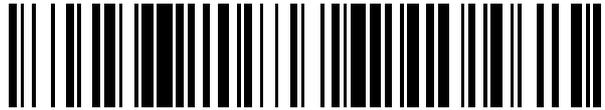


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 535 683**

51 Int. Cl.:

**B23K 26/04**

(2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.03.2011 E 11709637 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.02.2015 EP 2544849**

54 Título: **Cabezal de mecanizado por láser y procedimiento para el mecanizado de una pieza de trabajo mediante un haz de láser**

30 Prioridad:

**12.03.2010 DE 102010011253**

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

**13.05.2015**

73 Titular/es:

**PRECITEC GMBH & CO. KG (100.0%)  
Draisstrasse 1  
76571 Gaggenau-Bad Rotenfels , DE**

72 Inventor/es:

**SCHÜRMANN, BERT**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 535 683 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Cabezal de mecanizado por láser y procedimiento para el mecanizado de una pieza de trabajo mediante un haz de láser

5 La invención se refiere a un cabezal de mecanizado por láser, así como a un procedimiento para el mecanizado de una pieza de trabajo mediante un haz de láser, en particular para la unión mediante soldadura o soldadura indirecta.

10 Con la ayuda de un cabezal de mecanizado por láser puede mecanizarse una pieza de trabajo utilizando un haz de láser, pudiéndose llevar a cabo por ejemplo, trabajos de soldadura o de soldadura indirecta para unir una separación en una pieza de trabajo o entre dos piezas de trabajo. En este caso, el haz de láser debe incidir en la separación a unir, es decir, en la junta de las partes de la junta a unir. Para este propósito, se utilizan sistemas de seguimiento de línea, que se basan por ejemplo, en sensores de triangulación.

15 En estos sistemas, se utiliza un dispositivo de corte óptico durante un proceso de soldadura, que está colocado en un cabezal de mecanizado por láser. En este caso, el dispositivo de corte óptico proyecta un abanico de luz mediante un haz de láser sobre la pieza de trabajo, para producir sobre ella una línea de luz. En este procedimiento se determina la posición de la junta de soldadura anteriormente mediante técnica de medición. Con el fin de comprobar si, de hecho, se ha producido una soldadura y la línea de soldeo se encuentra en el lugar correcto, se compara la posición determinada anteriormente de la junta de soldadura con la ubicación de la línea de soldeo, que se determina con una segunda cámara con la ayuda de una segunda línea de luz. La segunda línea de luz sigue en este caso al punto de unión, es decir, el punto de incidencia del haz de láser sobre la pieza de trabajo. Un sistema de este tipo se describe por ejemplo, en el documento EP 0 770 445 A2.

20 En este procedimiento, la segunda línea de luz para la detección mediante técnica de medición de la línea de soldeo, se dispone unos pocos milímetros por detrás del *Tool-Center-Point*, punto central de la herramienta (TCP por sus siglas en inglés), es decir, en el punto de incidencia del haz de láser sobre la pieza de trabajo. En este caso se producen en particular, en el caso de transcurros de línea de soldeo similares a curvas, movimientos de giro, mediante los cuales los radios de curva mínimos están limitados por la distancia entre la línea de luz anterior y posterior, ya que los campos de visión de las cámaras, que detectan la línea de luz, también están limitados. Dependiendo del transcurso de la curva o de la distancia entre las líneas de luz, los movimientos de giro de la línea de luz anterior y posterior son diferentes, es decir, no pueden superarse con un eje de giro.

30 Por el documento DE 10 2006 049 627 A1 se conoce un procedimiento y un dispositivo para la colocación precisa de una herramienta con una instalación de manejo. En este procedimiento se evalúa una separación a ser reconocida en la dirección de movimiento delante de un punto de mecanizado con una junta a tope de dos piezas de trabajo a soldar para la detección de un recorrido de movimiento prefijado, llevándose a cabo para ello una evaluación de la imagen en gris de las imágenes capturadas por una cámara con luz reflejada para la detección de la posición del contorno. La instalación de manejo recorre entonces los contornos a seguir dentro del rango de medición de un sensor, que determina el movimiento real del punto de incidencia del haz de láser sobre la pieza de trabajo, modificándose mediante un actuador para la colocación precisa conectado entre la instalación de manejo y el cabezal de mecanizado por láser, el punto de incidencia del haz de láser correspondientemente, para compensar desviaciones en el recorrido de movimiento prefijado de la instalación de manejo.

40 El documento EP 0 707 920 B1 describe un cabezal de mecanizado por láser compacto para el mecanizado de materiales por láser con control de recorrido en línea integrado. En el caso de este cabezal de mecanizado por láser se trasladan datos reales de recorrido a un control CNC para la realización de detecciones geométricas y/o al seguimiento de contorno y se suministran al mismo tiempo a una unidad de procesamiento. La unidad de procesamiento compara los datos reales del recorrido con los datos prefijados del recorrido de una memoria de protocolo, habiéndose determinado anteriormente los datos prefijados del recorrido con la ayuda de una pieza maestra. Con la ayuda de la unidad de procesamiento, se emite en caso de una desviación predeterminable una señal de error a un control de la instalación, cuando los datos reales del recorrido se desvían de los datos de recorrido prefijados más allá de la medida predeterminada. Para lograr una capacidad de 3D completa, hay alojado de manera giratoria a razón de al menos 360°, un sensor para la detección de la geometría y/o para el seguimiento del contorno.

50 Por el documento DE 10 2006 004 919 A1 se conoce un cabezal de soldadura por haz de láser que está dotado para la soldadura de piezas metálicas, de al menos una trayectoria de haz para una trayectoria de soldadura, y de medios para la detección óptica de la posición de la línea de soldeo en una primera posición de medición. Los medios para la detección óptica de la línea de soldeo permiten una disposición de la primera posición de medición en la dirección de soldadura antes de la posición de soldadura del haz de soldadura y generan en función de una desviación lateral de la línea de soldeo de una posición de referencia, una señal de corrección para corregir la posición de soldadura del haz de soldadura. La distancia entre la primera posición de medición antes de la posición de soldadura del haz de soldadura, se elige de tal manera, que la señal de corrección generada puede utilizarse directamente, en particular, sin cálculo anterior mediante el control de medios utilizados para corregir la posición de soldadura del haz de soldadura.

Por el documento DE 198 52 302 A1 se conoce un cabezal de soldadura por haz de láser con las características del preámbulo de la reivindicación 1, produciéndose una medición de la geometría de la pieza de trabajo antes del punto de soldadura y una medición del baño de soldadura.

5 La invención se basa por lo tanto en la tarea de proporcionar un cabezal de mecanizado por láser, así como un procedimiento para el mecanizado de una pieza de trabajo mediante un haz de láser, mediante el cual pueden unirse de manera sencilla y supervisarse juntas con pequeños radios de curvatura de partes a unir mediante soldadura o soldadura indirecta.

10 Esta tarea se soluciona mediante el cabezal de mecanizado por láser según la reivindicación 1, así como mediante el procedimiento para el mecanizado de una pieza de trabajo mediante un haz de láser según la reivindicación 14. En las reivindicaciones dependientes se establecen configuraciones y perfeccionamientos ventajosos de la invención.

15 Según la invención, se proporciona un cabezal de mecanizado por láser para mecanizar una pieza de trabajo mediante un haz de láser, con un carcasa, a través de la cual se hace pasar una trayectoria de haz para el haz de láser y que presenta una óptica de enfoque para enfocar el haz de láser sobre un lugar de unión de la pieza de trabajo a mecanizar, un dispositivo de corte óptico colocado en la carcasa, con una fuente de luz para generar una línea de luz sobre la pieza de trabajo, que corta un punto a unir a una distancia predeterminada, una cámara con un filtro pasabanda óptico dispuesto delante de la cámara en una trayectoria de haz de observación, presentando la fuente de luz un máximo de irradiación al menos local en la banda de paso de la longitud de onda del filtro pasabanda, y el filtro pasabanda óptico está configurado de tal manera, que el haz de láser no se transmite, y reproduciendo la cámara la línea de luz en el punto a unir, así como la parte de la luz de proceso, que ha pasado a través del filtro pasabanda, de un baño de soldadura producido por la incidencia del haz de láser sobre la pieza de trabajo a mecanizar en el punto de unión a intervalos de tiempo regulares, y una unidad de procesamiento con una memoria para recibir los datos de las imágenes grabadas por la cámara, que está configurada para determinar mediante el procesamiento de los datos de las imágenes recibidas, el punto de cruce de la línea de luz con el punto a unir, así como el punto central del baño de soldadura en el punto de unión, para memorizar en la memoria los puntos de cruce entre la línea de luz y el punto a unir como trayectoria objetivo, y para determinar una distancia mínima entre la trayectoria objetivo memorizada y el punto central del baño de soldadura actual.

20 Se proporciona por lo tanto un cabezal de mecanizado por láser para unir por soldadura o soldadura indirecta, con el que se reconoce un punto a unir mediante línea de luz de láser anterior, debido a que se evalúan irregularidades en la línea de luz grabadas mediante una cámara, que aparecen en un cruce de la línea de la luz con el punto a unir, es decir, con la junta. Los puntos de cruce entre la línea de luz y el punto a unir, detectados en diferentes momentos, se depositan entonces en una memoria como trayectoria objetivo. Mediante la misma cámara se observa el baño por soldadura o la soldadura en forma de ojo de cerradura, producidos por el haz de láser que incide sobre la pieza de trabajo y se calcula el punto central la soldadura en forma de ojo de cerradura mediante el procesamiento de imágenes.

30 Para una aplicación real del filtro pasabanda óptico, éste es ventajosamente un filtro de interferencia, en particular un filtro de Fabry-Perot, siendo la anchura del valor medio de la banda de paso de la longitud de onda preferiblemente inferior a 50 nm, más preferiblemente inferior a 20 nm, y particularmente inferior a 10 nm.

40 En un mecanizado de la pieza de trabajo, en particular durante la soldadura, se determina por lo tanto mediante el cabezal de mecanizado por láser, una trayectoria objetivo, que sirve como recorrido predeterminado, sobre el que se ajusta la soldadura en forma de ojo de cerradura de seguimiento mediante un actuador. El recorrido predeterminado sirve por otro lado para comprobar si los actuadores guían el punto de soldadura dentro de un rango predeterminado alrededor del recorrido predeterminado. En caso de fallo de los actuadores puede emitirse por lo tanto un mensaje de error, si la soldadura en forma de ojo de cerradura ya no transcurre a lo largo de la trayectoria objetivo predeterminada.

45 Según la invención en este caso es particularmente ventajoso, que la radiación emitida del baño de soldadura sea registrada y evaluada por la cámara, con el fin de determinar el punto central del punto de soldadura actual, sin tener que recurrir a la radiación láser reflejada. De esta manera puede determinarse por lo tanto, la posición del baño de soldadura, que produce la línea de soldeo y guiarse de acuerdo con una trayectoria objetivo. Se suprime por lo tanto una comprobación de la línea de soldeo producida mediante una línea de láser de seguimiento, con lo que se posibilitan radios de recorrido estrechos.

50 Para comprobar la posición correcta de la línea de soldeo a producir a lo largo de una junta, es ventajoso cuando el cabezal de mecanizado por láser según la invención, comprende además, un comparador, que está configurado para emitir un mensaje de error cuando se supera la distancia mínima entre la trayectoria objetivo y el punto central de la soldadura actual durante un valor de distancia predeterminado.

55 Para la guía óptima de la línea de soldeo a producir a lo largo de una junta a soldar o a soldar indirectamente, es ventajoso cuando el cabezal de mecanizado por láser según la invención presenta además un actuador, que está configurado para regular la distancia mínima entre la trayectoria objetivo y el punto central de la soldadura actual

mediante movimiento del haz de láser transversalmente con respecto a una dirección de movimiento del cabezal de mecanizado por láser a razón de una distancia de regulación (a) a un valor mínimo, es decir, a cero.

Es adecuado en este caso, cuando el actuador está configurado para mover el haz de láser perpendicularmente con respecto a la dirección de movimiento a razón de la distancia de regulación (a).

5 Para un posicionamiento sencillo y preciso del haz de láser con respecto a la carcasa del cabezal de mecanizado por láser, es conveniente, cuando el actuador está configurado para ajustar el haz de láser transversalmente con respecto a la dirección de movimiento del cabezal de mecanizado por láser, para mover un componente óptico, en particular, un espejo de desviación, dentro de la carcasa del cabezal de mecanizado por láser.

10 Al memorizar los puntos de cruce determinados para determinar una trayectoria objetivo, es ventajoso, cuando la unidad de procesamiento está configurada para transformar las coordenadas de los puntos de cruce entre la línea de luz y el punto a unir, así como los puntos centrales del baño de soldadura, del sistema de referencia movido de la cámara reproductora de imágenes, en un sistema de referencia en el plano de la pieza de trabajo, depositándose la trayectoria objetivo de los puntos de cruce en el sistema de referencia de la pieza de trabajo en la memoria.

15 Para la grabación simultánea, tanto de la línea de la luz con una intensidad de luz baja, como también del baño de soldadura en la pieza de trabajo, que presenta una alta intensidad de luz, es especialmente ventajoso, cuando la cámara comprende un dispositivo de captación de imágenes, que está configurado para el procesamiento de los datos de imágenes mediante un procedimiento HDR. En este caso, es útil disponer un filtro delante de la cámara, que es transparente esencialmente tanto para la zona de longitud de onda de la línea de luz generada, así como para la radiación de proceso del baño de soldadura, pero que no es transparente esencialmente para la longitud de onda del haz de láser de trabajo proyectado sobre la pieza de trabajo.

20 Para una alineación óptima de la imagen de la cámara producida por la cámara con el haz de láser que incide sobre la pieza de trabajo, es particularmente útil, cuando se proporciona además un divisor de haz en la carcasa del cabezal de mecanizado por láser, mediante el cual puede acoplarse una trayectoria de haz de observación de la cámara coaxialmente en la trayectoria del haz de láser.

25 Sin embargo, también es posible que la cámara esté colocada en un lado exterior de la carcasa.

Para poder determinar de manera sencilla una distancia entre la óptica de enfoque y la pieza de trabajo mediante triangulación, es conveniente que el dispositivo de corte óptico esté configurado para generar mediante la fuente de luz un abanico de luz, que incide de forma oblicua con respecto al eje óptico del haz de láser sobre la pieza de trabajo a mecanizar, de manera que se produce una línea de luz sobre la pieza de trabajo.

30 En el caso de un movimiento rectilíneo del cabezal de mecanizado por láser a lo largo de la pieza de trabajo, es ventajoso cuando la línea de luz proyectada sobre la pieza de trabajo es recta y perpendicular con respecto a la dirección de movimiento del cabezal de mecanizado por láser.

35 Para la determinación de la trayectoria objetivo en una junta muy curvada y en un ajuste de la dirección de movimiento del cabezal de mecanizado por láser en correspondencia con el transcurso de la junta, es ventajoso, cuando la línea de luz proyectada sobre la pieza de trabajo transcurre de manera circular alrededor del punto de incidencia del haz de láser.

Debido a la alta intensidad y la baja expansión del haz de la luz láser, es ventajoso cuando la fuente de luz es un láser, particularmente un láser semiconductor.

40 Según la invención, se proporciona además un dispositivo robótico, que presenta un cabezal de mecanizado por láser según la invención, como se ha descrito anteriormente, estando configurado éste, para mover de tal manera el cabezal de mecanizado por láser, que se guía el punto central de la soldadura a lo largo de la trayectoria objetivo, ajustándose de tal manera la dirección de movimiento actual del haz de láser que incide sobre la pieza de trabajo, que éste se aleja tangencialmente con respecto a la trayectoria objetivo del punto central de la soldadura actual. De esta manera puede ajustarse por lo tanto la dirección de movimiento del cabezal de mecanizado por láser o del haz de láser de manera óptima al transcurso de la junta a unir.

45 Según la invención, está previsto además un procedimiento para el mecanizado de una pieza de trabajo mediante el cabezal de mecanizado por láser según la invención, que comprende los siguientes pasos: generar una línea de luz dentro de una zona de trabajo de la pieza de trabajo, que corta un punto a unir a una distancia predeterminada, reproducir mediante la cámara la línea de luz en el punto a unir y un baño de soldadura producido por la incidencia del haz de láser sobre la pieza de trabajo en el punto de unión a intervalos de tiempo regulares, y procesar los datos de imágenes producidos por la cámara, con los pasos: determinar un punto de cruce de la línea de luz con el punto a unir, así como el punto central de la zona de baño de soldadura, memorizar en una memoria los puntos de cruce determinados en diferentes momentos como trayectoria objetivo, y determinar una distancia mínima entre la trayectoria objetivo y el punto central del baño de soldadura. Ventajosamente, el procedimiento según la invención comprende el paso de regular la distancia mínima entre la trayectoria objetivo y el punto central del baño de soldadura actual, mediante el movimiento del haz de láser transversalmente con respecto a la dirección de

movimiento del haz de láser a razón de una distancia de regulación (a) a un valor mínimo.

La invención se explica con mayor detalle mediante los dibujos. Muestran:

La figura 1 una vista esquemática muy simplificada de un cabezal de mecanizado por láser según un ejemplo de realización de la invención,

5 La figura 2A una vista parcial en perspectiva muy simplificada de la pieza de trabajo durante un proceso de unión en un primer momento,

La figura 2B una vista parcial en perspectiva muy simplificada de la pieza de trabajo durante un proceso de unión en un segundo momento,

10 La figura 3A es una vista en planta muy simplificada de la pieza de trabajo durante un proceso de unión usando una línea de luz recta, que se proyecta sobre la pieza de trabajo,

La figura 3B es una vista en planta muy simplificada de la pieza de trabajo durante el proceso de unión usando una línea de luz circular, que se proyecta sobre la pieza de trabajo, y

La figura 4 un diagrama de bloques de una unidad de procesamiento del cabezal de mecanizado por láser según la invención.

15 En las diversas figuras de los dibujos, los componentes correspondientes entre sí están provistos de los mismos números de referencia.

En la figura 1 se muestra una vista muy simplificada de un cabezal de mecanizado por láser 10, en particular de un cabezal de mecanizado por láser según un ejemplo de realización de la invención, tal como se utiliza con máquinas o instalaciones de mecanizado por láser. En este caso, se dirige un haz de láser de trabajo 12 proveniente de la máquina de mecanizado por láser a través de una carcasa 14 del cabezal de mecanizado por láser 10 hacia una pieza de trabajo 16, y se enfoca mediante una óptica de enfoque 18 sobre la pieza de trabajo 16, como se indica mediante el eje óptico L. El haz de láser de trabajo 12 puede estar ampliado en el caso de un suministro al cabezal de mecanizado por láser 10 mediante una fibra de conducción de luz, debido al desacoplamiento del haz de láser de la fibra de conducción de luz, mediante una óptica de colimador.

20 En la carcasa 14 del cabezal de mecanizado por láser 10, hay dispuesto de tal manera un divisor de haz 20 en la banda de paso del haz de láser de trabajo 12, que una trayectoria del haz de observación 22 (indicado por su eje óptico) de una cámara 24 se acopla coaxialmente en la trayectoria del haz de láser de trabajo 12. En la trayectoria del haz de observación 22, hay dispuesta delante de la cámara 24 una óptica de reproducción 26, así como un filtro pasabanda óptico 28. En el ejemplo de realización de la invención mostrado en la figura 1, la trayectoria del haz de observación 22 de la cámara 24, está dirigida a través del divisor de haz 20 hacia una zona de trabajo de la pieza de trabajo 16. Es posible también sin embargo, colocar la cámara 24 con una óptica de observación en un lado exterior de la carcasa 14 del cabezal de mecanizado por láser 10, teniendo que asegurarse sin embargo, que la imagen de la zona de trabajo de la pieza de trabajo 16 captada por la cámara 24, en el caso de un movimiento del cabezal de mecanizado por láser 10 con la carcasa 14, y particularmente con la óptica de enfoque 18, se mueve con ellos de manera sincronizada.

25 En un lado exterior de la carcasa 14 hay dispuesto un dispositivo de corte óptico 30, que está montado en un lado de la carcasa 14 mediante un soporte 32, que en el caso de un movimiento del cabezal de mecanizado por láser 10 en su dirección de movimiento (indicada mediante la flecha A) se encuentra delante. El dispositivo de corte óptico 30 presenta una fuente de luz 34, mediante la cual se emite un abanico de luz 36 en dirección de la pieza de trabajo 16, para generar sobre su superficie dentro de la zona de trabajo del cabezal de mecanizado por láser 10, una línea de luz 38 (mostrada en las figuras 2A, 3A y 3B).

30 Como fuente de luz 34 del dispositivo de corte óptico 30, se adecua debido a la alta intensidad y una baja expansión intrínseca del haz, una fuente de luz láser, pudiendo ser ésta un diodo láser semiconductor. Para ello pueden utilizarse por ejemplo, diodos láser de AlGaInP con estructuras de múltiples pozos cuánticos, que presentan un máximo de irradiación en un rango de longitud de onda de entre 635 nm y 670 nm. De esta manera puede utilizarse por ejemplo, un diodo láser con una longitud de onda de irradiación de 658 nm y una potencia de irradiación de 66 mW.

35 Delante de la cámara 24, que preferiblemente es una cámara CCD con una curva característica logarítmica, está dispuesto el filtro pasabanda óptico 28. Según la invención, en este caso la banda de paso de la longitud de onda del filtro pasabanda óptico 28, está adaptada al al menos máximo de emisión local de la fuente de luz del dispositivo de corte óptico 30. En este caso, la anchura del valor medio o la FWHM (*full width at half maximum*, anchura total a la mitad del máximo) de la banda de paso de la longitud de onda del filtro 28 ha de elegirse de tal manera, que al mismo tiempo se emita el máximo de la fuente de luz 30, así como una parte espectral de la luz de proceso del baño de soldadura en la pieza de trabajo 16, que será descrito con mayor detalle en los sucesivos, con suficiente intensidad dentro de la banda de paso espectral del filtro pasabanda óptico 28, asegurándose que la longitud de

onda del haz de láser de trabajo 12 se encuentra fuera de la banda de paso espectral del filtro pasabanda 28. En este caso, la anchura del valor medio es preferiblemente inferior a 50 nm, de manera particularmente preferida inferior a 20 nm y particularmente inferior a 10 nm. El filtro pasabanda óptico 28 es preferiblemente un filtro Fabry-Perot o Fabry-Perot-Etalon, dejándose pasar mediante este tipo de filtro ondas electromagnéticas de un rango de frecuencia determinado, y eliminándose el resto de componentes de frecuencia mediante interferencia. En lo que se refiere a la anchura del valor medio del filtro pasabanda óptico 28, es ventajoso, cuando la banda es lo más estrecha posible, para producir durante un funcionamiento del cabezal de mecanizado por láser 10, una perturbación lo más reducida posible de la imagen de la cámara debido a reflejos del haz de láser 12.

El cabezal de mecanizado por láser 10 comprende además, una unidad de procesamiento 40 unida con la cámara 24, así como un actuador 41 conectado con la unidad de procesamiento 40, cuya función será descrita con más detalle en lo sucesivo.

Aunque el dispositivo de corte óptico 30, como se muestra en las figuras 2A, 2B y 3A, proyecta una línea de luz 38 recta sobre la pieza de trabajo 16, que está dispuesta sustancialmente en perpendicular sobre la dirección de movimiento del cabezal de mecanizado por láser 10, también es concebible por ejemplo, que el dispositivo de corte óptico 30 proyecte un abanico de luz cónico alrededor del punto de enfoque del haz de láser 12 sobre la pieza de trabajo 16, para producir una línea de luz 38 circular o elíptica, como se muestra en la figura 3B.

En lo sucesivo se explica ahora el funcionamiento del cabezal de mecanizado por láser 10 según la invención mediante las figuras 2A, 2B, 3A y 3B.

En un proceso de unión llevado a cabo mediante el cabezal de mecanizado por láser 10, que puede ser un proceso de soldadura o de soldadura indirecta, el cabezal de mecanizado por láser 10 se mueve, como se muestra mediante la flecha A indicada en la figura 1, con una velocidad  $v(t)$  sobre la pieza de trabajo 16 a unir (que puede consistir en dos chapas o elementos similares a unir entre sí), incidiendo el haz de láser 12 enfocado sobre un correspondiente punto de unión 42, y produciendo debido al proceso de soldadura una línea de unión 44, que une entre sí las partes de la pieza de trabajo mostrada en la figura 2A.

Al incidir el haz de láser 12 enfocado sobre el punto de unión 42, se funde el material de la pieza de trabajo 16 en las dos partes a unir, con lo que se produce en el punto de unión 42 un baño de soldadura 46, que habitualmente también se denomina como soldadura en forma de ojo de cerradura. El baño de soldadura 46 emite debido al material fundido de la pieza de trabajo 16, que habitualmente es metal, una radiación térmica, en correspondencia con la temperatura del baño de soldadura 46 producido.

La línea de luz 38 del dispositivo de corte óptico 30 se proyecta de tal manera sobre la pieza de trabajo 16, que se adelanta al punto de enfoque del haz de láser 12, es decir, al punto de unión 42 correspondiente. El dispositivo de corte óptico 30 está colocado en este caso de tal manera en la carcasa 14 del cabezal de mecanizado por láser 10, que el abanico de luz 36, incide oblicuamente con respecto al eje óptico del haz de láser 12 sobre la pieza de trabajo a mecanizar 16, de modo que en el caso de un movimiento en una y en otra dirección de la carcasa 14 a lo largo del eje óptico L (véase flecha B) la línea de luz 38 proyectada se mueve en una y otra dirección sobre la pieza de trabajo 16 en relación con el haz de láser de trabajo que incide sobre la pieza de trabajo 16.

De esta manera aumenta la distancia  $d$  entre la línea de luz 38 y el punto de incidencia del haz de láser 12 (el cual no tiene que corresponderse con el punto de incidencia real del haz de láser 12, sino que también puede ser un punto fijado virtual en el sistema de coordenadas de la imagen de la cámara 24 dispuesta de manera fija con respecto al dispositivo de corte óptico 30), cuando el cabezal de mecanizado por láser 10 se mueve hacia abajo, y se reduce la distancia  $d$  entre la línea de luz 38 y el punto de incidencia del haz de láser 12 sobre la pieza de trabajo 16, cuando el cabezal de mecanizado por láser 10 se mueve hacia arriba.

Dado que para un proceso de unión óptimo el enfoque del haz de láser de trabajo 12 siempre ha de transcurrir a una altura predeterminada a lo largo del punto a unir, se evalúa mediante la unidad de procesamiento 40 la línea de luz 38 detectada por la cámara en lo que se refiere a su distancia  $d$  hasta el punto de incidencia del haz de láser 12, y se regula mediante control del actuador 41 para un movimiento en una y otra dirección de la carcasa 14 (véase flecha B) a una distancia  $d$  predeterminada, que por su parte se corresponde con una posición de enfoque óptima del haz de láser de trabajo 12 en el punto de unión 42. Este mecanismo de regulación puede utilizarse de la misma manera para un abanico de luz cónico, que produce una línea de luz 38 circular sobre la pieza de trabajo 16, como se muestra en la figura 3B.

En el caso de un proceso de mecanizado por láser según la invención, se graba mediante la cámara 24, debido a la radiación térmica emitida a intervalos regulares, tanto la línea de luz 38 proyectada sobre la pieza de trabajo, como también el baño de soldadura 46 producido por la incidencia del haz de láser 12 sobre la pieza de trabajo 16. La cámara 24 está configurada preferiblemente para procesar grabaciones de imágenes con una alta dinámica en lo que se refiere a la intensidad de la luz grabada. Para este fin se adecuan particularmente bien dispositivos de cámara que utilizan un procedimiento HDR (*High Dynamic Range*, alto rango dinámico).

Además de ello, la cámara 24 puede presentar una curva característica logarítmica, de modo que la luz de proceso de alta intensidad, que pasa a través del filtro pasabanda óptico 28, puede ser grabada simultáneamente por la cámara 24 con la línea de luz 38 del baño de soldadura 46, de poca intensidad en relación con la luz de proceso. Dado que el filtro pasabanda óptico 28 solo deja pasar la luz dentro de un pequeño rango de longitud de onda, y oculta el rango de longitud de onda del haz de láser de trabajo 12, puede detectarse mediante el cabezal de mecanizado por láser 10 según la invención, sin perturbación de los reflejos del haz de láser 12 u otras influencias perturbadoras, el contorno del baño de soldadura 46, así como el contorno de la línea de luz 38.

En la figura 2A se muestra un proceso de soldadura en un primer momento. La línea de luz 38 se extiende sobre la pieza de trabajo 16, y pasa sobre la junta o la separación que queda entre las partes de la pieza de trabajo, transcurriendo la línea de luz 38 por el lugar en el que transcurre la junta las 48 que cruza el punto a unir 48. Mediante el procesamiento de los datos de las imágenes captadas por la cámara 24 mediante la unidad de procesamiento 40, se determina un punto de cruce 50 entre el punto a unir 48 y la línea de luz 38. En este caso se analiza el transcurso de la línea de luz 38 sobre la pieza de trabajo 16 generalmente plana, y se localiza el punto de cruce 50 como aquel punto, en el que la línea de luz 38 muestra un salto o irregularidades similares comparables.

Además de ello, se reproduce la luz de proceso del baño de soldadura 46 transmitida a través del filtro pasabanda 28, y con ello el contorno del baño de soldadura 46, determinándose mediante el procesamiento de la imagen en la unidad de procesamiento 40, el punto central del baño de soldadura 46 en el punto de unión 42. El contorno del baño de soldadura 46 puede asemejarse por un lado a una forma circular, pero también es posible sin embargo por otro lado, determinar el punto central de la superficie geométrica de la superficie del baño de soldadura reproducida.

Los puntos de cruce 50 determinados por la unidad de procesamiento 40, se encuentran en un determinado momento primeramente en las coordenadas de la superficie de la imagen 52 grabada por la cámara 24 (figura 3A y B). Mediante la integración a tiempo de la velocidad de avance  $v(t)$  del cabezal de mecanizado por láser 10, se calcula primeramente un vector de traslación en un momento determinado y se determina adicionalmente la orientación de la superficie de captación de imagen 52 con respecto a la pieza de trabajo 16, con lo que pueden transformarse las coordenadas de los puntos de cruce 50 en un sistema de coordenadas fijo con respecto a la pieza de trabajo 16. Para esta transformación, la unidad de procesamiento 40, como se muestra en la figura 4, presenta medios 54 para determinar la posición y la orientación del sistema de referencia en movimiento de la cámara reproductora y medios 56 para transformar las coordenadas  $x_{TR}(t)$ ,  $y_{TR}(t)$  de los puntos de cruce 50 o de las coordenadas  $x_{KH}(t)$ ,  $y_{KH}(t)$  de los puntos centrales del baño de soldadura del baño de soldadura 46, a partir del sistema de referencia en movimiento de la cámara reproductora en un sistema de referencia en el plano de la superficie de la pieza de trabajo, produciéndose las coordenadas  $x'_{TR}(t)$ ,  $y'_{TR}(t)$  de los puntos de cruce 50 y  $x'_{KH}(t)$ ,  $y'_{KH}(t)$  de los puntos centrales del baño de soldadura.

Tras la transformación de los puntos de cruce 50 en un sistema de referencia fijo con respecto a la pieza de trabajo 16, se depositan los puntos de cruce 50 en una memoria 58 (figura 4), con lo que se produce mediante interpolación de los puntos de cruce 50 una trayectoria objetivo 60. Esta trayectoria objetivo 60 forma un recorrido prefijado virtual para el punto de incidencia sobre la pieza de trabajo 16 del haz de láser 12 que sigue, es decir, el punto central de la herramienta o TCP (por sus siglas en inglés). La trayectoria objetivo 60 se produce, dependiendo del rendimiento de cálculo de la unidad de procesamiento 40, algo por detrás de la línea de luz 38.

Según la invención, se controla la generación de una línea de unión 44 de alta calidad, debido a que, o una calidad que se mantiene igual mediante regulación, debido a que, la posición del punto central del baño de soldadura 46 actual se compara con la posición de la trayectoria objetivo 60, como se explica en lo sucesivo.

En las figuras 2A y 2B se muestra el caso más sencillo de una ranura a unir o de una separación en una pieza de trabajo 16. El movimiento de avance  $v(t)$  del cabezal de mecanizado por láser 10 y por lo tanto del haz de láser 12 se desplaza de manera recta a lo largo de una junta recta y produce una línea de soldeo 44 rectilínea. Tras atravesar la distancia de regulación  $d$  (mostrada en la fig. 2B) entre la línea de luz 38 y el punto de incidencia del haz de láser 12, el haz de láser 12 ha alcanzado el punto a unir 48 mostrado en la figura 2A, al que se proporcionó un punto de cruce 50 virtual y que se depositó en una memoria 58. Mediante la comparación de las coordenadas memorizadas de los puntos de cruce 50 en el sistema de referencia de la pieza de trabajo 16 del punto de cruce 50 de la trayectoria objetivo 60 con las coordenadas del punto central del baño de soldadura 46 actual, se puede comprobar, si el baño de soldadura 46 se guía libre de errores a lo largo de la trayectoria objetivo 60. Sin embargo, también es posible ajustar mediante el empleo de un actuador, por ejemplo, del actuador 41, que desvía el haz de láser 12 transversalmente con respecto a la dirección de movimiento a razón de una distancia de regulación  $a$ , el baño de soldadura 46 a la trayectoria objetivo 60.

En la figura 3A se representa según la invención un primer ejemplo de realización de un procedimiento de mecanizado por láser.

En este procedimiento se produce un movimiento recto con una velocidad de avance  $v$  del cabezal de mecanizado por láser 10, estando configurado el actuador 41, para o bien mover en una u otra dirección todo el cabezal de mecanizado por láser 10 (con el dispositivo de corte óptico 30) o el punto de incidencia del haz de láser 12 sobre la pieza de trabajo 16 a razón de una distancia de regulación  $a$ . El movimiento de desviación del haz de láser 12 con la

distancia de regulación  $a$ , transcurre en este caso transversalmente con respecto a la dirección de movimiento del cabezal de mecanizado por láser 10, siendo el movimiento de desviación preferiblemente perpendicular con respecto a la dirección de movimiento del cabezal de mecanizado por láser 10, con el fin de lograr una regulación lo más sencilla posible. La línea de láser 38 proyectada sobre la pieza de trabajo 16, transcurre a una distancia  $d$  por delante del punto de incidencia del haz de láser 12, y está dispuesta preferiblemente perpendicular sobre la dirección de movimiento  $v(t)$  del cabezal de mecanizado por láser 10.

El actuador 41 puede ser un dispositivo de ajuste mecánico habitual, que mueve o bien todo el cabezal de mecanizado por láser 10, pero también es posible, acoplar el actuador 41 para el ajuste del haz de láser 12 a un componente óptico, que está incorporado en la trayectoria del haz del haz de láser 12 en el cabezal de mecanizado por láser 10. Para ello se adecua particularmente un espejo de desvío (no mostrado), a través del cual el haz de láser puede moverse sin ajuste de los componentes masivos, fácil y rápidamente con respecto a la pieza de trabajo 26. Si el haz de láser 12 se mueve en relación con el dispositivo de corte óptico 30, que está montado de forma fija en la carcasa 14, esto debería tenerse en cuenta al calcular la trayectoria objetivo 60.

Para ello se utiliza, como se muestra en la figura 4, una unidad de cálculo 62 de la unidad de procesamiento 40, que determina una distancia mínima entre la trayectoria objetivo 60 memorizada, y un punto central del baño de soldadura actual. En el caso de un proceso de regulación, puede utilizarse la distancia mínima como el tamaño real, cuyo valor ha de minimizarse. Es posible también sin embargo, proporcionar un comparador 64 (figura 4) en la unidad de procesamiento 40, que emite una señal de error, al superar la distancia mínima entre la trayectoria objetivo 60 y el punto central de la soldadura actual un valor de distancia predeterminado.

Otro ejemplo de realización de un proceso de mecanizado por láser según la invención, que utiliza el cabezal de mecanizado por láser 10 accesorio según la invención, se muestra en la figura 3B.

En este ejemplo de realización, se utiliza en vez de una línea de láser 38 recta, una línea de láser 38 que transcurre en forma circular o elíptica alrededor del punto de incidencia del haz de láser 12, es decir, alrededor del punto central del baño de soldadura 46. Esta geometría de la línea de láser 38 (que puede estar configurada también por ejemplo, en forma semicircular) tiene la ventaja, de que en el caso de recorridos de soldadura con curvatura extrema, el punto de cruce 50 entre la línea de láser 38 y el punto a unir 48, se puede detectar siempre y la distancia entre el punto a unir detectado actual 48 y el punto central del baño de soldadura 46 siempre presenta aproximadamente la distancia de regulación  $d$ .

Esta forma de la línea de láser es particularmente adecuada para una variante según la invención para la regulación del movimiento del cabezal de mecanizado por láser 10, que consiste en adaptar junto con la desviación  $a$  para guiar el baño de soldadura 48 sobre la trayectoria objetivo 60 mediante una regulación, además la dirección de movimiento con la velocidad de avance  $v$  a la trayectoria objetivo detectada 60. En este caso puede ajustarse por ejemplo según la invención, la dirección de movimiento actual del haz de láser 12 que incide sobre la pieza de trabajo, de tal manera, que ésta se aleja tangencialmente con respecto a la trayectoria objetivo 60, del punto central de la soldadura actual. Se define por lo tanto durante el movimiento del cabezal de mecanizado por láser 10 hasta el punto en el que se encuentra el punto central del baño de soldadura 46, y que en el caso de una regulación adecuada coincide con la trayectoria objetivo 60, una tangente con la trayectoria objetivo 60, predeterminando esta tangente la dirección de la dirección de movimiento actual  $v(t)$  del cabezal de mecanizado por láser 10.

En otra variante del control de la dirección de movimiento del cabezal de mecanizado por láser 10, se forma entre el punto central de soldadura actual y el punto de cruce 50 detectado actual, una recta de unión, que predetermina la dirección de movimiento actual del cabezal de mecanizado por láser 10. La formación de la recta entre el punto central de la soldadura y el punto de cruce 50, no está limitada sin embargo, al punto de cruce 50 detectado actual, es posible por ejemplo, elegir un punto de cruce 50 a una distancia radial predeterminada del punto central del baño de soldadura. Además de ello, el procedimiento del control de la dirección de movimiento del cabezal de mecanizado por láser 10, no está limitado a la utilización de una línea de láser 28 de forma circular o elíptica, también es posible por ejemplo, llevar a cabo un control de la dirección de movimiento, en el caso de una línea de láser 38 recta, como se muestra en la figura 3A.

Para guiar el cabezal de mecanizado por láser, puede proporcionarse un dispositivo robótico (no mostrado), que guía el cabezal de mecanizado por láser 10 según la invención a lo largo de la trayectoria objetivo 60.

Mediante el cabezal de mecanizado por láser 10 según la invención y el procedimiento según la invención para el mecanizado de una pieza de trabajo 16 mediante el cabezal de mecanizado por láser 10 según la invención, pueden realizarse movimientos de giro más pequeños debido a la distancia más pequeña entre la determinación de la posición de la junta, es decir, del punto a unir 48, y la determinación de la posición de la línea en el punto central de la herramienta, es decir, la ubicación del baño de soldadura 46, en particular, la ubicación del punto central del baño de soldadura 46, es decir, el punto central del baño de soldadura. Además de ello, los movimientos de giro de la línea de luz 38 pueden producirse anteriormente con un eje, de esta manera ya no es necesario un segundo eje de giro. De esta manera pueden soldarse y supervisarse radios de curvatura más pequeños. Además de ello, debido a la detección mediante técnica de medición de la radiación de proceso del baño de soldadura 46, es decir, de la soldadura en forma de ojo de cerradura, por ejemplo, en forma de valores de gris, es posible deducir la potencia del

haz de láser.

**REIVINDICACIONES**

1. Cabezal de mecanizado por láser (10) para el mecanizado de una pieza de trabajo (16) mediante un haz de láser (12), con:

- 5 - una carcasa (14), a través de la que se hace pasar una trayectoria de haz para el haz de láser (12) y que presenta una óptica de enfoque (18) para enfocar el haz de láser (12) sobre un punto de unión (42) de la pieza de trabajo a mecanizar (16),
- un dispositivo de corte óptico (30) colocado en la carcasa (14), con una fuente de luz (34) para producir una línea de luz (38) sobre la pieza de trabajo (16), que corta un punto a unir (48) a una distancia predeterminada (d) del punto de unión (42),
- 10 - una cámara (24) con un filtro pasabanda óptico (28) dispuesto en una trayectoria de haz de observación (22) delante de la cámara (24), presentando la fuente de luz (34) un máximo de radiación al menos local en la banda de paso de longitud de onda del filtro pasabanda (28), y el filtro pasabanda óptico (28) está configurado de tal manera, que el haz de láser (12) no se transmite, y reproduciendo la cámara (24) la línea de luz (38) en el punto a unir (48), así como la parte de la luz de proceso, que ha dejado pasar el filtro pasabanda (28), de un baño de soldadura (46) producido al incidir el haz de láser (12) sobre la pieza de trabajo (16) a mecanizar, en el punto de unión (42) a intervalos regulares, y
- 15 - una unidad de procesamiento (40) con una memoria (58) para recibir los datos de imagen grabados por la cámara (24), que está configurada para
  - 20 -- determinar mediante el procesamiento de los datos de imagen recibidos, el punto de cruce (50) de la línea de luz (38) con el punto a unir (48),
  - memorizar los puntos de cruce (50) entre la línea de luz (38) y el punto a unir (48) como trayectoria objetivo (60) en la memoria (58), y **caracterizado por que** la unidad de procesamiento está configurada para determinar mediante el procesamiento de imágenes el punto central del baño de soldadura (46) en el
  - 25 punto de unión (42), y
  - determinar una distancia mínima entre la trayectoria objetivo (60) memorizada y el punto central del baño de soldadura actual.

2. Cabezal de mecanizado por láser (10) según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el filtro pasabanda óptico (28) es un filtro de interferencia, en particular un filtro de Fabry-Perot.

30 3. Cabezal de mecanizado por láser (10) según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** el filtro pasabanda óptico (28) presenta una banda de paso de longitud de onda cuya anchura de valor medio es preferiblemente inferior a 50 nm, de manera particularmente preferida inferior a 20 nm, y en particular inferior a 10 nm.

4. Cabezal de mecanizado por láser (10) según una de las reivindicaciones anteriores, además con:

- 35 - un comparador (64), que está configurado para emitir un mensaje de error cuando se supera la distancia mínima entre la trayectoria objetivo (60) y el punto central de la soldadura actual a razón de un valor de distancia predeterminado.

5. Cabezal de mecanizado por láser (10) según una de las reivindicaciones anteriores, además con:

- 40 - un actuador (41) que está configurado para regular hacia cero la distancia mínima entre la trayectoria objetivo (60) y el punto central de la soldadura actual mediante el movimiento del haz de láser (12) transversalmente con respecto a una dirección de movimiento del cabezal de mecanizado por láser (10) a razón de una distancia de regulación (a).

6. Cabezal de mecanizado por láser (10) según la reivindicación 5, **caracterizado por que** el actuador (41) está configurado para mover el haz de láser (12) perpendicularmente con respecto a la dirección de movimiento a razón de la distancia de regulación (a).

45 7. Cabezal de mecanizado por láser (10) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la cámara (24) comprende un dispositivo de grabación de imágenes, que está configurado para el procesamiento de los datos de las imágenes mediante un procedimiento de HDR.

8. Cabezal de mecanizado por láser (10) según una de las reivindicaciones anteriores, además con un divisor de haz (20) mediante el cual puede acoplarse una trayectoria de haz de observación (22) de la cámara (24) coaxialmente en la trayectoria del haz de láser.

9. Cabezal de mecanizado por láser (10) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el dispositivo de corte óptico (30) está configurado para producir mediante la fuente de luz (34) un abanico de luz (36) que incide de manera oblicua con respecto al eje óptico (L) del haz de láser (12) sobre la pieza de trabajo (16) a mecanizar, de modo que se produce una línea de luz (38) sobre la pieza de trabajo (16), y puede determinarse una

distancia entre la óptica de enfoque (18) y la pieza de trabajo (16) mediante triangulación.

10. Cabezal de mecanizado por láser (10) según la reivindicación 9, **caracterizado por que** la línea de luz (38) proyectada sobre la pieza de trabajo (16) es recta y transcurre perpendicularmente con respecto a la dirección de movimiento del cabezal de mecanizado láser (10).
- 5 11. Cabezal de mecanizado por láser (10) según la reivindicación 9, **caracterizado por que** la línea de luz (38) proyectada sobre la pieza de trabajo (16) transcurre de manera circular alrededor del punto de incidencia del haz de láser (12) sobre la pieza de trabajo (16).
12. Cabezal de mecanizado por láser (10) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la fuente de luz (34) es un láser, particularmente un láser semiconductor.
- 10 13. Dispositivo robótico con un cabezal de mecanizado por láser (10) según una de las reivindicaciones anteriores, que está configurado para mover de tal manera el cabezal de mecanizado por láser (10), que el punto central de la soldadura se guía a lo largo de la trayectoria objetivo (60), ajustándose de tal manera la dirección de movimiento actual del haz de láser (12) que incide sobre la pieza de trabajo (16), que ésta se aleja tangencialmente con respecto a la trayectoria objetivo (60), del punto central de la soldadura actual.
- 15 14. Procedimiento para el mecanizado de una pieza de trabajo (16) mediante un cabezal de mecanizado por láser (10) según una de las reivindicaciones anteriores, mediante un haz de láser (12), con los pasos:
- producir una línea de luz (38) sobre la pieza de trabajo (16), que corta un punto a unir (48) a una distancia predeterminada (d) antes de un punto de unión (42),
  - reproducir la línea de luz (38) en el punto a unir (48) y un baño de soldadura (46) producido por la incidencia del haz de láser (12) sobre la pieza de trabajo (16) en el punto de unión (42) a intervalos de tiempo regulares mediante la cámara (24), y
  - procesar los datos de imágenes producidos por la cámara (24) con los pasos
    - determinar un punto de cruce (50) de la línea de luz (38) con el punto a unir (48), así como el punto central del baño de soldadura (46),
    - memorizar los puntos de cruce (50) determinados en los diferentes momentos como trayectoria objetivo (60) en una memoria (58), y
    - determinar una distancia mínima entre la trayectoria objetivo (60) y el punto central del baño de soldadura actual.
- 20
- 25
- 30 15. Procedimiento según la reivindicación 14, además con el paso de la regulación de la distancia mínima entre la trayectoria objetivo (60) y el punto central del baño de soldadura actual mediante el movimiento hacia cero del haz de láser (12) transversalmente con respecto a la dirección de movimiento del haz de láser (12) a razón de una distancia de regulación (a).

Fig. 1

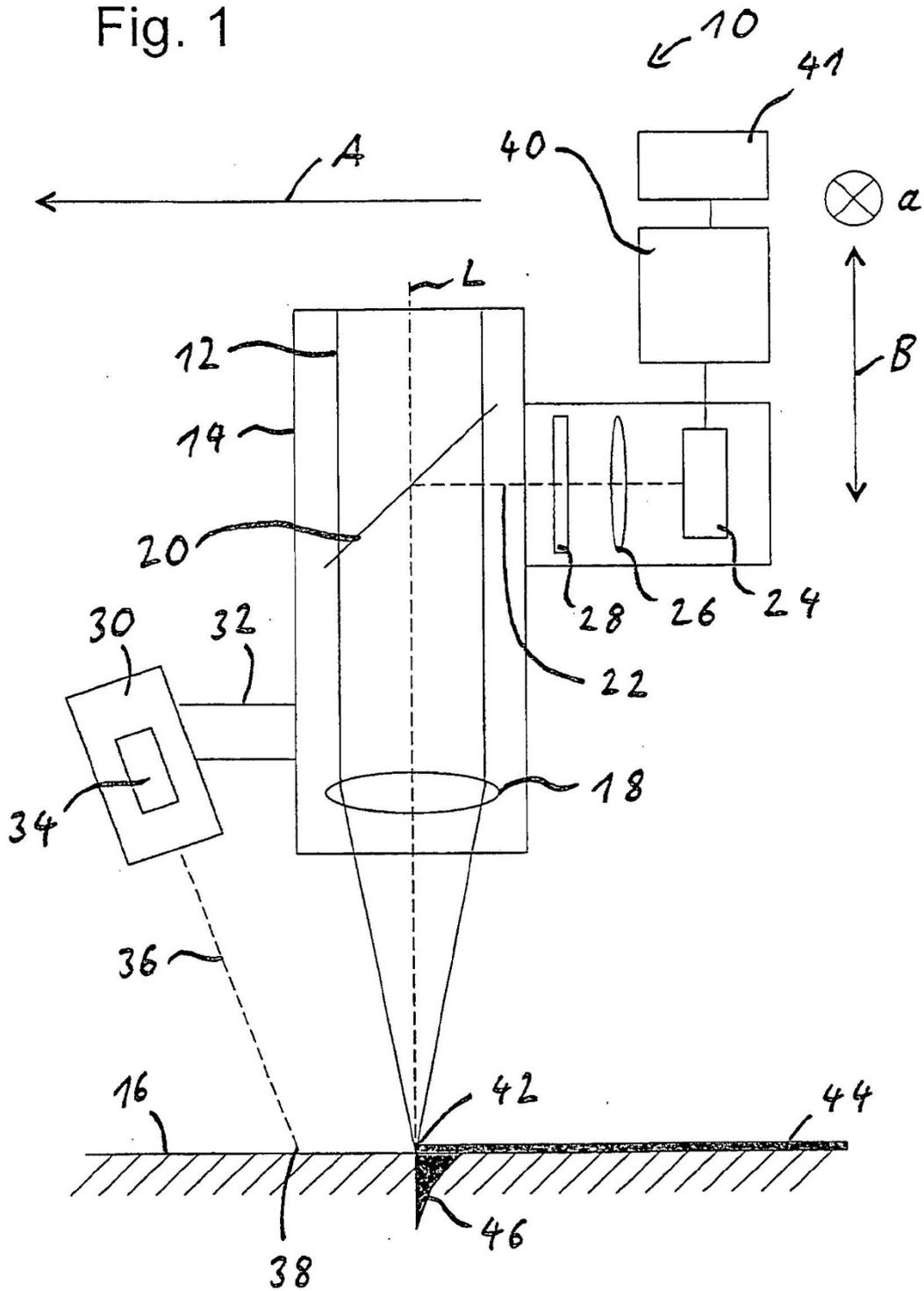


Fig. 2A

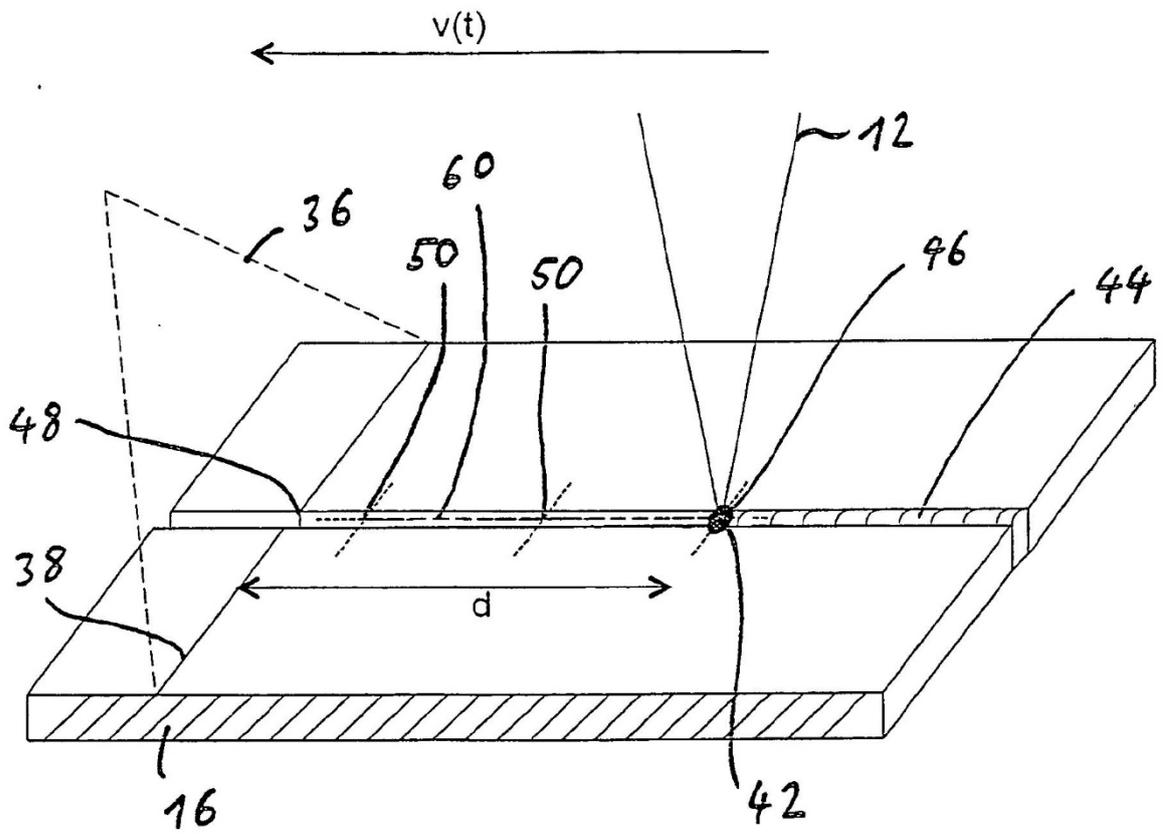


Fig. 2B

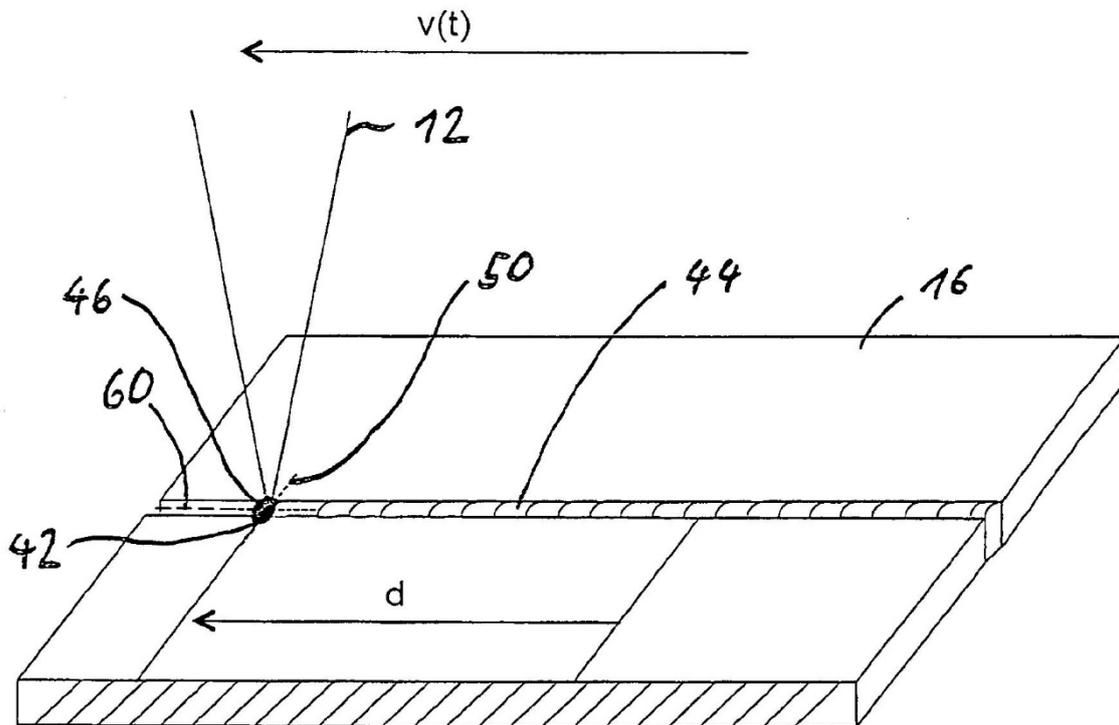


Fig. 3A

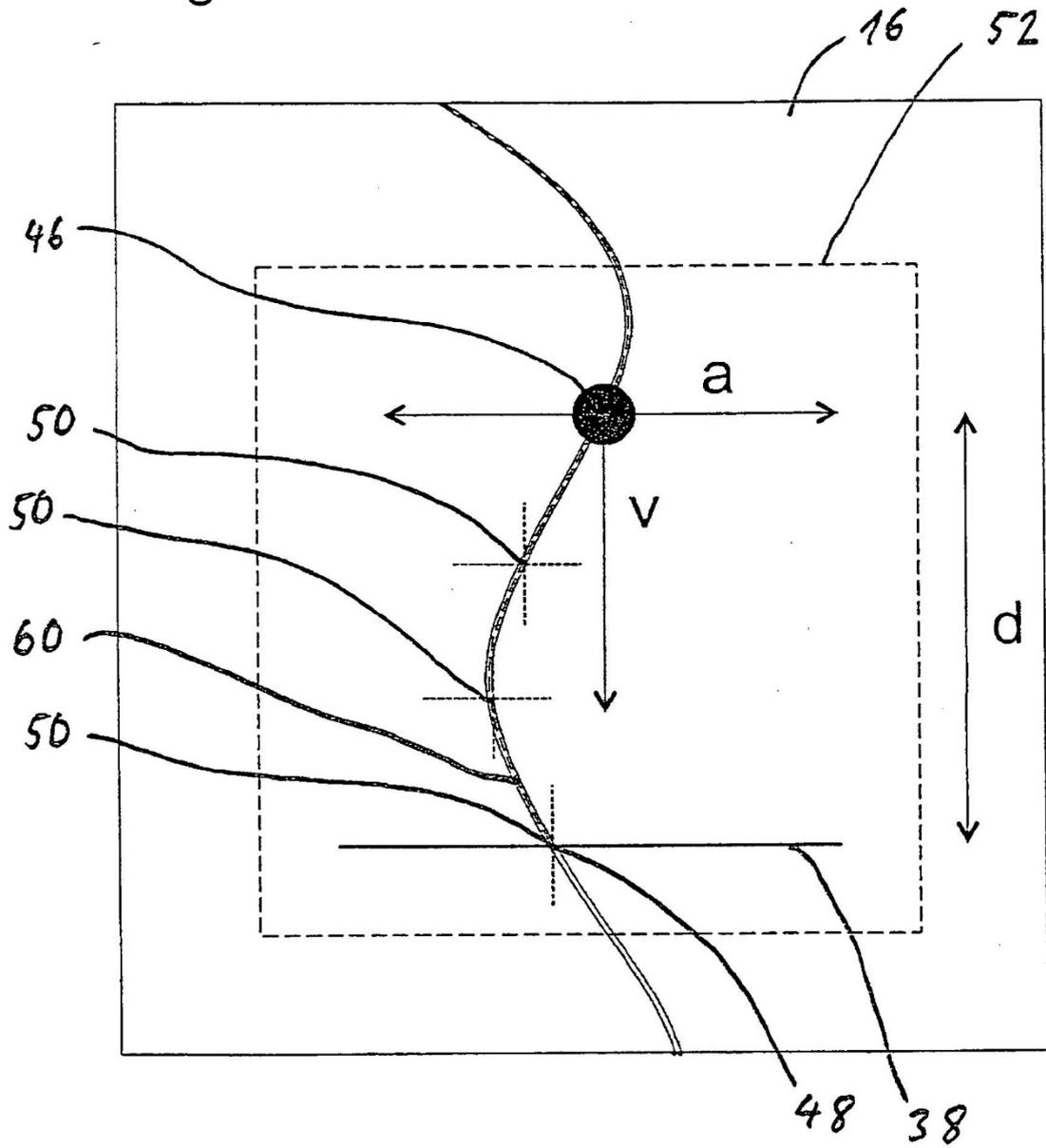


Fig. 3B

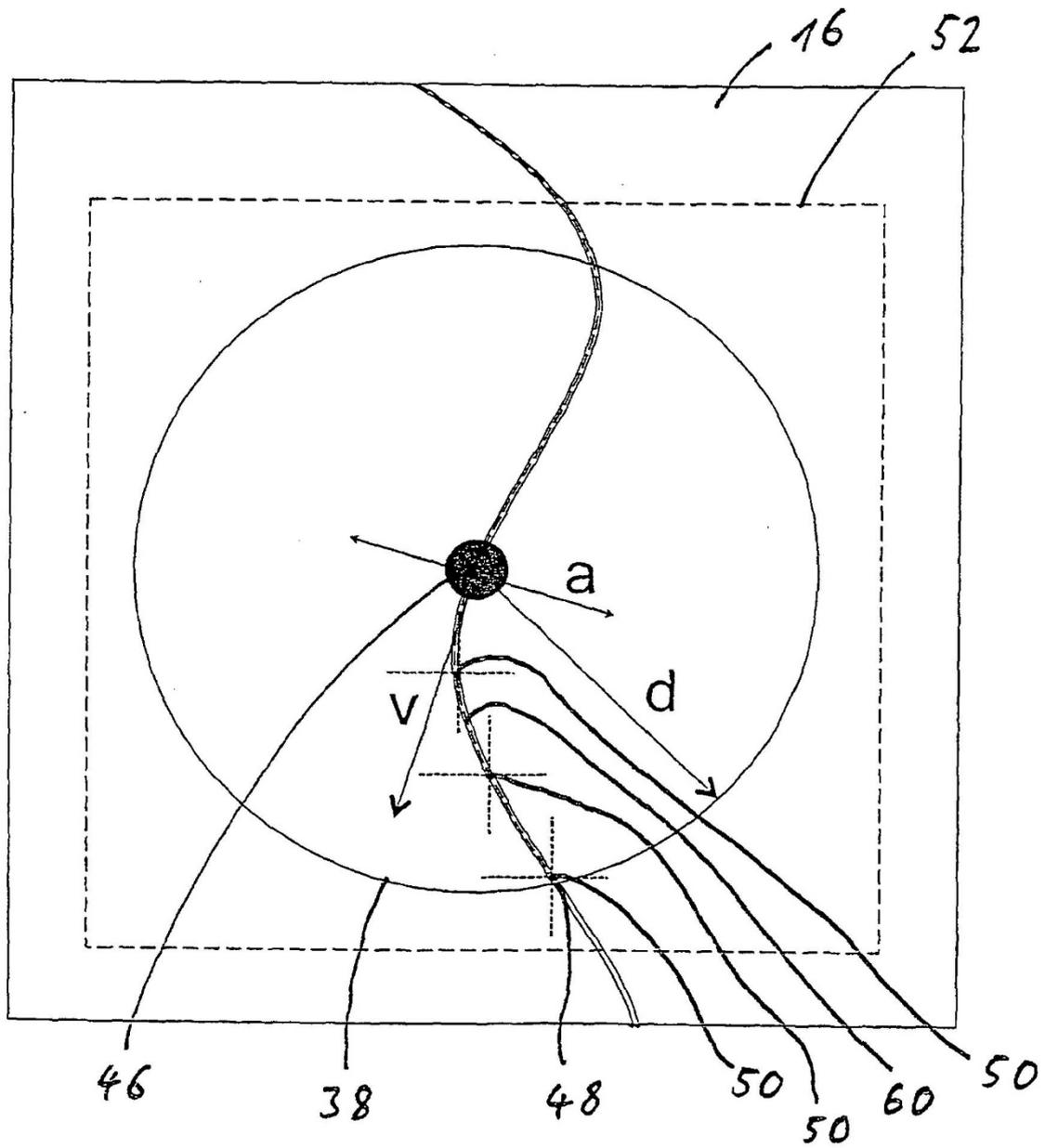


Fig. 4

