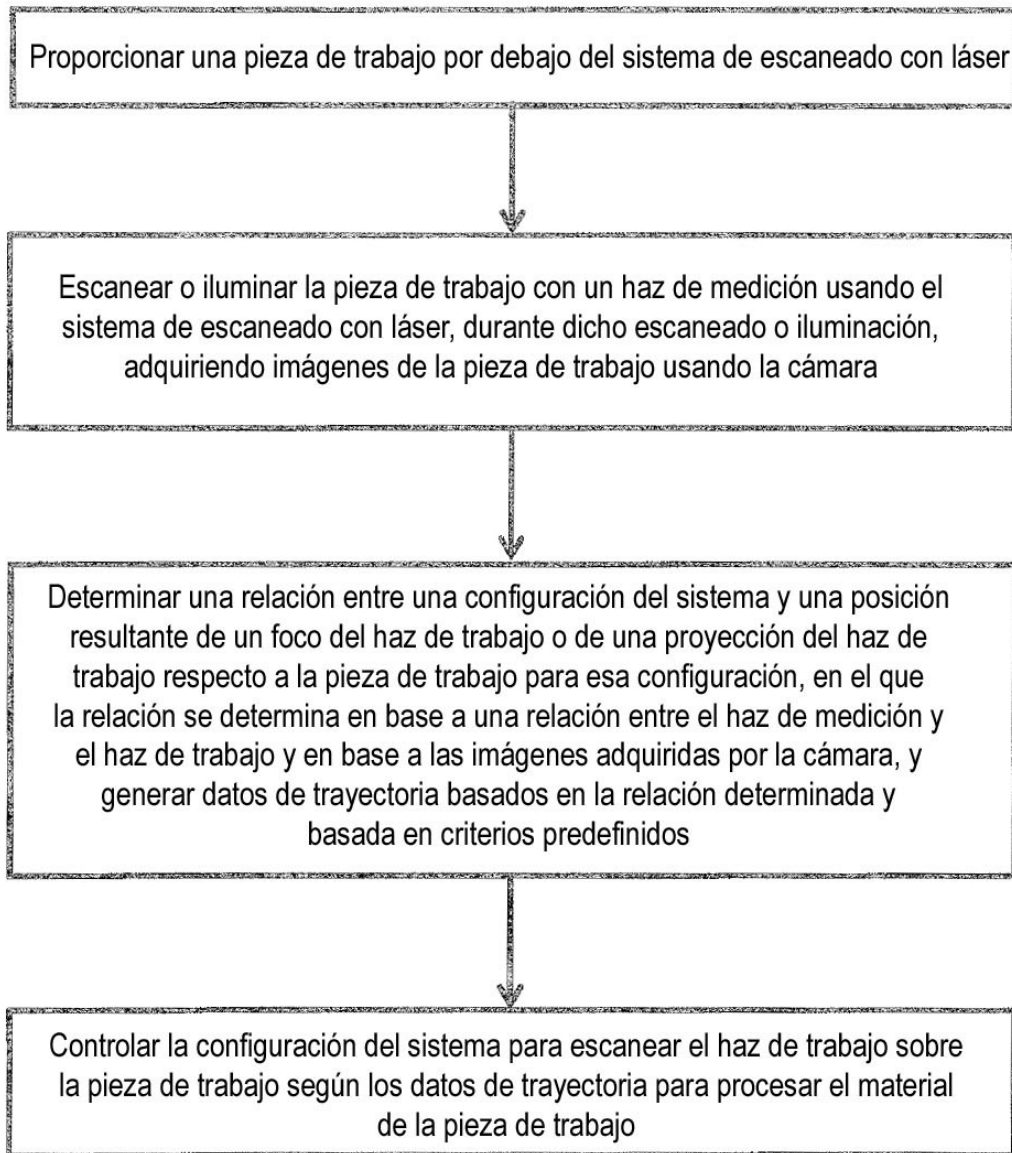


Fig. 4

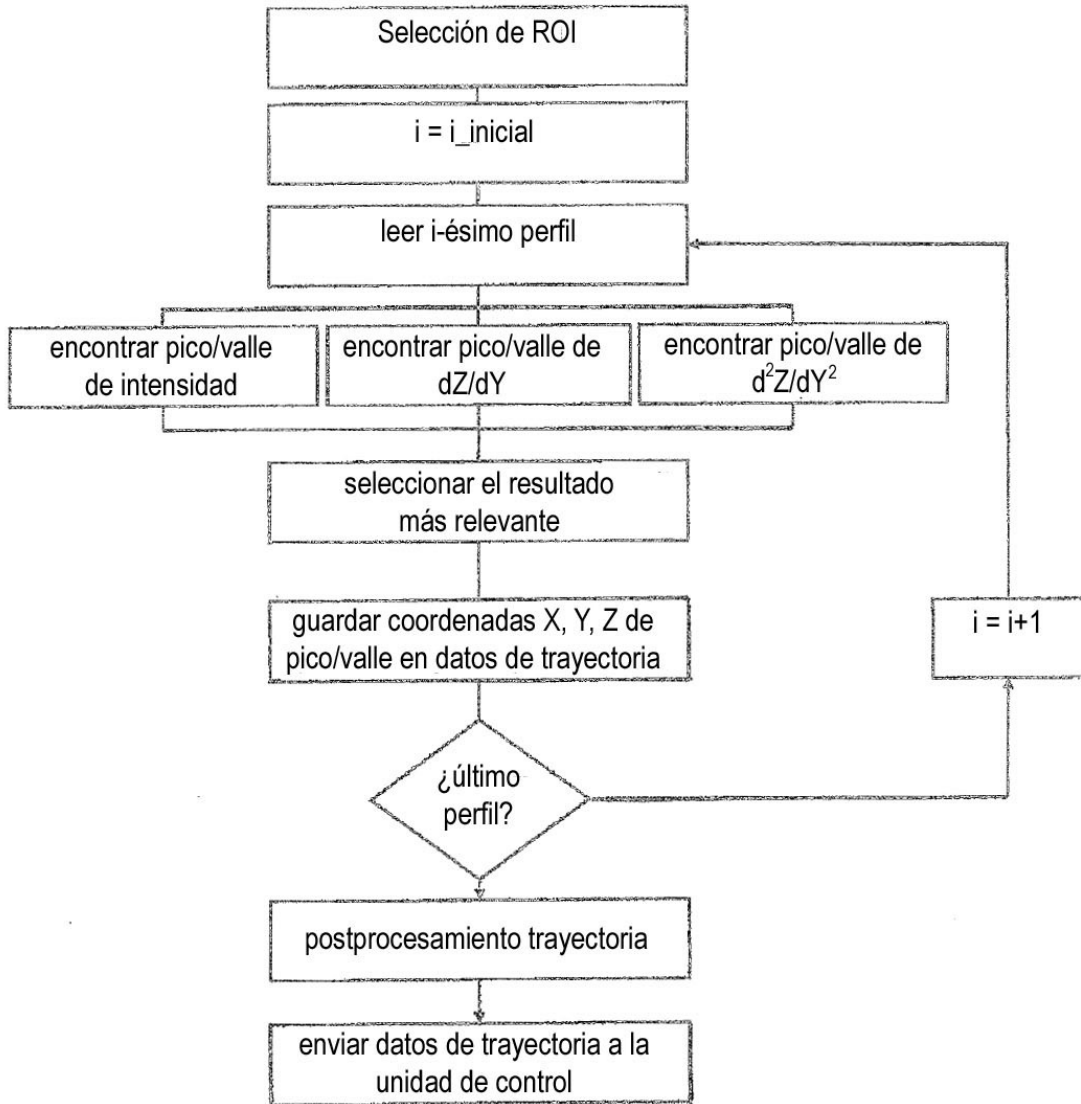


Fig. 5

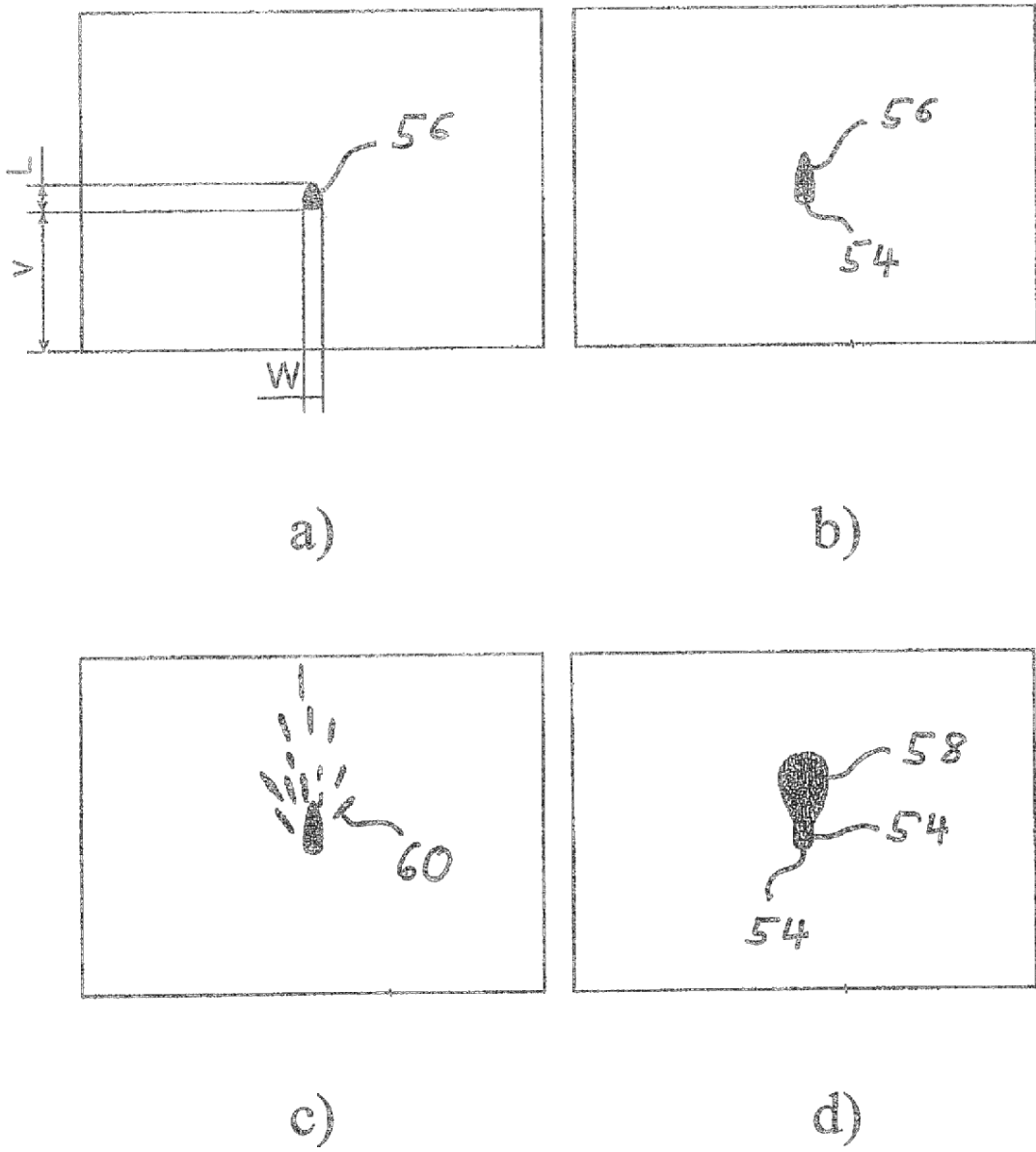


Fig. 7

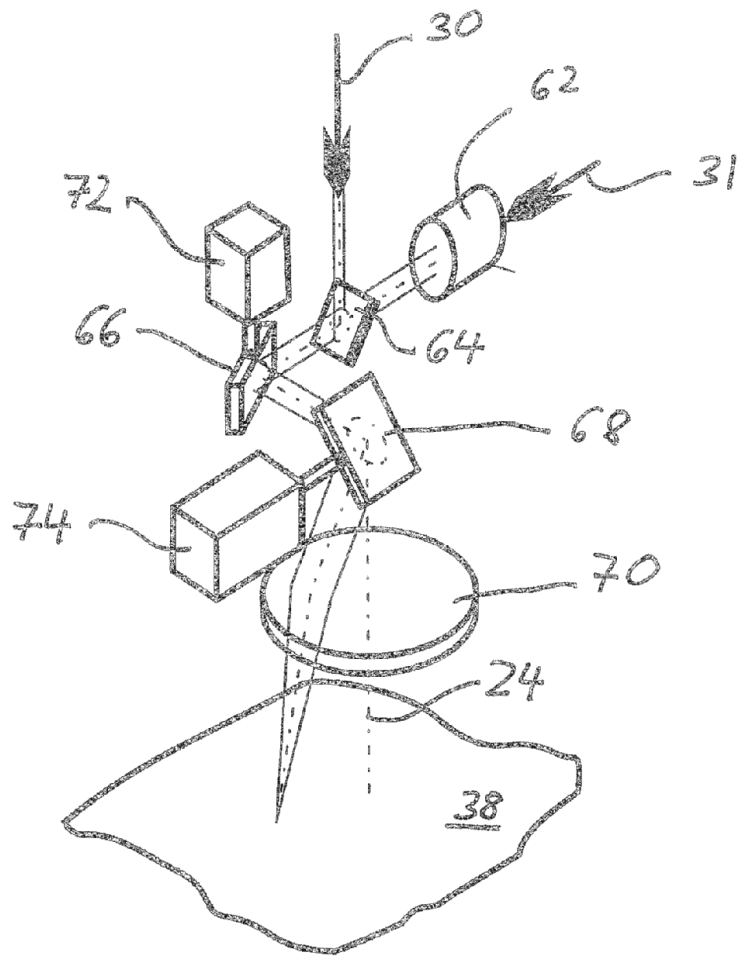


Fig. 8