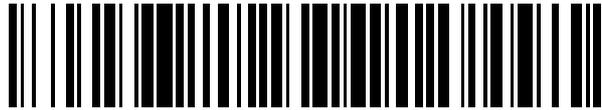


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 651 901**

51 Int. Cl.:

**B23K 26/06** (2014.01)

**B23K 26/08** (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.03.2008 PCT/EP2008/002104**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.09.2008 WO08113534**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.03.2008 E 08716574 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.11.2017 EP 2136957**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la mecanización de una pieza de trabajo**

30 Prioridad:

**16.03.2007 DE 102007012815**

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

**30.01.2018**

73 Titular/es:

**SAUER GMBH LASERTEC (100.0%)  
Deckel-Maho-Strasse 1  
87459 Pfronten, DE**

72 Inventor/es:

**KUHL, MICHAEL;  
HILDEBRAND, PETER y  
REISACHER, MARTIN**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

ES 2 651 901 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).

**DESCRIPCION**

Procedimiento y dispositivo para la mecanización de una pieza de trabajo

5 La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para la mecanización de piezas de trabajo, en particular para la mecanización de piezas de trabajo por medio de un rayo láser pulsátil. La figura 1 muestra características conocidas durante la mecanización de piezas de trabajo por medio de un rayo láser.

10 La figura 1a muestra de forma esquemática un dispositivo de mecanización con láser en vista material. El número 1 es la pieza de trabajo, el número 2 representa la mesa de las piezas de trabajo, sobre la que está colocada la pieza de trabajo 1. El número 5 simboliza el rayo láser de mecanización, que está guiada en una zona determinada a través de la guía del rayo 2. El número 3 es la fuente de luz láser, que emite luz láser, de manera que la luz láser se propaga entonces en la guía del rayo 2 y desde ésta se dirige sobre la pieza de trabajo 1. El número 6 simboliza un control / regulación, que puede recibir datos de procedo y que controla al menos la guía del rayo 2 y la fuente de láser 3. Puede estar conectado con un control / regulación 7 de rango superior. De acuerdo con el diseño, puede asumir también él mismo tareas de control de rango alto y puede estar conectado con una memoria 7, que contiene, por ejemplo, datos de estampación o datos de fabricación, de acuerdo con cuya decisión debe mecanizarse la pieza de trabajo 1.

20 Se indica de forma esquemática un sistema de coordenadas:

la dirección-x se extiende vertical en el plano del dibujo.  
la dirección-z se extiende vertical en el plano del dibujo, y  
la dirección-y se extiende perpendicular al plano del dibujo hacia atrás.

25 El dispositivo de la figura 1a se puede utilizar tanto para la formación estampada a través de erosión superficial, por capas, del material como también para la mecanización de la superficie, en la que no interesa principalmente la erosión del volumen, sino de manera prioritaria la creación de determinadas propiedades de la superficie. Esto se puede conseguir con menos pasadas (capas). En el caso extremo, solamente es necesaria una pasada una vez sobre los puntos de la superficie (en dirección-x/y) que deben mecanizarse en cada caso.

35 Las figuras 1b y 1c muestran relaciones durante la formación de la estampa, es decir, con erosión del volumen del material. La figura 1b es una vista en planta superior sobre la pieza de trabajo. La figura 1c es la sección a través de la pieza de trabajo. La curva 8a en forma de meandro representa el movimiento del rayo láser sobre la superficie de la pieza de trabajo. En este contexto, se indica que el rayo láser tiene un cierto diámetro sobre la superficie de la pieza de trabajo y con este diámetro está correlacionada también la anchura (perpendicularmente a la dirección del movimiento en el plano de la superficie de la pieza de trabajo) de la actuación sobre la superficie de la pieza de trabajo. Los diámetros típicos del rayo están en el intervalo de 5 y 50  $\mu\text{m}$ . De manera correspondiente a ello, están correlacionadas las distancias de los meandros individuales entre sí. En lugar de un meandro de ida y vuelta se puede activar también, por ejemplo, una espiral o el trazado en la misma dirección por líneas de líneas de mecanización. El número de referencia 9a designa los límites de mecanización en la capa respectiva. Dentro de los límites de mecanización, el rayo láser 5 está conectado, fuera de los mismos está desconectado, de manera que su pista existe sólo teóricamente en las zonas colocadas fuera. Dentro de los límites 9a, el rayo láser provoca la erosión, fuera no. En lugar de la desconexión fuera de los límites de la mecanización, se puede seleccionar también un desenfoque fuerte, de manera que la entrada de energía por área no es ya suficiente para la mecanización de la pieza de trabajo y el láser trabaja al mismo tiempo de forma continua. De acuerdo con la figura 1b, se erosiona una capa. Sigue entonces a continuación otra capa, en la que se pueden aplicar otros límites de mecanización 9a. De esta manera, se forma el estampado en la profundidad, como se muestra en la figura 1c. El número 1a define el fondo momentáneo del estampado, es decir, la superficie momentánea de la pieza de trabajo, como se contempla en la figura 1b. Las líneas trazadas horizontales muestran de forma esquemática las capas erosionadas individuales. Los límites de mecanización 9a se diferencia de cada a capa, es decir, en la dirección de la profundidad (dirección-z negativa), de manera que resulta de este modo un estampado con conformación exactamente definida. Además, se puede tratar, por ejemplo, de la construcción de formas o similar. El número 1c simboliza el fondo del estampado acabado. No está todavía terminado, pero se libera en el transcurso del tiempo a través del procedimiento de erosión que cubre la superficie capa a capa.

60 La figura 1d muestra el modo de proceder durante la mecanización de la superficie. Se trata de la vista en planta superior sobre la superficie de la pieza de trabajo. Aquí se pueden controlar una o varias pistas individuales. La mecanización puede ser, pero no necesariamente puede cubrir toda la superficie. Se pueden prever pistas paralelas 8b, 8c y 8d, 8e. De esta manera, se puede generar una superficie con determinadas propiedades ópticas o mecánicas. Como en la figura 1b, en la figura 1d se puede controlar la pista respectiva a través de la guía del rayo 2 de la figura 1a. El rayo láser se recorre en este caso sobre la superficie de la pieza de trabajo dentro de un tiempo  $\Delta t$  determinado de retorno un trayecto determinado  $\Delta x$ , de manera que se puede definir de forma correspondiente una velocidad de la trayectoria  $v_B$  del rayo láser sobre la superficie de la pieza de trabajo como  $\Delta x / \Delta t$ . Las

velocidades habituales de la trayectoria son 100 – 300 mm/s. Están limitadas hacia arriba por la exactitud de ajuste que se aplica a medida que se eleva la velocidad.

La figura 1e muestra la curva característica del rayo láser de mecanización sobre el tiempo. Se muestra la potencia respectiva de la luz. Con un área de la sección transversal conocida del rayo láser, la curva del tiempo corresponde, por lo tanto, también a la entrada de potencia con respecto al área. Los rayos láser pulsan con preferencia con periodo constante. Se indican las puntas del impulso con relación al tiempo  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_2$ , para el que se supone una diferencia de tiempo constante  $t_L$ . A ésta corresponde una frecuencia del impulso de láser. Se aplica

$$t_L = 1/f_L$$

Las frecuencias típicas del impulso de láser  $f_L$  están entre 10 kHz y 100 kHz. No obstante, en tiempo reciente se ha establecido también una tendencia hacia frecuencias del impulso  $f_L$  claramente más elevadas. Entretanto se ofrecen láseres de mecanización con frecuencias del impulso en torno o por encima de 1 MHz y en torno a 2 MHz, también por encima de 5 MHz hasta 100 MHz o más. Es deseable utilizar este láser, puesto que a pesar de la frecuencia más elevada del impulso, tienen a pesar de todo una potencia de punta del impulso que determina de manera decisiva la erosión, que corresponde a la del láser de frecuencia más baja o incluso la excede en gran medida. Se indica un ejemplo de cálculo para ilustración. Una potencia media del láser convencional con una frecuencia del impulso de 80 kHz conduce a una energía del impulso de 125 mJ. Con una duración del impulso de 100 ns resulta una potencia punta del impulso de 125 W.

En cambio, en los sistemas nuevos se puede introducir por impulsos una potencia láser media de 10 W a 1 MHz. Aquí las duraciones de los impulsos son claramente más cortas, por ejemplo 10 ps. Esto conduce a una potencia punta del impulso de 1 MW.

La figura 1f muestra otro diagrama de tiempo. Se describe un caso especial de la mecanización de la pieza de trabajo por medio de rayo láser pulsátil, en el que delante del impulso de trabajo propiamente dicho se aplica un impulso de calentamiento. En este caso, la frecuencia del impulso a considerar se puede medir entre los impulsos de trabajo, como se representa en la figura 1f.

La guía del rayo 2 presenta una velocidad de ajuste final determinada. En concreto, se puede accionar teóricamente muy rápido. Sin embargo, adolece de la exactitud de ajuste y, por lo tanto, de la exactitud de la mecanización de la superficie o bien de la formación del estampado sobre la pieza de trabajo. De esta manera, resultan relaciones, que se explican con referencia a la figura 1d. La figura 1g es la vista en planta superior sobre la superficie de la pieza de trabajo. El número 8f designa la trayectoria momentánea del rayo láser sobre la superficie de la pieza de trabajo. En función de la velocidad de la trayectoria  $v_B$  del rayo láser sobre la superficie de la pieza de trabajo, el diámetro del rayo  $d_S$  del rayo láser al nivel de la superficie de la pieza de trabajo y la frecuencia del impulso del láser  $f_L$ , se pueden producir solapes de los impulsos. Si se supone, por ejemplo, una frecuencia del impulso  $f_L$  de 100 kHz y un diámetro del rayo  $d_S$  de 10  $\mu\text{m}$ , resulta

$$v_B = d_S/t_L = d_S \times f_L$$

De manera correspondiente, una velocidad de la trayectoria  $v_B$  de 1 m/s, cuando se desea que no se solapen precisamente los puntos de encuentro de la luz láser. Pero en realidad son guías actuales del rayo, que están constituidas, en general, por espejos articulados, limitados en su velocidad de guía sobre la superficie de la pieza de trabajo aproximadamente a 500 m/s o 1000 mm/s. Esto significa con los valores numéricos adoptados ya un solape de aproximadamente 50 % del diámetro del rayo  $d_S$ . Si se acepta ahora que un impulso de láser incidente conduce al calentamiento del material de tal manera que se licua y se evapora (pudiendo realizarse muy rápidamente la fase líquida), esto conduce en cualquier caso a que el impulso del láser siguiente aparezca en un lugar, en el que también ya estaba activo el impulso láser anterior.

Esto conduce a diferentes efectos desagradables. Conduce a que la pieza de trabajo, debido a la entrada de demasiada energía por unidad de tiempo en la misma superficie activa, que ya ha sido afectada anteriormente por impulsos anteriores, se caliente más allá de la limitación del rayo láser, es decir, más allá del diámetro del rayo, y se licue en una zona mayor, lo que conduce a una elevación no deseada la porción de fundición. Esto conduce de nuevo a que no existan ya relaciones definidas con exactitud, lo que indica la interacción entre el rayo láser y la superficie de la pieza de trabajo. De esta manera, la erosión del material es irregular y no es previsible con exactitud.

El problema se agrava con las frecuencias crecientes del impulso mencionadas al principio. El ejemplo numérico que se acaba de indicar muestra que ya con frecuencias de impulsos comparativamente bajas (100 kHz) se producen solapes a la vista de las velocidades de ajuste de la guía del rayo láser 2. Éste será tanto más el caso cuando no exista, por ejemplo, una frecuencia del impulso de 100 kHz, sino aproximadamente una frecuencia de 1 MHz o más allá de 100 MHz. Entonces se puede intentar en cierto modo de reducir el diámetro del rayo láser o de mejorar la velocidad de ajuste. Pero con tal técnica actual no se contrarresta un solape significativo de impulsos individuales

sobre la superficie de la pieza de trabajo, como se muestra en la figura 1g. A altas frecuencias del impulso de 500 kHz y más debe suponerse que con la técnica actual el solape sería mayor del 50 % del diámetro del rayo sobre la superficie de la pieza de trabajo y probablemente también mayor del 80 % del diámetro del rayo. Esto conduce tanto más a las inexactitudes mencionadas en la potencia de erosión.

5 Otro estado de la técnica se encuentra en los documentos DE102005039833A1, DE102004051180A1, DE10392185T5, EP0536625B1, DE10309157A1 y US5837962.

10 El documento US2005/0237895 describe un dispositivo para la iluminación del láser de una pieza de trabajo. Las frecuencias del impulso están por encima de 100 MHz. Parejas de velocidad de exploración y diámetro del láser son 2000 cm/s y 20 µm o bien 10<sup>7</sup> cm/s y 400 µm.

15 El documento US 2005/0069000 describe un dispositivo de separación de láser, que utiliza un foco de láser de 60 mm de diámetro como herramienta de corte.

El cometido de la invención es indicar un procedimiento y un dispositivo para la mecanización de una pieza de trabajo, que posibilitan también con alta frecuencia del impulso el control y el ajuste estables y previsibles de la potencia de erosión.

20 El cometido se soluciona con las características de las reivindicaciones independientes 1 y 10. De acuerdo con la invención, por medio de instalaciones técnicas adecuadas se ajusta la velocidad de la trayectoria vB, con la que se guía el rayo láser sobre la superficie de la pieza de trabajo, de manera que a la vista de la frecuencia del impulso de láser fL y el diámetro del rayo se ajustan las siguientes relaciones:

25 
$$vB > n \times dS \times fL,$$

en las que n es un factor proporcional, que puede ser 0,5 ó 0,7 ó 1 o mayor que 1. Cuando la velocidad de la trayectoria se modifica en el curso del tiempo, se puede tomar una velocidad media de la trayectoria o la velocidad máxima de la trayectoria. Lo mismo se aplica para la frecuencia del impulso de láser fL.

30 El ajuste adecuado de una velocidad de la trayectoria rápida vB se realiza de tal manera que al movimiento provocado por la guía del rayo 2 conocida se superpone otro movimiento más rápido, dado el caso, con amplitud más pequeña. Entonces están previstas dos guías, una de las cuales es la guía del rayo convencional, como se ha descrito con referencia a la figura 1a, y la otra es otra guía del rayo, que genera la guía solapada del rayo láser.

35 Un dispositivo para la mecanización de la pieza de trabajo para la realización de uno de los procedimientos descritos anteriormente se representa en la reivindicación 10. La pieza de trabajo a mecanizar puede ser o presentar un material metálico o un material de semiconductores o una cerámica o un cristal o un plástico. La mecanización puede ser una mecanización de la superficie para influir en la apariencia óptica o en la rugosidad de una superficie, o puede ser la formación de un estampado de tal manera que se erosiona material capa por capa en la superficie para crear de esta manera un estampado con paredes laterales exactamente definidas y con un fondo exactamente definido. Durante la formación del estampado, las exactitudes pueden ser mejores que 100 µm, con preferencia mejores que 50 ó 10 µm de exactitud de fabricación.

45 Cada uno de los impulsos por sí puede ser suficientemente rico en energía para la fundición o evaporación del material en el lugar de incidencia. En la forma de realización de la figura 1f, esto se aplica para los impulsos de trabajo propiamente dichos, no necesariamente para los impulsos de calentamiento previos.

A continuación se describen con referencia a los dibujos formas de realización individuales de la invención. En este caso:

50 La figura 1 muestra representaciones del estado de la técnica.

La figura 2 muestra una representación para la explicación del efecto de la invención.

55 La figura 3 muestra formas de realización de acuerdo con la invención.

La figura 4 muestra otra forma de realización de acuerdo con la invención, y

60 La figura 5 muestra un dispositivo de acuerdo con la invención.

La figura 2 muestra las relaciones de acuerdo con la invención. El número de referencia 8g muestra la trayectoria momentánea del rayo láser. Puede ser curvada. Los números 21 y 22 son dos puntos de incidencia sucesivos de dos impulsos de trabajo sucesivos de la luz láser. Sus puntos medios ideales imaginarios son, respectivamente, los puntos 21a y 22a. Los círculos 21b y 22b designan en cada caso el diámetro del rayo de luz láser. El trayecto wL

entre los dos puntos medios 21a y 22b es el trayecto que recorre el rayo láser entre dos impulsos de trabajo. Las relaciones están ajustadas de tal manera que el solape es menor que un valor predeterminado, en particular inferior al 30 % o 50 %. En general, las relaciones se pueden describir a través de la fórmula

$$vB > n \times dS \times fL$$

en la que  $vB$  es la velocidad de la trayectoria del rayo láser pulsátil sobre la superficie de la pieza de trabajo,  $dS$  es el diámetro del rayo al nivel de la superficie de la pieza de trabajo y  $fL$  es la frecuencia de los impulsos de trabajo de la luz láser pulsátil. La frecuencia del impulso puede ser en este caso mayor que 100 kHz, con preferencia mayor que 1 MHz y de manera más preferida mayor que 10 MHz. El valor  $n$  es un factor proporcional, que puede ser 0,3 ó 0,5 o también 1 o mayor que 1. El solape (que corresponde al factor proporcional  $n$ ) se puede ajustar de acuerdo con las relaciones deseadas.

La velocidad de la trayectoria se calcula como aquella velocidad, que resulta cuando se divide el trayecto ( $wL$ ) recorrido entre dos impulsos por el tiempo necesario para el trayecto (que corresponde a  $tL = 1/fL$ ). En el caso de velocidades variables, se puede tomar un valor medio o en cada caso un valor momentáneo junto con valores momentáneos de las otras variables respectivas.

La velocidad de la trayectoria respectiva se puede generar generando un movimiento de guía superpuesto sobre la guía convencional. Del rayo láser se puede guiar, por una parte, a través de la guía del rayo convencional y, por otra parte, a través de otra guía del rayo, que genera un movimiento más rápido. La guía del rayo convencional (número de referencia 2 en la figura 1a) puede tener en este caso una amplitud mayor (desviación máxima) que la guía del rayo añadida. La guía del rayo añadida puede generar una desviación, que tiene una componente transversal al movimiento generado por la guía del rayo convencional. La guía adicional puede controlar un movimiento de vaivén o también un movimiento solapado en ambas direcciones de la superficie de la pieza de trabajo. Su amplitud puede ser menor que la de la desviación máxima de la guía del rayo convencional. Si se genera un movimiento de vaivén o bien un movimiento en cierto modo periódico a través de la guía del rayo añadida, su frecuencia puede ser una fracción de la frecuencia de los impulsos de trabajo del láser, por ejemplo más de 5% o más de 10 % o  $1/n$  ( $n =$  número entero) de la frecuencia del impulso de láser. Por cada periodo del movimiento adicional se realizan entonces varios impulsos de trabajo del rayo láser.

La figura 3 muestra cómo se puede generar el movimiento deseado en diferentes formas de realización. Los patrones del movimiento de la figura 3 son representaciones de guías del rayo láser en el plano de la superficie de la pieza de trabajo, es decir, en el plano-x/y.

Las figuras 3a, 3b y 3c muestran guías del rayo, como se pueden generar a través de la guía del rayo convencional. La figura 3a corresponde en este caso, al menos por secciones, a la guía del rayo de la figura 1d, la figura 3b corresponde a la guía del rayo de la figura 1b, la figura 3c muestra dos trayectorias definidas  $8h$  y  $8i$ , que se ajustan de manera sucesiva a través de la guía del rayo convencional y que también se pueden cruzar.

Las figuras 3d, 3e y 3f muestran patrones del movimiento, que se pueden ajustar a través de otra guía del rayo y que se pueden superponer al movimiento generado por la guía del rayo convencional. El patrón 31 muestra un movimiento ascendente y descendente vertical, durante el que en una pasada pueden tener lugar varios impulsos láser. Cuando, por ejemplo, durante un periodo del movimiento de la figura 3d deben tener lugar diez (en general:  $n$ ) impulsos de trabajo, la periodicidad del movimiento sería una décima (en general:  $1/n$ ) de la frecuencia del impulso de láser. La desviación 2a (doble amplitud  $A$ ) se puede seleccionar de conformidad con el diámetro del rayo  $dS$ . Puede ser un múltiplo del diámetro del rayo láser, por ejemplo más del doble, más de diez veces o más de 50 veces. Por otra parte, la desviación 2a puede ser inferior a diez veces o inferior a cinco veces el diámetro del rayo láser  $dS$  en nivel de la pieza de trabajo. En general, se puede utilizar la zona de desviación técnicamente posible de la segunda guía. Con  $\pm 1^\circ$  y, por ejemplo, 200 mm de longitud del recorrido, resulta una desviación de casi 7 mm. Para evitar efectos marginales, se pueden evitar extremos en el control.

La figura 3e muestra otro patrón. Allí se ajusta un movimiento circular, que se superpone al movimiento convencional. Durante una revolución tienen lugar varios impulsos de mecanización. Las consideraciones sobre la periodicidad son iguales que con respecto a la figura 3d.

El movimiento de la figura 3d se puede modificar de tal manera que se modifica la dirección de la oscilación. Así, por ejemplo, puede suceder que al menos siempre permanezca un ángulo mínimo determinado (por ejemplo,  $20^\circ$  o  $40^\circ$ ) con respecto a la dirección del movimiento, que se controla a través de la guía del rayo convencional. Así, por ejemplo, se puede conmutar entre una oscilación vertical (figura 3b) y una oscilación horizontal girada, en cambio, alrededor de  $90^\circ$ . La figura 3f muestra una forma de realización, en la que la guía del rayo superpuesta es aleatoria o casi aleatoria. Puede tener componentes del movimiento en la dirección de la guía del rayo convencional y perpendicularmente a ella. Por ejemplo, en un retículo rectangular o cuadrado, las posiciones individuales se pueden recorrer de manera casi aleatoria, pero de una manera predeterminada, hasta que se han alcanzado una vez todas

las posiciones. Entonces se repite el patrón.

La figura 4 muestra el resultado de la superposición, por ejemplo, de la guía convencional, que corresponde, por ejemplo a una línea de la figura 3a (por ejemplo, la línea 8b) y de la guía adicional de forma circular de la figura 3e. Resulta una espiral deformada. El número 23 marca la trayectoria, a lo largo de la cual se conduce el rayo láser en virtud de los movimientos solapados. Los puntos gruesos 41, 42, 43, 44, 45,... marcan los puntos medios de las posiciones de incidencia de los impulsos de trabajo individuales de la luz láser. Con respecto a los puntos medios 41 y 42 se representan todavía los diámetros respectivos del rayo láser 41a, 42a. El dibujo muestra que los puntos de incidencia individuales de impulsos sucesivos están precisamente contiguos entre sí. Pero el dimensionado puede ser también tal que se solapan más fuertemente o se distancian entre sí más que lo que se representa. Esto se puede conseguir con una frecuencia constante del impulso del láser de trabajo  $f_L$  y una guía convencional dada, por una parte, a través de la frecuencia circunferencial con respecto a la frecuencia del impulso del láser  $f_L$  y, por otra parte, a través del control de las amplitudes del movimiento solapado.

El movimiento solapado en su velocidad circunferencial propia, en general, claramente más alto que la del movimiento controlado por la guía convencional. Sin embargo, en general, también la amplitud (desviación máxima posible) es menor. El movimiento solapado puede ser tal que durante una pasada sobre la superficie, un punto determinado sobre la pieza de trabajo es incidido dos o más veces por un rayo láser. Por otra parte, los parámetros se pueden ajustar también de tal manera que también con el movimiento solapado durante la cobertura de la superficie se consigue una cobertura fiable que cubre la superficie y sólo una vez de todos los lugares de la superficie de la pieza de trabajo a mecanizar. Esto se puede realizar, por ejemplo, seleccionando de manera adecuada la amplitud de la desviación, la anchura de paso y la frecuencia del movimiento solapado.

En general, el resultado de la guía solapada es que, considerada desde el punto de vista macroscópico, la guía se parece a la guía convencional hasta el punto de que el movimiento grande sobre la pieza de trabajo se predetermina de manera convencional por la guía habitual. Pero las trayectorias trazadas pueden ser más anchas debido a la desviación temporal adicional, de manera que se trazan pistas más anchas de muchos lugares de trabajo más o menos adyacentes entre sí que con la técnica conocida. De manera correspondiente, se puede controlar la guía convencional de pistas más distanciadas.

La figura 5 muestra de forma esquemática un dispositivo de mecanización de acuerdo con la invención. Los mismos números de referencia que en la figura 1a muestran los mismos componentes. Los números 5a y 5b designan con líneas de trazos las desviaciones máximas posibles del rayo láser 5, que se pueden provocar a través de la guía del rayo 2. Sobre la superficie de la pieza de trabajo definen de manera correspondiente una ventana de trabajo.

Está prevista otra guía del rayo 51, que puede estar en la trayectoria de los rayos delante de la guía del rayo convencional. También genera una desviación angular del rayo láser, que está delimitada como máximo por las líneas de trazos 5c y 5d. El ángulo de ajuste máximo posible puede ser, de manera correspondiente de la amplitud menor de la instalación de guía del rayo adicional 51, menor que la de la guía del rayo 2 convencional. Pero la guía del rayo adicional 51 puede estar prevista también de manera unitaria con la guía del rayo convencional 2, por ejemplo regulando espejos del dispositivo de guía de rayo convencional en sí de nuevo, o similar. También la segunda instalación de guía adicional 51 puede ser controlada por el control/regulación 6. Según las necesidades, se puede conectar y desconectar por separado, de manera que se puede añadir opcionalmente a la guía convencional.

Las señales de control en la segunda instalación de guía 51 son generadas de tal forma que resultan los patrones de guía deseados en cada caso, en particular uno de las figuras 3d, 3e o 3f. La segunda guía puede provocar una desviación del rayo láser en ambas dimensiones de la superficie de la pieza de trabajo (x, y). Pero en otra forma de realización se puede ajustar también sólo una desviación unidimensional.

La segunda guía 51 puede presentar uno o varios elementos acusto-ópticos o elementos electro-ópticos, que determinan, por ejemplo, la desviación de conformidad con la frecuencia de de una señal acústica u óptica aplicada. También puede presentar uno o varios elementos piezo-eléctricos. También se puede tratar de un elemento oscilante mecánico, por ejemplo de un disco que se encuentra en la trayectoria de los rayos, transparente o reflectante giratorio con diferentes propiedades de dirección. Para provocar una desviación a lo largo de dos dimensiones (que corresponden a x e y sobre la superficie de la pieza de trabajo), pueden estar previstos, dado el caso, unos elementos que se cruzan en su dirección de actuación.

Cuando la segunda guía trabaja periódicamente, su periodo de trabajo puede estar adaptado a la frecuencia del impulso de láser  $f_L$ , por ejemplo de tal manera que la frecuencia de trabajo de la segunda guía es una fracción opcionalmente de número entero de la frecuencia del impulso del láser  $f_L$ . Por otra parte, también puede estar prevista una sincronización exacta de las frecuencias o bien de las duraciones de los periodos de tal manera que para la duración de los periodos  $T_2$  de la segunda guía se aplica:

## ES 2 651 901 T3

$$1/f_2 = T_2 = n \cdot t_L + t_R$$

en la que n es el número de los impulsos de trabajo por periodo de la segunda guía y tR es una duración de tiempo necesaria para el retorno de la segunda guía y otros periodos de tiempo.

5 La dirección de la segunda guía puede ser fija en una dirección (recíproca). Esta dirección puede ser, sin embargo, variable en el tiempo. Pero también se puede realizar de forma sistemática la desviación del rayo láser de trabajo de tal manera que se desvía sobre la superficie de la pieza de trabajo en sus dos dimensiones (x, y). La desviación se puede ajustar de tal manera que siempre tiene una relación angular determinada con respecto a la dirección momentánea del movimiento, que se genera a través de la primera guía, por ejemplo porque está en la misma dirección o está en ángulo recto con respecto a ella o contiene una zona angular determinada.

15 La invención es adecuada tanto para la mecanización de superficies como también para la formación del estampado. Durante la mecanización de las superficies, puede ser suficiente la pasada una vez sobre todas zonas de la superficie a mecanizar. Durante la formación del estampado, se repasan determinadas zonas en el plano-x-y, en general, varias veces, siendo retirado cada vez material de un cierto espesor. Debido a la pluralidad de las capas erosionadas, se trabaja entonces en el estampado poco a poco en la profundidad.

20 Los espesores de capa o bien las profundidades de actuación por impulso pueden ser en este caso 10 mm, con preferencia menos de 2 ó 1 mm, de manera más preferida por debajo de 0,25 mm.

El límite inferior de la velocidad de la trayectoria provocada sólo por la primera guía puede ser 20 ó 50 ó 100 mm/s. Su límite superior puede ser 100 mm/s o 200 mm/s o 500 mm/s.

25 Los diámetros considerados del rayo láser sobre la altura de la superficie de la pieza de trabajo pueden tener como límite superior 50 mm o 20 mm y como límite inferior 2 mm o 5 mm o 10 mm.

30 La amplitud de la desviación provocada por la segunda guía puede estar limitada hacia arriba a 2 mm o a 1 mm o a 50 mm. Puede estar limitada hacia arriba también a 200 veces o a 100 veces o a 50 veces el diámetro del rayo láser sobre la superficie de la pieza de trabajo. La amplitud puede estar limitada hacia abajo a 5 mm o 10 mm o también al doble del diámetro del rayo láser sobre la superficie de la pieza de trabajo.

35 La frecuencia f2 de la segunda guía (valor recíproco de la duración de los periodos t2) puede ser mayor que n veces el periodo de láser tL, pudiendo ser n igual a 3 ó 5 ó 7.

40 Durante el ajuste de la guía del rayo a través de la segunda guía se puede realizar también un seguimiento de las posiciones de trabajo con el propósito de que se sigan y se registren las posiciones reales de trabajo del rayo láser (provocadas a través de los efectos de la primera y de la segunda guía) y de que de conformidad con estos registros se realicen otros controles de la segunda guía, en particular para "incidir" en aquellas zonas que no han sido afectadas todavía. De manera correspondiente, se puede prever una instalación de detección para las posiciones ya mecanizadas sobre la superficie de la pieza de trabajo y una memoria para almacenar el resultado de la detección y para mantenerlo para la evaluación siguiente. El diámetro del rayo láser sobre la superficie de la pieza de trabajo se puede determinar, cuando la sección transversal no está claramente perfilada para la determinación del diámetro, reduciendo a un valor de la intensidad en comparación con la intensidad media, por ejemplo al 50 % o a un valor 1/e o 1/e2 de la intensidad media. Se puede tener en cuenta ISO 11146.

**REIVINDICACIONES**

1.- Procedimiento para la formación de un estampado en una pieza de trabajo, en el que se conduce un rayo láser pulsátil con una frecuencia del impulso  $f_L$  por medio de una guía del rayo sobre la superficie de la pieza de trabajo, en el que el rayo láser tiene sobre la superficie de la pieza de trabajo un diámetro de máximo 50  $\mu\text{m}$  y se guía de tal manera que su velocidad de la trayectoria  $v_B$  sobre la superficie de la pieza de trabajo cumple la siguiente condición:

$$v_B > n * d_S * f_L$$

en la que  $n$  es un factor proporcional, que puede ser 0,2 ó 0,4 ó 0,6 ó 0,8 ó 1 o más,  $d_S$  es el diámetro del rayo al nivel de la pieza de trabajo, y en el que la frecuencia del impulso es mayor que 100 kHz, y en el que la guía del rayo láser comprende una primera guía que se encuentra en la trayectoria de los rayos del rayo láser, que provoca por sí una guía del rayo láser con una primera velocidad de la trayectoria, **caracterizado** porque la guía del rayo láser comprende una segunda guía, dispuesta en la trayectoria del rayo láser, que trabaja simultáneamente con la primera guía, que proporciona por sí una guía del rayo láser con una segunda velocidad de la trayectoria, que es mayor que la primera velocidad de la trayectoria.

2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque la amplitud de la primera guía es mayor que la de la segunda guía.

3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque la primera guía y/o la segunda guía provocan un movimiento del rayo láser a lo largo de dos dimensiones sobre la superficie de la pieza de trabajo.

4.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque, consideradas en la dirección de la propagación de la luz láser, en primer lugar la segunda guía y luego la primera guía influyen sobre el rayo láser.

5.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque la segunda guía se realiza por medios electro-ópticos, acusto-ópticos o piezo-eléctricos.

6.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque la segunda guía conduce de yaro láser de manera aleatoria.

7.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la segunda guía conduce el rayo láser en una dirección, que se desvía de la dirección de la conducción de la primera guía.

8.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque la primera y la segunda guías se solapan.

9.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque cada impulso del rayo láser pulsátil es adecuado para la erosión del material, y

10.- Dispositivo para la formación del estampado en una pieza de trabajo, en particular para la realización del procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, con una fuente de luz láser (3) para la generación de un rayo láser pulsátil (5), y con una guía del rayo (2) para la conducción del rayo láser sobre la superficie de la pieza de trabajo, en el que la fuente de luz láser genera el rayo láser con una frecuencia del impulso de al menos 100 kHz, el rayo láser tiene sobre la superficie de la pieza de trabajo un diámetro de máximo 50 mm, y la guía del rayo guía el rayo láser de tal manera que su velocidad de la trayectoria  $v_B$  sobre la superficie de la pieza de trabajo cumple la siguiente condición:

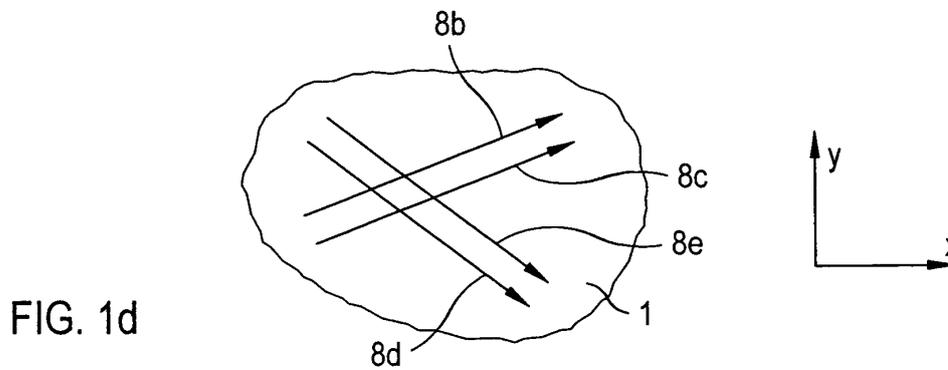
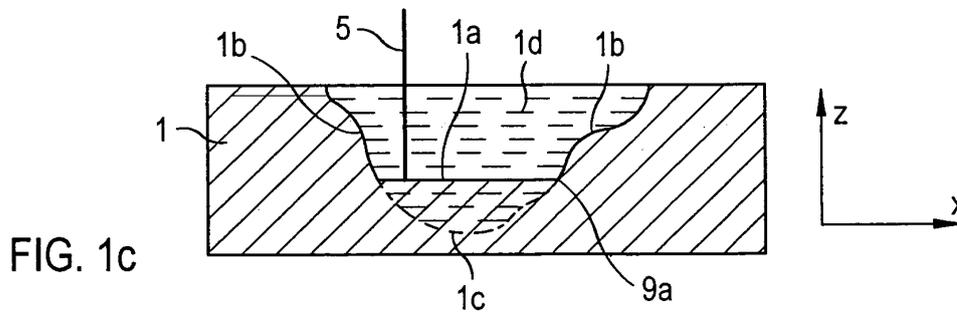
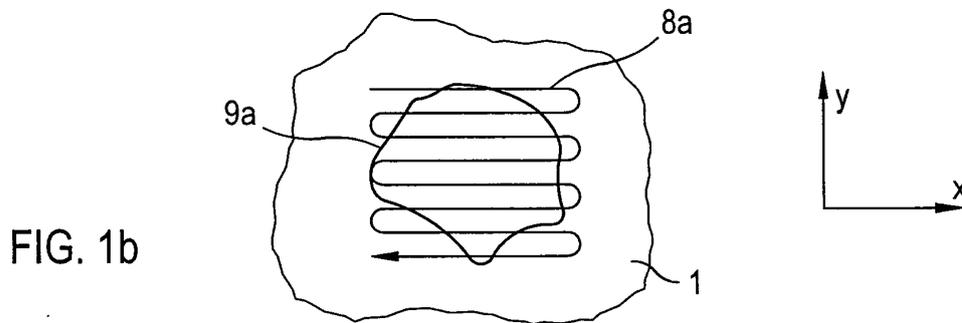
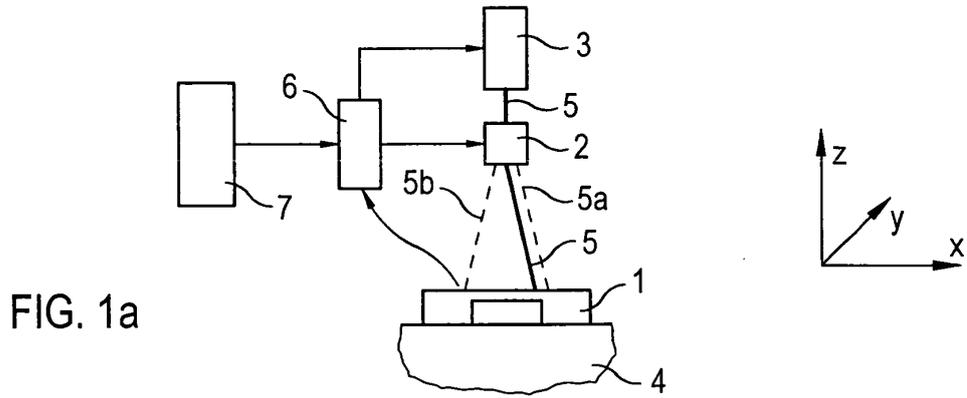
$$v_B > n * d_S * f_L$$

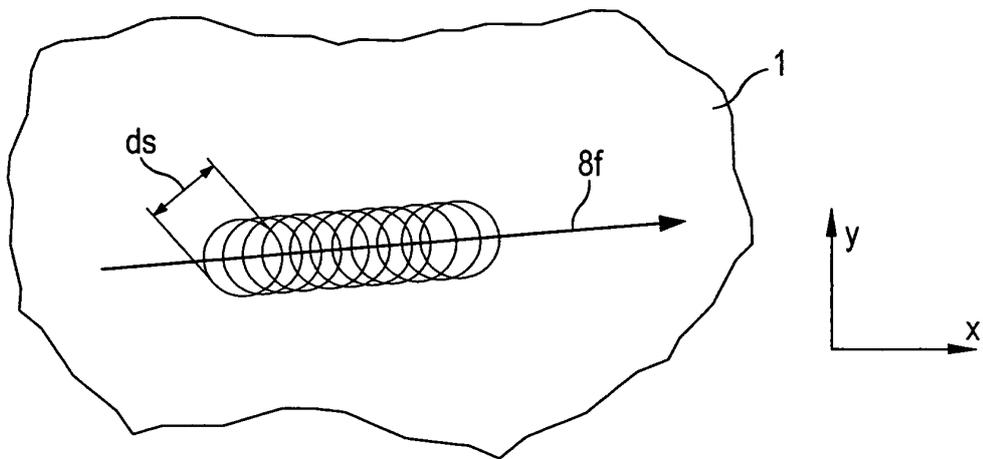
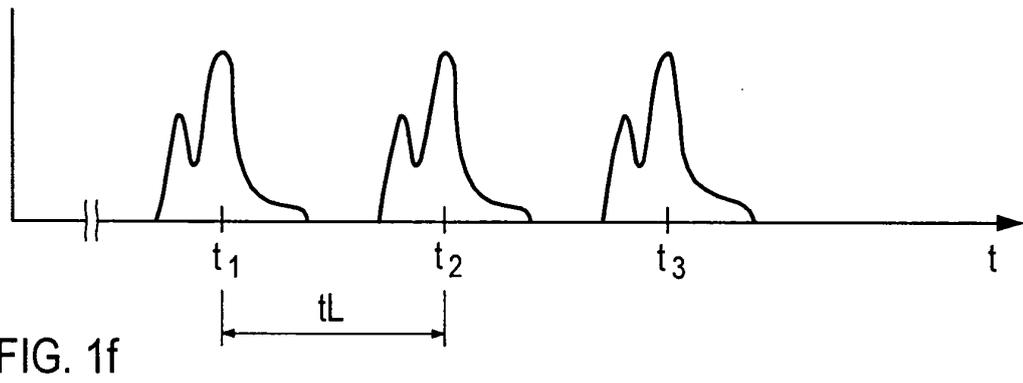
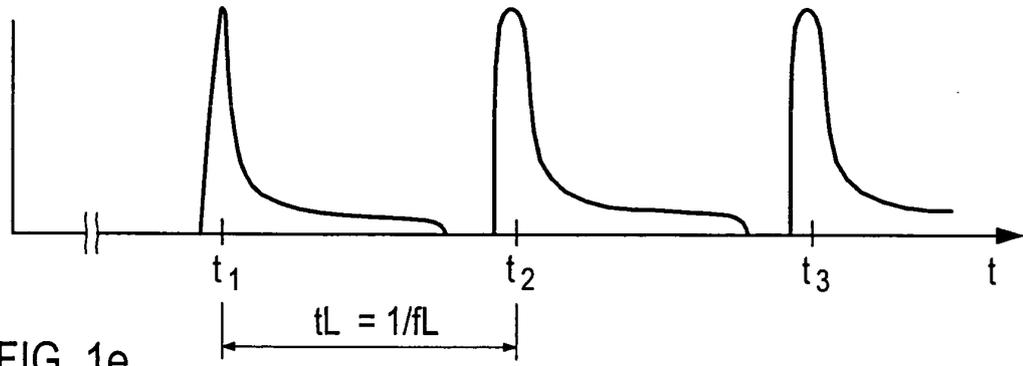
en la que  $n$  es un factor proporcional, que puede ser 0,2 ó 0,4 ó 0,6 ó 0,8 ó 1 o más,  $d_S$  es el diámetro del rayo al nivel de la pieza de trabajo, y  $f_L$  es la frecuencia de los impulsos de trabajo del rayo láser, en el que la guía del rayo láser presenta una primera instalación de guía que se encuentra en la trayectoria de los rayos del rayo láser, que provoca por sí una guía del rayo láser con una primera velocidad de la trayectoria, **caracterizado** porque la guía del rayo láser comprende una segunda instalación de guía, dispuesta en la trayectoria del rayo láser, que trabaja simultáneamente con la primera instalación de guía, que proporciona por sí una guía del rayo láser con una segunda velocidad de la trayectoria, que es mayor que la primera velocidad de la trayectoria.

11.- Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado** porque la segunda instalación de guía presenta uno o varios de los siguientes elementos:  
un elemento electro-óptico,

un elemento acusto-óptico  
un elemento óptico regulable por traslación o rotación.

- 5 12.- Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, **caracterizado** porque la primera instalación de guía se encuentra en la trayectoria de los rayos detrás de la segunda instalación de guía.





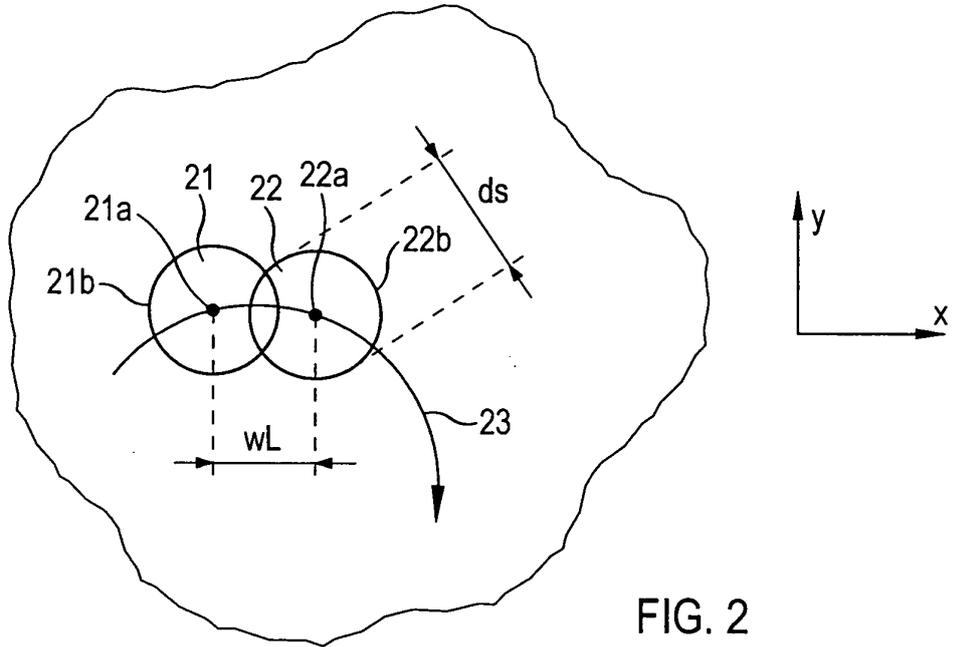


FIG. 2

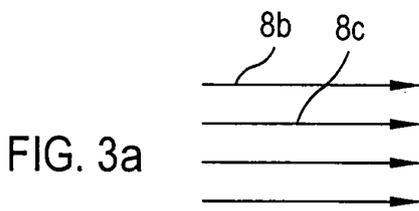


FIG. 3a

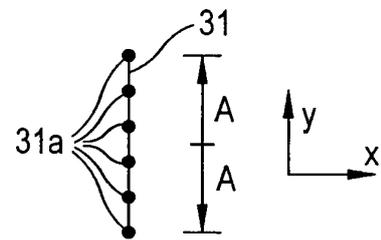


FIG. 3d

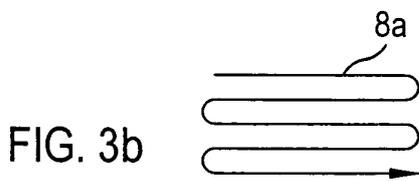


FIG. 3b

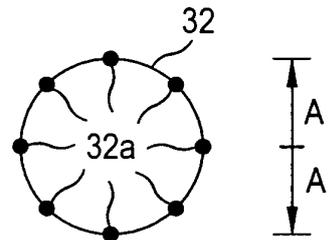


FIG. 3e

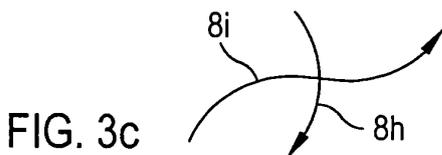


FIG. 3c

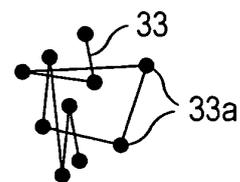


FIG. 3f

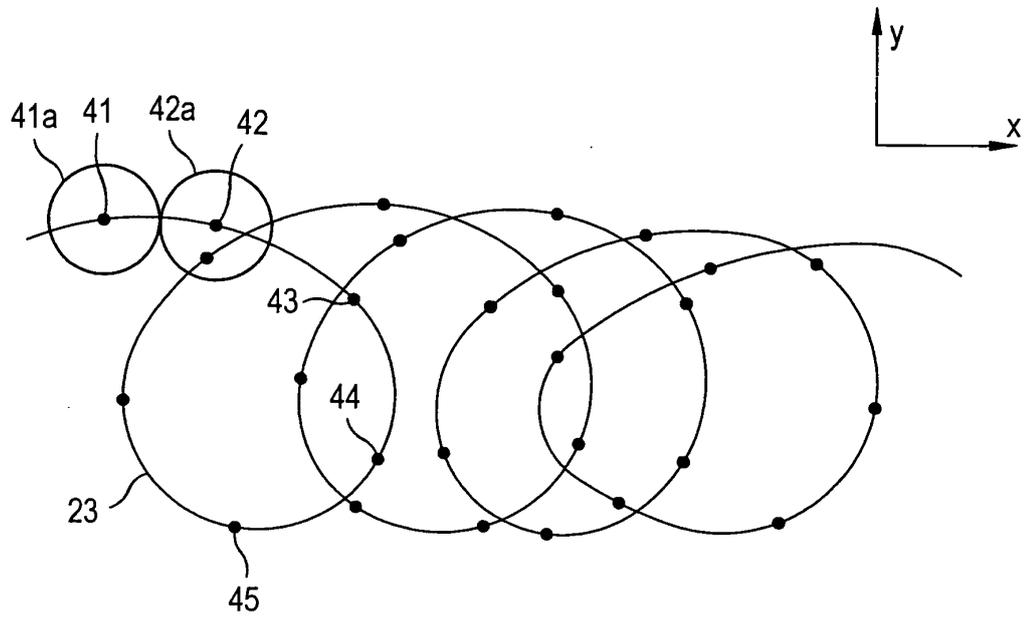


FIG. 4

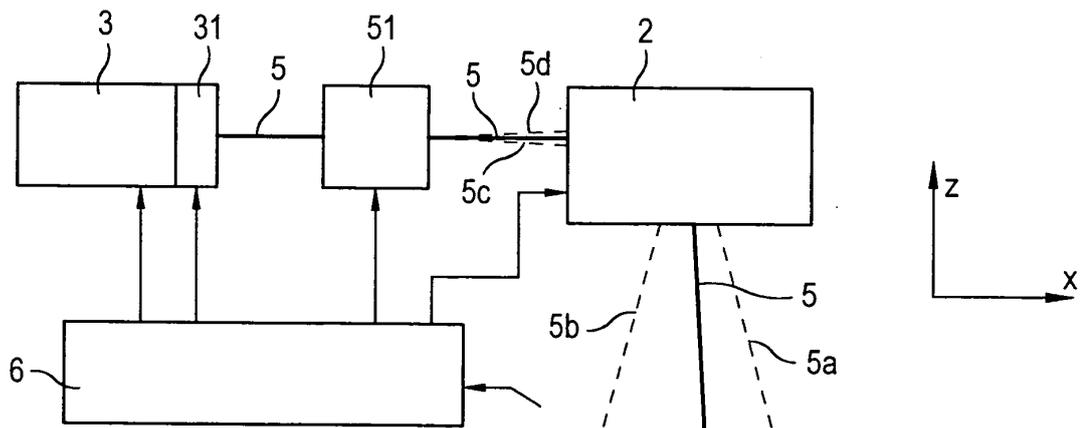


FIG. 5