(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 921 849**

(21) Número de solicitud: 202130138

(51) Int. CI.:

B23K 26/04 (2014.01)
B23K 26/38 (2014.01)

(12) PATENTE DE INVENCIÓN CON EXAMEN B2

(22) Fecha de presentación:

19.02.2021

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

01.09.2022

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

24.03.2023

Fecha de concesión:

18.09.2023

(45) Fecha de publicación de la concesión:

25.09.2023

(73) Titular/es:

FUNDACIÓN TEKNIKER (100.0%)
Polo Tecnológico de Eibar, c/Iñaki Goeneaga 5
20600 Eibar (Gipuzkoa) ES

(72) Inventor/es:

SORIANO REYES, Carlos;
OCAÑA PEREZ, Roberto;
ARIZAGA GURRUCHAGA, Asier;
FERNANDEZ DE GOROSTIZA LOPEZ DE VIÑASPRE, Erlantz;
LOPEZ GARCIA, Francisco Javier y
ORDOÑO MURILLO, Ander

(74) Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

(54) Título: **Método para el proceso de microperforación de pulso único con un cabezal láser, cabezal láser y máquina de microperforación**

(57) Resumen:

Un método para el proceso de microperforación de pulso único con un cabezal láser, una máquina de microperforación con cabezal láser y un cabezal láser que comprende: una boquilla; y un sensor de corrientes de Foucault dispuesto en la boquilla concéntrico a la misma y a ras de con un primer extremo de la boquilla; comprendiendo el sensor de corrientes de Foucault: una bobina eléctricamente conductora a una distancia de una abertura de la boquilla mayor o igual a 4,0 mm; un miembro separador dispuesto de tal forma que un primer lado del mismo esté frente a la bobina eléctricamente conductora y un segundo lado del mismo esté frente a una pieza de trabajo cuya distancia con respecto al sensor de corrientes de Foucault se desea medir; y un diámetro {hi} de un cable que forma la bobina eléctricamente conductora es: 0,30 mm <={hi}<=0,45 mm.

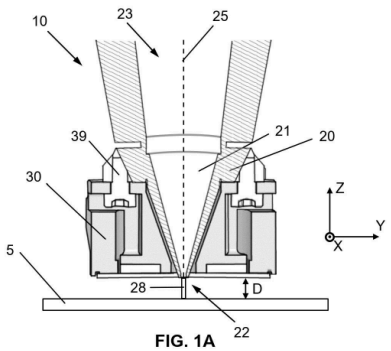

FIG. 1A

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

DESCRIPCIÓN

MÉTODO PARA EL PROCESO DE MICROPERFORACIÓN DE PULSO ÚNICO CON UN CABEZAL LÁSER, CABEZAL LÁSER Y MÁQUINA DE MICROPERFORACIÓN

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere al campo técnico de los dispositivos láser. Más particularmente, la presente invención se refiere a dispositivos y métodos para la supervisión y control de procesos de microperforación con láser de pulso único y máquinas de microperforación capaces de efectuar microperforación en piezas de trabajo con supervisión de las mismas.

ESTADO DE LA TÉCNICA

Microperforar una pieza de trabajo, es decir, formar orificios u orificios pasantes en una pieza de trabajo cuando el diámetro de los orificios es inferior a 1,0 mm, por ejemplo, entre 40 µm y 200 µm, también denominado en la presente divulgación como microorificios, puede ser una tarea compleja porque, por lo general, los orificios deben perforarse con mucha precisión. Esto significa que los orificios formados deben tener un diámetro igual o muy cercano al diámetro nominal, y que los orificios se forman en toda la parte o en la totalidad de la superficie procesada de la pieza de trabajo en las ubicaciones correctas, es decir, se forman en coordenadas nominales de modo que la colocación de los mismos y la separación con respecto a otros orificios cumplen la disposición de microorificios prevista. Dependiendo de la aplicación, es posible que sea necesario realizar una gran cantidad de orificios en una sola pieza de trabajo, incluso del orden de 10^5, 10^6 y/o 10^7 orificios; se puede apreciar que la formación de muchos orificios con buena precisión tanto en el posicionamiento como en la geometría de los orificios es compleja.

Una forma de microperforar piezas de trabajo es mediante radiación láser con pulsos únicos. Un cabezal láser emite un pulso de rayo láser de una energía determinada que incide en la pieza que se va a procesar, formando así un orificio. Las características del orificio en términos de diámetro, profundidad, forma, relación de aspecto, circularidad, etc. dependen de la óptica de guía de láser, los parámetros del láser como la calidad del rayo, longitud del pulso, nivel de potencia, etc. y los parámetros del gas de procesamiento y protección, entre otros. Uno de

los parámetros más importantes que influyen en el proceso es la distancia desde el extremo de salida del cabezal láser hasta la superficie de la pieza de trabajo. Las variaciones de distancia en el orden de unidades o decenas de micrómetros cambian las características de los orificios formados, en cuyo caso puede ocurrir que una pieza de trabajo haya sido procesada incorrectamente.

En algunas aplicaciones, el cumplimiento de las características de los orificios formados en la pieza es fundamental, por ejemplo, en la industria aeronáutica, industria espacial, industria naval, etc. Además, cuando se forman orificios pasantes, el diámetro del orificio en el lado en el que el láser no ha incidido es también importante y debe cumplir también con ciertas características. Para cumplir con los requisitos, se controlará la microperforación para detectar posibles procesamientos erróneos, y uno de los parámetros que se controlará es la distancia entre el cabezal láser y la pieza de trabajo.

La tecnología láser para microperforaciones ha mejorado en las últimas décadas. Una forma de maximizar el número de orificios formados y piezas procesadas por unidad de tiempo es mediante la microperforación de las piezas mientras el cabezal láser está en movimiento, es decir, procesamiento sobre la marcha. El control de la distancia es aún más complejo cuando el cabezal láser se mueve mientras emite pulsos de láser para formar los orificios.

Existe interés en proporcionar un método para medir la distancia entre un cabezal láser y una pieza de trabajo que se va a microperforar por medio de una técnica de perforación con láser de pulso único y, preferentemente, para ajustar el cabezal láser de acuerdo con la distancia medida o detenerlo si la microperforación se considera incorrecta. También hay interés en proporcionar un cabezal láser capaz de realizar tal medición y una máquina de microperforación capaz de controlar el cabezal láser basándose en las mediciones.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

Un primer aspecto de la invención se refiere a un método para el proceso de microperforación de pulso único con un cabezal láser, que comprende: colocar un sensor de corrientes de Foucault en una boquilla del cabezal láser, siendo la boquilla para emitir un rayo láser a través de un primer extremo de una abertura de la boquilla, siendo el primer extremo tanto un extremo de salida de láser como opuesto a un segundo extremo, siendo el segundo extremo un extremo de entrada de láser, a través del que una fuente de láser proporciona la radiación láser; microperforar una pieza de trabajo emitiendo el rayo láser de forma intermitente

mientras se mueve el cabezal láser y mientras la boquilla está separada de la pieza de trabajo por la distancia D; medir una distancia D entre el cabezal láser y la pieza de trabajo con el sensor de corrientes de Foucault mientras se mueve el cabezal láser; y el sensor de corrientes de Foucault comprende: una bobina eléctricamente conductora a una distancia del eje central de la abertura mayor o igual a 4,0 mm, y menor o igual a 10,0 mm; un miembro separador dispuesto de tal forma que un primer lado del mismo esté frente a la bobina eléctricamente conductora y un segundo lado del mismo esté frente a la pieza de trabajo cuya distancia con respecto al sensor de corrientes de Foucault se desea medir, estando el segundo lado opuesto al primer lado; y un diámetro Φ de un cable que forma la bobina eléctricamente conductora es: 0,30 mm ≤ Φ ≤ 0,45 mm; y estando el sensor de corrientes de Foucault a ras del primer extremo de la boquilla.

El presente método hace posible microperforar una pieza de trabajo con pulsos únicos de forma precisa puesto que la distancia D –es decir, la distancia entre el extremo de la abertura de la boquilla por donde sale el rayo láser y la porción de la superficie de la pieza de trabajo en la que el rayo láser incide por primera vez– se puede supervisar. A este respecto, se observa que tan pronto como el rayo láser incide en la superficie de la pieza de trabajo, el rayo láser forma un orificio aumentando así progresivamente la distancia entre el extremo de salida de la boquilla y la superficie en la que incide el rayo láser; la distancia D se refiere a la distancia previa a la formación progresiva del orificio. La distancia D es un parámetro clave en la formación de los orificios puesto que cualquier variación de la misma da como resultado la formación de orificios de diferente diámetro cuando no se modifican los parámetros del láser, en concreto, cuando el rayo láser presenta las mismas características.

El sensor de corrientes de Foucault supervisa la distancia D. Para este fin, una fuente de energía suministra una corriente alterna a la bobina eléctricamente conductora para que se puedan inducir corrientes en la superficie de la pieza de trabajo. Las corrientes inducidas producen un campo magnético que modifica el flujo dentro de la bobina y, así, su valor de inductancia. En el presente caso, al medir la variación en la fase de la impedancia, se puede establecer la distancia D.

La disposición del sensor de corrientes de Foucault en la boquilla permite medir la distancia D con respecto a una porción de la pieza de trabajo que está cerca de donde el rayo láser incide o incidirá en una microperforación posterior, es decir, en uno de los siguientes orificios que formará el cabezal láser en el proceso de microperforación que está destinado a formar una pluralidad de orificios a lo largo de una porción o la totalidad de la pieza de trabajo. Este

posicionamiento del sensor de corrientes de Foucault cerca de la abertura es importante porque la pieza de trabajo tiene por lo general irregularidades o está ligeramente flexionada, sobresaliendo así hacia el cabezal láser o alejándose del cabezal láser varios micrómetros; de hecho, son habituales variaciones de hasta 100 y/o 200 µm –y/o incluso más– entre dos posiciones diferentes de la pieza. Cuando los orificios que se van a formar tienen diámetros del orden de decenas o cientos de micrómetros, incluso cambios leves en la distancia D de unidades o decenas de micrómetros alteran el diámetro de los orificios que se van a formar. Por lo tanto, un sensor de corrientes de Foucault colocado a una distancia de la abertura a través de la que se emite el rayo láser no proporciona mediciones de la distancia entre la boquilla y la pieza de trabajo en una porción de esta última que se está microperforando o se microperforará en breve después, por ejemplo, en 100 milisegundos o menos, y/o en 20 milisegundos o menos, y/o en 1 milisegundo o menos.

El sensor de corrientes de Foucault está dispuesto en el propio cabezal láser y está dispuesto concéntricamente con la abertura; el sensor de corrientes de Foucault está dispuesto en forma anular. En este sentido, la bobina eléctricamente conductora del sensor puede estar a una distancia de la abertura no mayor de 5,0 mm; esto significa que al menos una porción de la bobina eléctricamente conductora está a una distancia de la abertura no mayor de 5,0 mm. Un diámetro interno de la bobina es dos veces dicha distancia.

El miembro separador puede estar, por ejemplo, fabricado o comprender un material no conductor de electricidad como, pero sin limitarse a, cerámicas, Teflón, etc., y el cable de la bobina puede estar, por ejemplo, pero sin limitación, compuesto o comprender cobre, entre otros materiales. Preferentemente, el material no conductor de electricidad del miembro separador es un material resistente a altas temperaturas.

En algunas realizaciones, la bobina eléctricamente conductora tiene un número de vueltas mayor o igual a 50 y menor o igual a 100.

En algunas realizaciones, la distancia D entre la boquilla y la pieza de trabajo es menor o igual a 5,0 mm, preferentemente, menor o igual a 2,0 mm, o incluso menor o igual a 1,5 mm.

En este sentido, el sensor de corrientes de Foucault está adaptado para medir la distancia D que es menor o igual a 5,0 mm –o 2,0 mm, o 1,5 mm.– El proceso de microperforación es tal que la boquilla emite el rayo láser hacia la pieza de trabajo cuando está a una distancia D de la superficie de la pieza de trabajo no mayor a 5,0 mm –o 2,0 mm, o 1,5 mm.–

En algunas realizaciones, la distancia D entre la boquilla y la pieza de trabajo es mayor o igual a 0,1 mm, o incluso mayor o igual a 0,5 mm.

En algunas realizaciones, el método comprende, además: proporcionar la distancia D medida a un dispositivo de control de una máquina de microperforación que comprende el cabezal láser; y ajustar una posición del cabezal láser durante el procesamiento, con el dispositivo de control, de la distancia D medida de modo que la distancia entre el cabezal láser y la pieza de trabajo sea un valor de distancia predeterminado.

El dispositivo de control ordena el movimiento del cabezal láser para que el cabezal láser se acerque o aleje de la pieza de trabajo, de acuerdo tanto con las mediciones del sensor de corrientes de Foucault como con una posición con respecto a un eje lineal –por ejemplo, un eje Z– a lo largo del que se mide la distancia D, de modo que la distancia entre la boquilla y la pieza de trabajo sea igual o sustancialmente igual al valor de distancia predeterminado. Puede existir una diferencia de ± 20 micrómetros o menos, pero en algunos casos hasta ± 40 micrómetros o menos, entre la distancia real y el valor de distancia predeterminado, es decir, la diferencia suele ser igual o inferior al 2,0 % –o igual o inferior al 4,0 % cuando es de ± 40 micrómetros o menos– para, por ejemplo, un valor de distancia predeterminado de 1,0 mm. El valor de distancia predeterminado es el valor de distancia configurado para el proceso de microperforación de modo que todos los orificios deben formarse con la boquilla a tal distancia de la pieza de trabajo, logrando así orificios de diámetros iguales o similares.

Por consiguiente, la diferencia en el tamaño de diámetro entre cualquier par de orificios formados no es mayor a 10 micrómetros, y es preferentemente de 5 micrómetros o menos. En este sentido, la diferencia de diámetro con el diámetro real y el diámetro previsto es de 10 micrómetros o menos.

Cuando la pieza de trabajo está dispuesta horizontalmente, el cabezal láser está por encima de la pieza de trabajo durante el proceso de microperforación, por lo tanto, los ajustes de posición se realizan a lo largo de una dirección vertical, lo que da como resultado un movimiento vertical del cabezal láser. Es evidente que cuando hay una disposición diferente tanto de la pieza de trabajo como del cabezal láser, los ajustes de posición y el movimiento no se realizan en dirección vertical sino en una dirección diferente, de modo que el cabezal láser se acerca o aleja de la superficie de la pieza de trabajo.

Igualmente, en algunas otras realizaciones, el dispositivo de control puede ordenar el ajuste de la posición de la pieza de trabajo con respecto al cabezal láser de modo que la distancia entre ambos sea el valor de distancia predeterminado; esto, no obstante, es menos preferido puesto que mover la pieza de trabajo es normalmente más complejo dependiendo de las dimensiones y/o la masa de la misma.

En algunas realizaciones, la pieza de trabajo comprende o es de titanio. Por ejemplo, pero sin limitación, un panel o panel exterior de un avión tal como, por ejemplo, un borde de ataque de un estabilizador vertical, un estabilizador horizontal, un ala, etc.

En algunas realizaciones, un rectángulo imaginario con lados tangentes a una sección transversal de la bobina eléctricamente conductora tiene una longitud L perpendicular a una dirección de la abertura, y una altura H paralela a la dirección de la abertura; la longitud L es: 4,0 mm ≤ L ≤ 7,5 mm; y la altura H es: 1,75 mm ≤ H ≤ 3,25 mm. En algunas realizaciones, un espesor T entre el primer y el segundo lados del miembro separador es: 0,25 mm ≤ T ≤ 1,25 mm. En algunas realizaciones, una distancia d entre un eje central de la abertura y la bobina eléctricamente conductora es: 3,0 mm ≤ d ≤ 4,25 mm.

Las bobinas eléctricamente conductoras de estas características, cuando el diámetro Φ de su alambre esté comprendido entre 0,30 mm y 0,45 mm, permiten medir el cambio de fase de la impedancia para establecer la distancia D con una precisión suficiente para la formación de microorificios que no superan una desviación de, por ejemplo, 10 micrómetros entre sus diámetros de cualquier par de orificios, y/o los orificios se forman en posiciones que no se alejan de las posiciones previstas en más de, por ejemplo, 20 micrómetros –preferentemente menos, por ejemplo, 10 micrómetros, 5 micrómetros o menos.– Para lograrlo, el cabezal láser se moverá de acuerdo con las mediciones de modo que la distancia D pueda mantenerse o mantenerse sustancialmente.

En algunas de estas realizaciones, L, H, T y d son los siguientes: 6,5 mm ≤ L ≤ 7,5 mm; 1,75 mm ≤ H ≤ 2,25 mm; 0,75 mm ≤ T ≤ 1,25 mm; y 3,75 mm ≤ d ≤ 4,25 mm. En algunas otras realizaciones, L, H, T y d son los siguientes: 4,0 mm ≤ L ≤ 5,0 mm; 2,75 mm ≤ H ≤ 3,25 mm; 0,25 mm ≤ T ≤ 0,75 mm; y 3,125 mm ≤ d ≤ 3,50 mm.

Las bobinas eléctricamente conductoras de estas características, cuando el diámetro Φ de su alambre esté comprendido entre 0,30 mm y 0,45 mm, permiten medir el cambio de la fase de la impedancia para establecer la distancia D con una precisión suficiente para la formación de

microorificios que no superan una desviación de 5 micrómetros entre sus diámetros de cualquier par de orificios, y/o los orificios se forman en posiciones que no se alejan de las posiciones previstas en más de, por ejemplo, 15 micrómetros –preferentemente menos, por ejemplo, 10 micrómetros o menos.– Para lograrlo, el cabezal láser se moverá de acuerdo con las mediciones de modo que la distancia D pueda mantenerse o mantenerse sustancialmente.

En algunas realizaciones, el método comprende, además: proporcionar mediciones de codificadores del cabezal láser a un dispositivo de control de la máquina de microperforación, siendo las mediciones indicativas de un movimiento del cabezal láser; y ordenando la salida intermitente del rayo láser, con el dispositivo de control, basándose en las mediciones.

La microperforación se realiza preferentemente mientras el cabezal láser se está moviendo para reducir el tiempo de procesamiento por pieza de trabajo y, como consecuencia, aumentar la eficacia de la microperforación. Es necesario formar una pluralidad de microorificios en cada pieza de trabajo, y dicha pluralidad puede ser del orden de, por ejemplo, 10^3 orificios, 10^5 orificios, 10^6 orificios, 10^7 orificios, etc., y la separación entre cada par de microorificios está entre, por ejemplo, 0,1 mm y 1,5 mm, un cabezal láser que se mueve a una velocidad de entre, por ejemplo, 10 mm por minuto y 50 mm por minuto, y una formación de orificios de entre 1 y 500 orificios por segundo, requiere una señal de tiempo muy precisa para formar orificios con una separación constante entre los orificios vecinos.

Al utilizar los datos proporcionados por los codificadores, se puede ordenar al cabezal láser que proporcione el rayo láser hacia la pieza de trabajo basándose en la posición del cabezal láser en lugar de basarse o basarse únicamente en una señal de tiempo. La provisión y no provisión del rayo láser se puede ajustar mediante un mecanismo de bloqueo que permite que el rayo láser se emita o no. El rayo láser puede emitirse con una mayor precisión en la separación entre los diferentes orificios.

Un segundo aspecto de la presente invención se refiere a un cabezal láser, que comprende: una boquilla para emitir un rayo láser a través de un primer extremo de una abertura de la boquilla, siendo el primer extremo un extremo de salida de láser y estando opuesto a un segundo extremo, siendo el segundo extremo un extremo de entrada láser; y un sensor de corrientes de Foucault dispuesto en la boquilla; el sensor de corrientes de Foucault comprende: una bobina eléctricamente conductora a una distancia del eje central de la abertura mayor o igual a 4,0 mm; un miembro separador dispuesto de modo que un primer lado del mismo esté frente a la bobina eléctricamente conductora y un segundo lado del mismo

esté frente a una pieza de trabajo cuya distancia con respecto al sensor de corrientes de Foucault se desea medir, estando el segundo lado opuesto al primer lado; y un diámetro Φ de un cable que forma la bobina eléctricamente conductora es: 0,30 mm ≤ Φ ≤ 0,45 mm; y estando el sensor de corrientes de Foucault a ras del primer extremo de la boquilla.

El cabezal láser puede ser parte de, por ejemplo, una máquina de microperforación para la formación de orificios, incluyendo orificios pasantes, en la pieza de trabajo. Los orificios se forman con radiación láser que se proporciona de forma intermitente a lo largo de parte o de toda la superficie de la pieza de trabajo, y tienen diámetros inferiores a 1,0 mm. Por consiguiente, la microperforación implica la perforación con láser de pulso único.

El sensor de corrientes de Foucault mide la distancia entre la boquilla y la pieza de trabajo de modo que se pueda determinar si los diámetros de los orificios formados son iguales o sustancialmente iguales para un conjunto dado de parámetros del láser. Las variaciones en esta distancia provocan la modificación en el orificio formado, por ejemplo, su diámetro puede ser mayor o menor. Una fuente de energía que puede ser parte del cabezal láser o de una máquina de microperforación que incluye el cabezal láser proporciona una corriente alterna a la bobina eléctricamente conductora para que la distancia se pueda determinar basándose en las corrientes inducidas en la pieza de trabajo.

Las mediciones se pueden proporcionar a un dispositivo de control de la máquina de microperforación para ajustar una posición del cabezal láser con respecto a la pieza de trabajo, siendo así posible aumentar o reducir la distancia entre los dos, preferentemente para mantener un valor de distancia predeterminado.

En algunas realizaciones, la bobina eléctricamente conductora tiene un número de vueltas mayor o igual a 50 y menor o igual a 100.

En algunas realizaciones, el sensor de corrientes de Foucault está adaptado para medir una distancia D entre la boquilla y la pieza de trabajo, siendo la distancia D menor o igual a 5,0 mm, y preferentemente menor o igual a 2,5 mm y/o 1,5 mm.

En algunas realizaciones, un rectángulo imaginario con lados tangentes a una sección transversal de la bobina eléctricamente conductora tiene una longitud L perpendicular a una dirección de la abertura, y una altura H paralela a la dirección de la abertura; la longitud L es: 4,0 mm ≤ L ≤ 7,5 mm; y la altura H es: 1,75 mm ≤ H ≤ 3,25 mm. En algunas realizaciones, un

espesor T entre el primer y el segundo lados del miembro separador es: 0,25 mm ≤ T ≤ 1,25 mm. En algunas realizaciones, una distancia d entre un eje central de la abertura y la bobina eléctricamente conductora es: 3,0 mm ≤ d ≤ 4,25 mm.

En algunas realizaciones, L, H, T y d son los siguientes: 6,5 mm ≤ L ≤ 7,5 mm; 1,75 mm ≤ H ≤ 2,25 mm; 0,75 mm ≤ T ≤ 1,25 mm; y 3,75 mm ≤ d ≤ 4,25 mm. En algunas otras realizaciones, L, H, T y d son los siguientes: 4,0 mm ≤ L ≤ 5,0 mm; 2,75 mm ≤ H ≤ 3,25 mm; 0,25 mm ≤ T ≤ 0,75 mm; y 3,125 mm ≤ d ≤ 3,5 mm.

Ventajas similares a las descritas con referencia al primer aspecto de la invención pueden también ser aplicables al segundo aspecto de la invención.

Un tercer aspecto de la invención se refiere a una máquina de microperforación, que comprende: un cabezal láser de acuerdo con el primer aspecto de la invención; y un dispositivo de control configurado para recibir datos o una señal, desde el sensor de corrientes de Foucault, indicativos de la distancia D medida, y configurado además para ordenar al cabezal láser que se mueva en una dirección paralela a un eje central de la abertura.

El dispositivo de control usa las mediciones del sensor de corrientes de Foucault indicativas de la distancia D medida. Las mediciones se pueden proporcionar ya sea en forma de una señal eléctrica a ser procesada digitalmente por el dispositivo de control, o como datos digitales. El dispositivo de control utiliza la información sobre la distancia D para mover el cabezal láser hacia la pieza de trabajo o alejarlo de la pieza de trabajo en la dirección paralela al eje central, que puede ser en la dirección vertical cuando el cabezal láser no está, por ejemplo, desplazado angularmente y la pieza de trabajo debe estar dispuesta debajo del cabezal láser.

Adicionalmente, el dispositivo de control ordena el movimiento del cabezal láser en otras direcciones que son perpendiculares al eje central de la abertura. Por medio de estos movimientos adicionales, el cabezal láser puede procesar diferentes porciones de la pieza de trabajo sin tener que mover la pieza de trabajo. En algunos casos, tanto el cabezal láser como la pieza de trabajo se mueven uno con respecto al otro de modo que diferentes partes de esta última se pueden microperforar.

En algunas realizaciones, el cabezal láser comprende, además codificadores indicativos de un movimiento del cabezal láser; y estando el dispositivo de control configurado, además, para

ordenar al cabezal láser que emita intermitentemente el rayo láser basándose en las mediciones.

Ventajas similares a las descritas con referencia al primer y segundo aspectos de la invención pueden también ser aplicables al tercer aspecto de la invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para completar la descripción y con el fin de proporcionar una mejor comprensión de la invención, se proporciona un conjunto de dibujos. Dichos dibujos forman parte integral de la descripción e ilustran realizaciones de la invención, lo cual no debería interpretarse como una restricción del alcance de la invención, sino tan solo como ejemplos de cómo puede llevarse a cabo la invención. Los dibujos comprenden las siguientes Figuras:

Las Figuras 1A y 1B muestran un cabezal láser de acuerdo con realizaciones.

La Figura 2 muestra un gráfico que muestra una relación entre el tiempo de perforación, la posición de la lente y el diámetro del orificio formado.

La Figura 3 muestra esquemáticamente cómo se puede controlar la distancia entre un cabezal láser y una pieza de trabajo en las realizaciones.

La Figura 4 muestra un gráfico con mediciones de distancia entre un cabezal láser y una pieza de trabajo mientras se tiene control de distancia.

La Figura 5 muestra un gráfico que compara la distancia entre un cabezal láser y una pieza de trabajo con y sin control de distancia.

Las Figuras 6A a 6D, 7A a 7D y 8A a 8D muestran secciones transversales de sensores de corrientes de Foucault de realizaciones junto con gráficos de resistencia, inductancia y fase de las mismas.

DESCRIPCIÓN DE FORMAS DE LLEVAR A CABO LA INVENCIÓN

Las Figuras 1A y 1B muestran un cabezal láser 10 para una máquina de microperforación de acuerdo con realizaciones. En la Figura 1A se muestra arriba una sección transversal del

cabezal láser 10 –de acuerdo con el eje Z representado– una pieza de trabajo 5 que se va a procesar, y en la Figura 1B se muestra una perspectiva del cabezal láser 10.

El cabezal láser 10 comprende una boquilla 20 adecuada para la salida de un rayo láser 28 por medio de una abertura 21 del mismo. El rayo láser 28 sale a través de un primer extremo 22 tanto de la boquilla 20 como de la abertura 21, y está acoplado desde una fuente láser a la abertura 21 a través de un segundo extremo 23 de la misma. La boquilla 20 tiene preferentemente una forma adecuada para la salida del rayo láser 28, por ejemplo, una forma troncocónica. La abertura 21 tiene un eje central 25, que se muestra con una línea discontinua solo con fines ilustrativos.

El cabezal láser 10 comprende también un sensor de corrientes de Foucault 30 dispuesto concéntricamente en la boquilla 20 por medio de un dispositivo de soporte 39. El sensor de corrientes de Foucault 30 mide la distancia D entre el cabezal láser 10 y la pieza de trabajo 5, en este caso dicha distancia D es a lo largo del eje Z representado, pero en su lugar podrían representarse diferentes ejes o el cabezal láser 10 y la pieza de trabajo 5 podrían disponerse de forma diferente, por ejemplo, no verticalmente uno encima del otro, sin embargo, la distancia D es la separación entre el primer extremo 22 y el punto de una superficie de la pieza de trabajo 5 en el que incide el rayo láser 28.

El cabezal láser 10 o una máquina de microperforación que incorpora el mismo se puede mover a lo largo del eje Z representado para colocar el cabezal láser 10 a una distancia de la pieza de trabajo 5, y a lo largo de uno o ambos ejes X e Y representados a fin de procesar diferentes partes de la pieza de trabajo 5. Al emitir intermitentemente el rayo láser 28 mientras se mueve el cabezal láser 10 y/o la máquina a lo largo de los ejes X y/o Y, se puede formar una pluralidad de orificios en la pieza de trabajo 5.

En algunos casos, la pieza de trabajo 5 se puede mover también en uno o ambos de los ejes X e Y de modo que el desplazamiento relativo entre la pieza de trabajo 5 y el cabezal láser 10 se puede usar para formar los orificios sobre parte o la totalidad de la pieza de trabajo 5; además, en algunos casos, la pieza de trabajo 5 también se puede mover a lo largo del eje Z. Para este fin, la superficie sobre la que descansa la pieza de trabajo 5 puede ser una cinta transportadora o una plataforma móvil capaz de moverse de esta forma.

Debido a la disposición del sensor de corrientes de Foucault 30 en la boquilla 20 –y, por tanto, en el cabezal láser 10,– esto es, concéntrico, el sensor de corrientes de Foucault 30 es capaz

de medir la distancia D a una porción de la pieza de trabajo 5 en la que es posible que el rayo láser 28 no haya formado orificios todavía independientemente de la dirección de avance del cabezal láser 10. Esto significa que la distancia D se puede medir antes de la formación del orificio en la porción en la que se mide la distancia D.

La Figura 2 muestra un gráfico que muestra una relación entre el tiempo de perforación, la posición de la lente y el diámetro del orificio formado. El diámetro del orificio medido (mostrado con círculos blancos) corresponde al diámetro medio medido para una pluralidad de orificios formados con la posición de lente dada, por ejemplo, el diámetro medio de cincuenta o más orificios formados en esas condiciones. Igualmente, el tiempo de perforación medido (mostrado con círculos negros) corresponde al tiempo de perforación promedio medido para una pluralidad de orificios formados con la posición dada de la lente.

La Figura 3 muestra esquemáticamente cómo se puede controlar la distancia entre un cabezal láser 10 y una pieza de trabajo en las realizaciones.

El cabezal láser 10 tiene codificadores mediante los que se puede establecer una posición del mismo. De uno de los codificadores, las mediciones de posición 15 del cabezal láser 10 a lo largo de una dimensión definen una distancia D (por ejemplo, la dimensión a lo largo del eje Z como se ilustra en, por ejemplo, las Figuras 6A, 7A y 8A). El sensor de corrientes de Foucault 30 proporciona mediciones 35 de la distancia D entre el cabezal láser 10 y la pieza de trabajo midiendo la variación en la fase de la impedancia.

Tanto las mediciones de posición 15 como las mediciones 35 se proporcionan a un dispositivo de control 70 del cabezal láser 10 o a la máquina de microperforación que incluye el cabezal láser 10, en particular, a un programa informático 71 para controlar la distancia entre el cabezal láser 10 y la pieza de trabajo. Basándose en las mediciones 35 y las mediciones de posición 15, el programa informático 71 determina digitalmente si es necesaria alguna corrección 72 en la posición del cabezal láser 10 de modo que la distancia entre el cabezal láser 10 y la pieza de trabajo sea igual o sustancialmente igual a un valor de distancia predeterminado –por ejemplo, el valor mostrado en la Figura 4.– El dispositivo de control 70 ordena la corrección 72 de los ejes del cabezal láser 10 o de la máquina de microperforación para moverlo, haciendo así que el cabezal láser 10 esté al valor de distancia predeterminado con respeto a la pieza de trabajo. La corrección 72 está destinada a mover el cabezal láser 10 de modo que las mediciones de posición posteriores 15 sean iguales o sustancialmente iguales a dicho valor de distancia predeterminado, y la corrección 72 se puede calcular como

sigue:

$$h_{abs} = h_{eddy} - \Delta h_y$$
$$h^*_{offset} = h_{setpoint} - h_{abs}$$

Donde h_{abs} es la altura absoluta del cabezal láser 10, h_{eddy} es la distancia D medida por el sensor de corrientes de Foucault 30, en concreto, las mediciones 35, Δh_y es la diferencia entre las mediciones de posición 15 y las mediciones de posición 15 al comienzo del proceso de láser –porque los codificadores proporcionan valores de posición absolutos,– h^*_{offset} Es la corrección 72 necesaria para mover el cabezal láser 10 de modo que la distancia del mismo con respecto a la pieza de trabajo sea igual a $h_{setpoint}$ –es decir, valor de distancia predeterminado.– Aunque este ejemplo se refiere a las alturas correspondientes a una realización como la de las Figuras 1A y 1B, en la que el cabezal láser 10 está por encima de la pieza de trabajo 5 en una dirección vertical, es evidente que con otras disposiciones de cabezales láser 10 y piezas de trabajo o con definiciones de ejes alternativas, se pueden hacer los mismos cálculos con otros valores de distancia.

Las mediciones 35 se pueden proporcionar al dispositivo de control 70 de forma analógica, y el dispositivo de control 70 las digitaliza y determina digitalmente la distancia procesando la variación de fase de la impedancia medida, o el sensor de corrientes de Foucault 30 puede incluir un convertidor digital para proporcionar las mediciones en forma digital, o incluso el sensor 30 puede incluir una unidad de procesamiento configurada para determinar la distancia indicada y proporcionar datos de dicha distancia al dispositivo de control 70.

La Figura 4 muestra un gráfico con mediciones de distancia entre un cabezal láser y una pieza de trabajo mientras se tiene control de distancia.

Tal y como se ha descrito con referencia a la figura 3, un cabezal láser se puede mover en función de las mediciones del sensor de corrientes de Foucault, más particularmente, moverse de acuerdo con correcciones calculadas de acuerdo con dichas mediciones. En este ejemplo, un valor de distancia predeterminado se establece en 1000 µm (mostrado con una línea discontinua). Al controlar la distancia entre el cabezal láser y la pieza de trabajo teniendo en cuenta las mediciones del sensor de corrientes de Foucault, la distancia entre los dos (mostrada con una línea continua) no va más allá de ±25 µm –como se representa en el eje Y– cuando hay un movimiento relativo entre el cabezal láser y la pieza de trabajo –el cabezal láser y/o la máquina de microperforación se ha movido una cierta distancia para procesar

diferentes partes de la pieza de trabajo, o la pieza de trabajo se ha movido una cierta distancia para procesar diferentes partes de la misma. La construcción del cabezal láser y de la máquina de microperforación establecerá la distancia máxima alcanzable en dicho movimiento relativo entre el cabezal láser y la pieza de trabajo, por ejemplo, una distancia máxima de 2000 mm.–

En la Figura 5 se muestra un gráfico que compara la distancia entre un cabezal láser y una pieza de trabajo con y sin control de distancia. Cuando se realizan correcciones para el control de la distancia (se muestra con una línea continua), la distancia entre el cabezal láser y la pieza de trabajo no supera los ±20 µm con respecto a un valor de distancia predeterminado de 1000 µm. Sin dicho control de distancia (mostrado con una línea discontinua), debido a las tolerancias de la pieza de trabajo y la posible flexión a lo largo de la superficie de la misma, habrá una diferencia de más de 150 µm entre dos partes diferentes de la pieza de trabajo separadas 120 mm.

La Figura 6A muestra una sección transversal de un sensor de corrientes de Foucault 30a de las realizaciones. Las figuras 6B, 6C y 6D son gráficos que representan respectivamente una resistencia, una inductancia y una fase de una impedancia del sensor 30a a 1 MHz frente a la distancia D.

El sensor 30a está dispuesto en una parte exterior de una boquilla 20 y está montado a ras del primer extremo 22 y es concéntrico a la boquilla 20, más particularmente, concéntrico al eje central 25. El sensor 30a incluye un alambre eléctricamente conductor que forma una bobina eléctricamente conductora 31, y un miembro separador 32 dispuesto de forma que un primer lado 33 del mismo esté frente a la bobina 31 y un segundo lado 34 del mismo esté frente a la pieza de trabajo 5 cuya distancia D con respecto al sensor de corrientes de Foucault se desea medir. Por consiguiente, una porción del miembro separador 32 está interpuesta entre la bobina 31 y la pieza de trabajo 5, y el segundo lado 34 del miembro separador 32 está a ras del primer extremo 22. Dicha porción tiene un espesor T de 0,5 mm. Otra porción del miembro separador 32 separa la bobina 31 de la boquilla 20, y es tal que hay una distancia d que varía entre 3,10 mm y 3,30 mm entre el eje central 25 de la boquilla 20 y la bobina 31.

El alambre eléctricamente conductor de la bobina 31 tiene un diámetro Φ de 0,35 mm y tiene 79 vueltas. Se puede proporcionar virtualmente un rectángulo imaginario para la caracterización tanto de la bobina 31 como del sensor de corrientes de Foucault 30a. Dicho rectángulo circunscribe la bobina 31 con lados tangentes a la bobina, siendo de ese modo el rectángulo mínimo que abarca la bobina 31 de acuerdo con la sección transversal respectiva.

Para la provisión del rectángulo imaginario, la sección transversal de la bobina 31 es tal que su plano contiene completamente el eje central 25 de la boquilla 20; también, el rectángulo imaginario para la caracterización de la bobina 31 es preferentemente el rectángulo previsto para la sección transversal de la bobina 31, lo que da como resultado el rectángulo más grande de todas las posibles secciones transversales de la bobina 31 –las secciones transversales cumplen el requisito del plano que contiene el eje central 25,– por tanto, la sección transversal más grande de la bobina 31 con respecto a cualquier ángulo de 360°. El rectángulo tiene una longitud L de 4,2 mm y una altura H de 3,0 mm como se ilustra. La distancia d antes mencionada se mide con respecto al borde del rectángulo más cercano al eje central 25.

Como se puede apreciar en la Figura y debido a la disposición concéntrica del sensor, Un diámetro interno de la bobina eléctricamente conductora 31 es dos veces la distancia d y un diámetro externo de las bobinas es dos veces la suma de la distancia d y la longitud L.

El sensor 30a es capaz de medir la distancia D de hasta 2,0 mm cuando una corriente alterna fluye a través del alambre –y, por tanto, a través de la bobina 31– de modo que se induzcan corrientes en la pieza de trabajo 5. La fase de la impedancia, tal y como se muestra en la Figura 6D, es sustancialmente lineal y aumenta a medida que aumenta la distancia D.

La Figura 7A muestra una sección transversal de un sensor de corrientes de Foucault 30b de las realizaciones, y las Figuras 7B a 7D son gráficos como los de las Figuras 6B a 6D, pero para el sensor 30b.

El sensor 30b está dispuesto en la boquilla 20 de la misma forma que el sensor 30a de la Figura 6A.

En estas realizaciones, la longitud L del rectángulo es de 4,4 mm, la altura H del rectángulo es 3,0 mm, y el número de vueltas de la bobina 31 es 82, cuyo diámetro Φ es 0,35 mm. El espesor T es de 0,5 mm. La distancia d está entre 3,10 mm y 3,30 mm. El sensor 30b es capaz de medir la distancia D de hasta 2,0 mm.

La Figura 8A muestra una sección transversal de un sensor de corrientes de Foucault 30c de las realizaciones, y las Figuras 8B a 8D son gráficos como los de las Figuras 6B a 6D, pero para el sensor 30c.

El sensor 30c está dispuesto en la boquilla 20 de la misma forma que los sensores 30a y 30b de las Figuras 6A y 7A, respectivamente.

En estas realizaciones, el sensor 30c tiene un rectángulo separado del eje central 25 a una distancia d de 4,0 mm. La longitud L y la altura H del rectángulo son 7,0 mm y 2,0 mm, respectivamente. El espesor T entre el primer y segundo lados 33, 34 del miembro separador 32 es de 1,0 mm. El alambre de la bobina 31 tiene un diámetro Φ de 0,4 mm y la bobina 31 tiene 67 vueltas. El sensor 30b es capaz de medir la distancia D de hasta 2,0 mm.

La fase de la impedancia a 1 MHz es, una vez más, sustancialmente lineal, haciendo así posible medir la distancia D con mayor precisión que muchos sensores de corrientes de Foucault de la técnica anterior.

En el presente texto, los términos primer, segundo, tercer, etc. se han utilizado en el presente documento para describir varios dispositivos, elementos o parámetros, se entenderá que los dispositivos, elementos o parámetros no deben estar limitados por estos términos, ya que los términos solo se usan para distinguir un dispositivo, elemento o parámetro de otro. Por ejemplo, el primer lado también podría llamarse segundo lado, y el segundo lado podría llamarse primer lado sin desviarse del alcance de esta divulgación.

En el presente texto, el término "comprende" y sus derivados (como "que comprende", etc.) no deberían entenderse en un sentido excluyente, es decir, no deberían interpretarse estos términos como que excluyen la posibilidad de que lo descrito y definido pueda incluir elementos, etapas adicionales, etc.

Por otro lado, la presente invención, obviamente, no se limita a la realización o realizaciones específicas descritas en el presente documento, sino que también abarca cualquier variación que cualquier experto en la materia pueda considerar (por ejemplo, en cuanto a la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro del alcance general de la invención, como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para el proceso de microperforación de pulso único con un cabezal láser (10), que comprende: disponer un sensor de corrientes de Foucault (30) en una boquilla (20) del cabezal láser (10), siendo la boquilla (20) para emitir un rayo láser (28) a través de un primer extremo (22) de una abertura (21) de la boquilla (20), siendo el primer extremo (22) tanto un extremo de salida de láser como opuesto a un segundo extremo (23), siendo el segundo extremo (23) un extremo de entrada de láser; microperforar una pieza de trabajo (5) emitiendo intermitentemente el rayo láser (28) mientras se mueve el cabezal láser (10) y mientras la boquilla (20) está separada de la pieza de trabajo (5) a una distancia D; caracterizado por: medir la distancia D entre el cabezal láser (10) y la pieza de trabajo (5) con el sensor de corrientes de Foucault (30) mientras se mueve el cabezal láser (10); comprendiendo el sensor de corrientes de Foucault (30): una bobina eléctricamente conductora (31) a una distancia del eje central (25) de la abertura (21) mayor o igual a 4,0 mm, y menor o igual a 10,0 mm; un miembro separador (32) dispuesto de tal forma que un primer lado (33) del mismo esté frente a la bobina eléctricamente conductora (31) y un segundo lado (34) del mismo esté frente a la pieza de trabajo (5) cuya distancia con respecto al sensor de corrientes de Foucault (30) se va a medir, estando el segundo lado (34) opuesto al primer lado (33); y un diámetro Φ de un alambre que forma la bobina eléctricamente conductora (31) es: 0,30 mm ≤ Φ ≤ 0,45 mm; estando el sensor de corrientes de Foucault (30) a ras del primer extremo (22) de la boquilla (20); y estando dispuesto el sensor de corrientes de Foucault (30) concéntrico a la boquilla (20).

2. El método de la reivindicación 1, en donde la distancia D entre la boquilla (20) y la pieza de trabajo (5) es menor o igual a 5,0 mm.

3. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la bobina eléctricamente conductora (31) tiene un número de vueltas mayor o igual a 50 y menor o igual a 100.

4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además: proporcionar la distancia D medida a un dispositivo de control (70) de una máquina de microperforación que comprende el cabezal láser (10); y ajustar una posición del cabezal láser (10) durante el procesamiento, con el dispositivo de control (70), la distancia D medida de modo que la distancia entre el cabezal láser (10) y la pieza de trabajo (5) sea un valor de

distancia predeterminado.

5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además: proporcionar mediciones de codificadores del cabezal láser (10) a un dispositivo de control (70) de una máquina de microperforación que comprende el cabezal láser (10), siendo las mediciones indicativas de un movimiento del cabezal láser (10); y ordenar la salida intermitente del rayo láser (28), con el dispositivo de control (70), basándose en las mediciones.

6. Un cabezal láser (10), que comprende: una boquilla (20) para emitir un rayo láser (28) a través de un primer extremo (22) de una abertura (21) de la boquilla (20), siendo el primer extremo (22) un extremo de salida de láser y estando opuesto a un segundo extremo (23), siendo el segundo extremo (23) un extremo de entrada de láser; y un sensor de corrientes de Foucault (30) dispuesto en la boquilla (20); caracterizado por que el sensor de corrientes de Foucault (30) comprende: una bobina eléctricamente conductora (31) a una distancia del eje central (25) de la abertura (21) mayor o igual a 4,0 mm; un miembro separador (32) dispuesto de tal forma que un primer lado (33) del mismo esté frente a la bobina eléctricamente conductora (31) y un segundo lado (34) del mismo esté frente a una pieza de trabajo (5) cuya distancia con respecto al sensor de corrientes de Foucault (30) se va a medir, estando el segundo lado (34) opuesto al primer lado (33); y un diámetro Φ de un alambre que forma la bobina eléctricamente conductora (31) es: $0{,}30\ \text{mm} \leq \Phi \leq 0{,}45\ \text{mm}$; estando el sensor de corrientes de Foucault (30) a ras del primer extremo (22) de la boquilla (20); y estando dispuesto el sensor de corrientes de Foucault (30) concéntrico a la boquilla (20).

7. El cabezal láser (10) de la reivindicación 6, en donde la bobina eléctricamente conductora (31) tiene un número de vueltas mayor o igual a 50 y menor o igual a 100.

8. Una máquina de microperforación, que comprende: un cabezal láser (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6-7; y un dispositivo de control (70) configurado para recibir datos o una señal, desde el sensor de corrientes de Foucault (30), indicativos de la distancia D medida, y configurado, además, para ordenar al cabezal láser (10) que se mueva en una dirección paralela a un eje central (25) de la abertura (21).

9. La máquina de microperforación de la reivindicación 8, en donde el cabezal láser (10) comprende, además, codificadores indicativos de un movimiento del cabezal láser (10); y

estando el dispositivo de control (70) configurado, además, para ordenar al cabezal láser que emita intermitentemente el rayo láser (28) basándose en las mediciones.

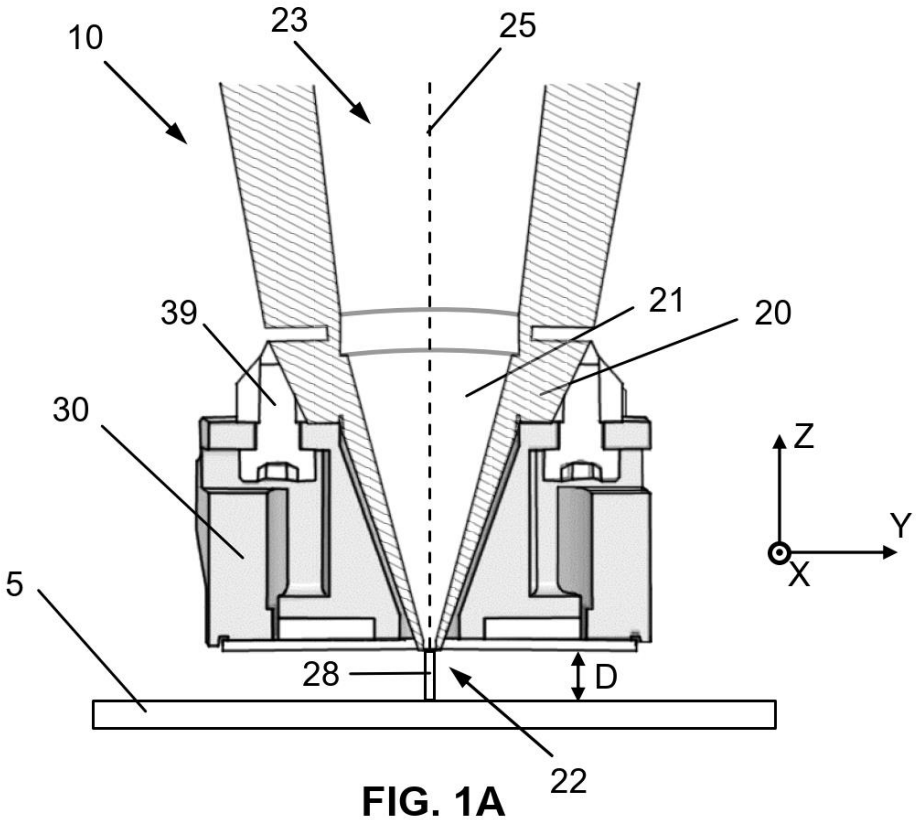

FIG. 1A

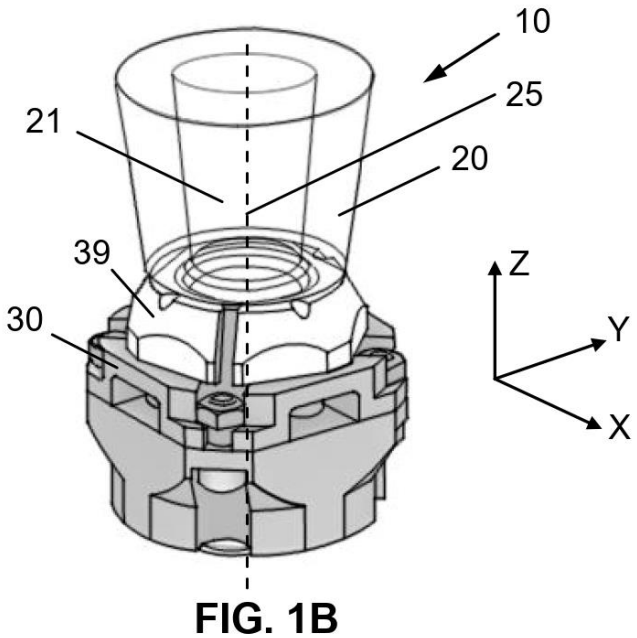

FIG. 1B

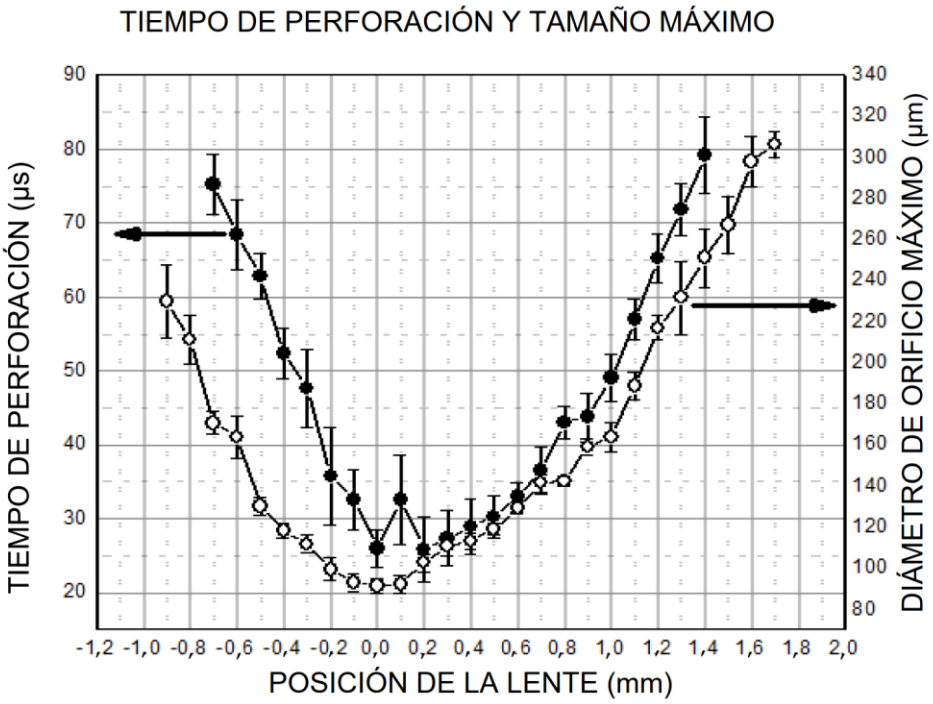
TIEMPO DE PERFORACIÓN Y TAMAÑO MÁXIMO
TIEMPO DE PERFORACIÓN (µs)
DIÁMETRO DE ORIFICIO MÁXIMO (µm)
POSICIÓN DE LA LENTE (mm)
90
80
70
60
50
40
30
20
340
320
300
280
260
240
220
200
180
160
140
120
100
80
-1,2 -1,0 -0,8 -0,6 -0,4 -0,2 0,0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0

FIG. 2

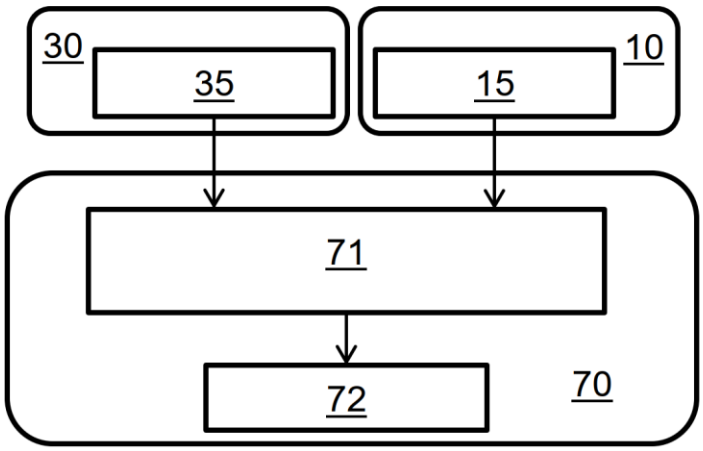
30
35
10
15
71
72
70

FIG. 3

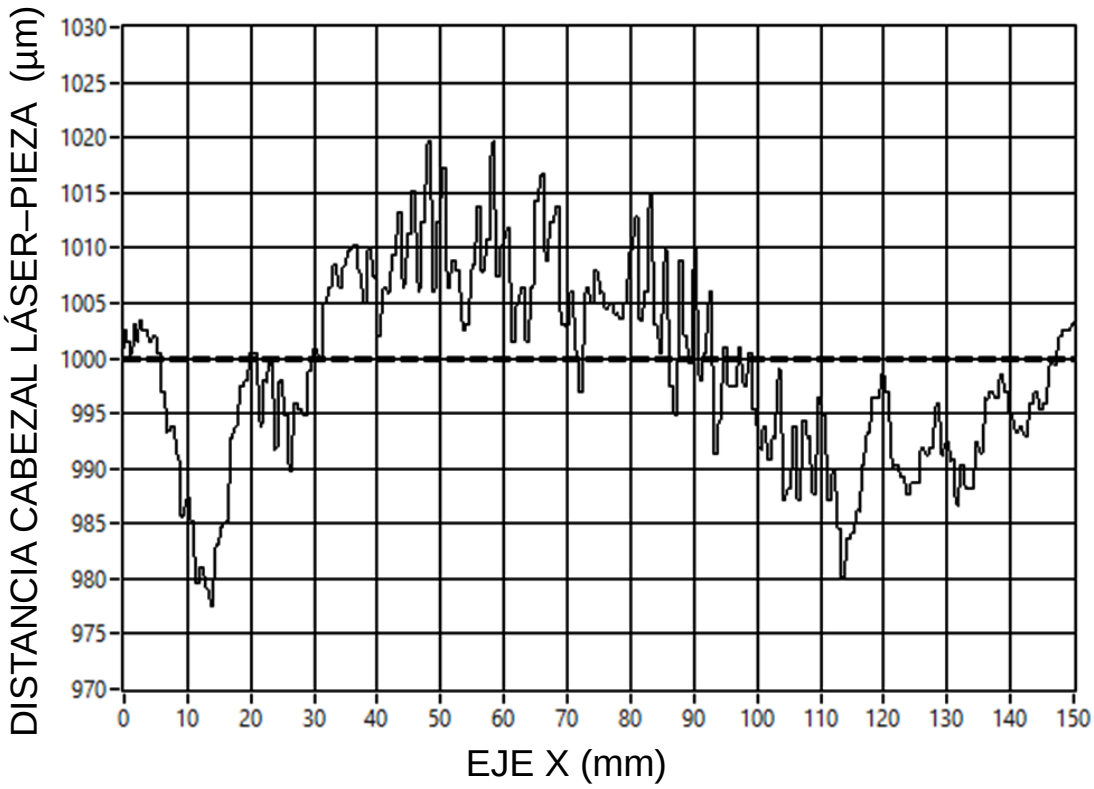
DISTANCIA CABEZAL LÁSER–PIEZA (µm)
1030
1025
1020
1015
1010
1005
1000
995
990
985
980
975
970
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
EJE X (mm)

FIG. 4

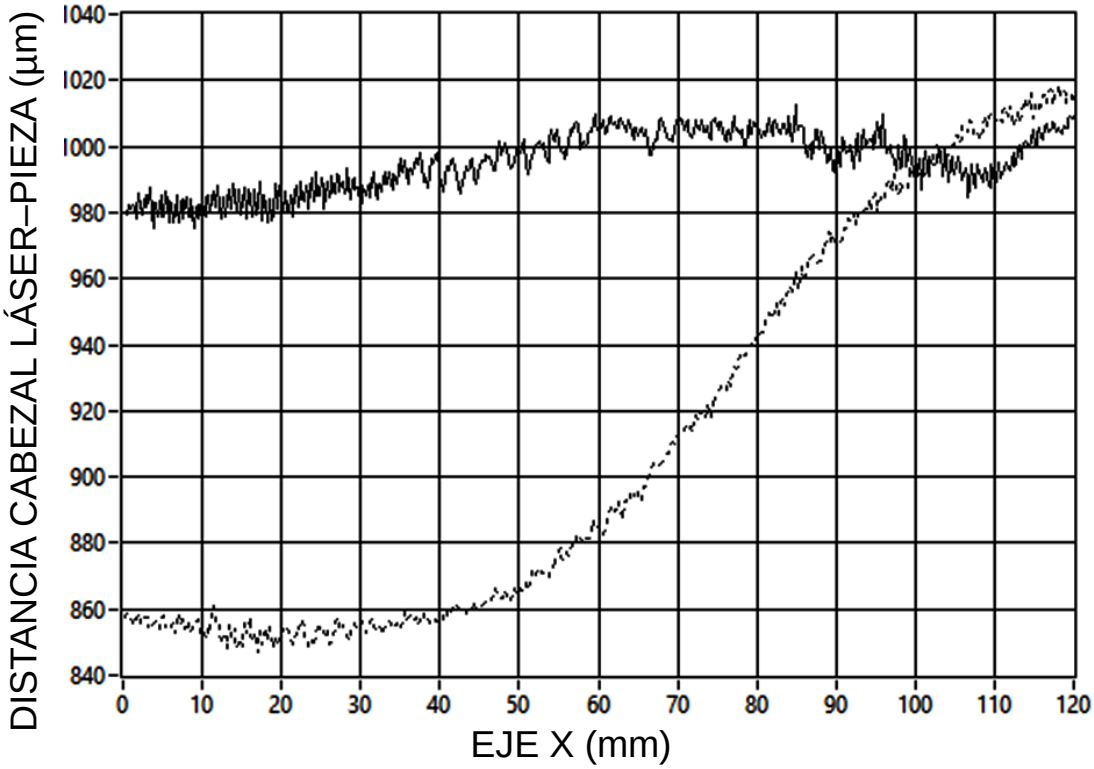
DISTANCIA CABEZAL LÁSER–PIEZA (µm)
1040
1020
1000
980
960
940
920
900
880
860
840
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
EJE X (mm)

FIG. 5

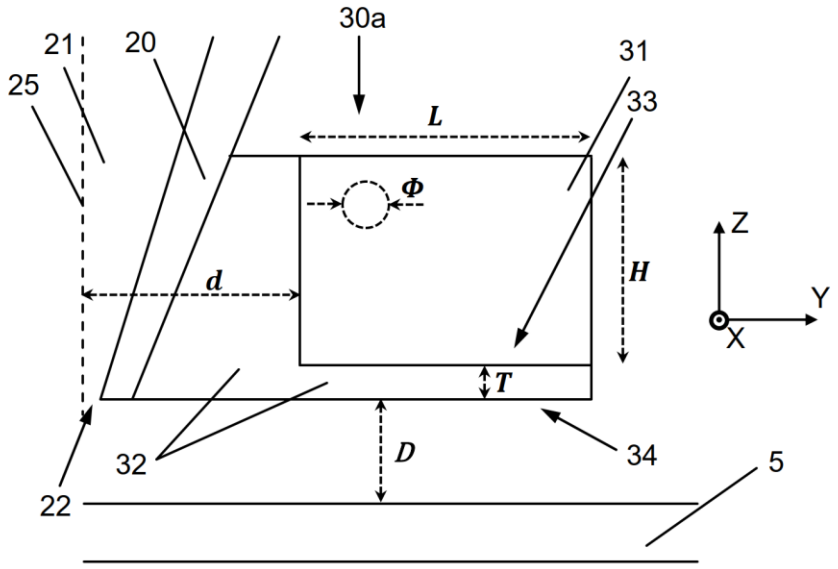

FIG. 6A

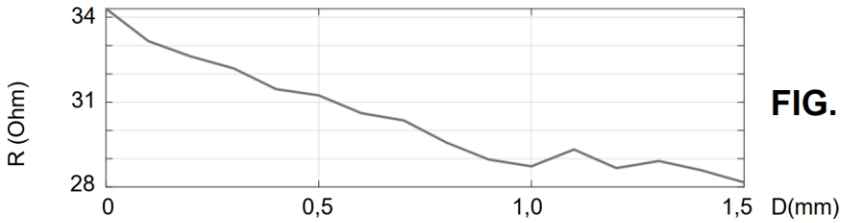

FIG. 6B

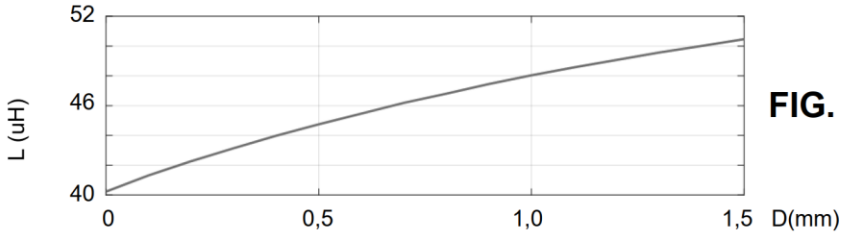

FIG. 6C

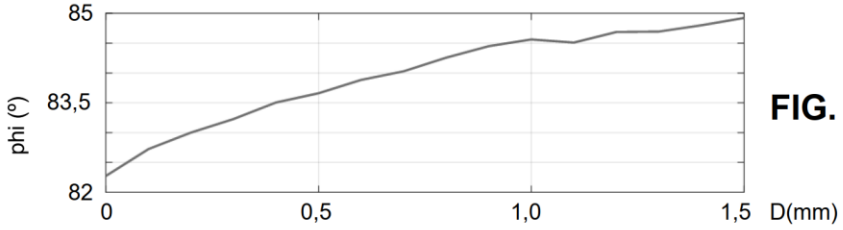

FIG. 6D

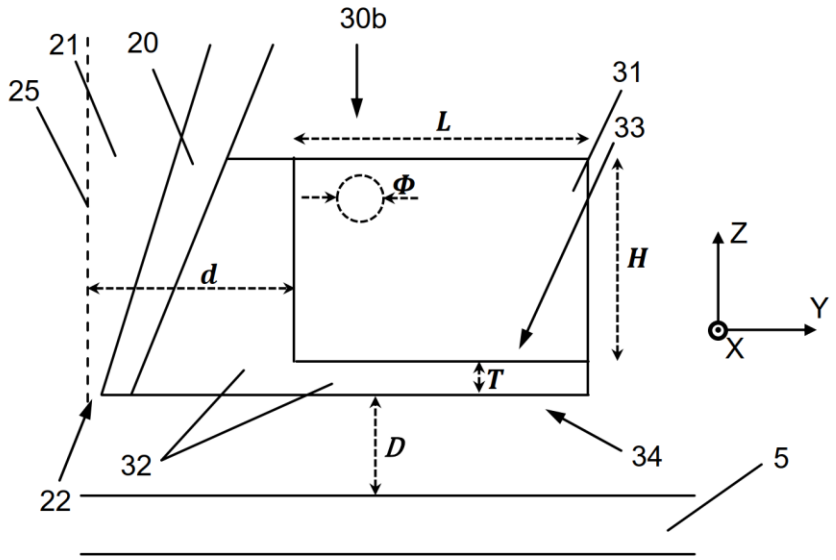

FIG. 7A

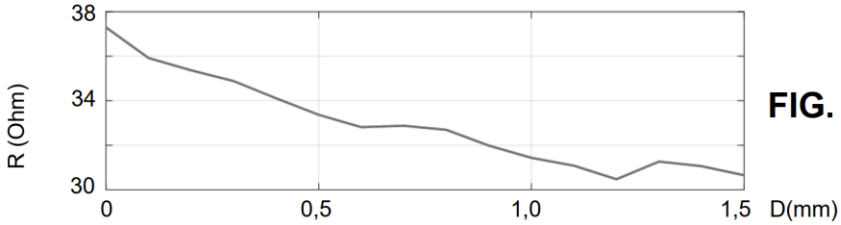

FIG. 7B

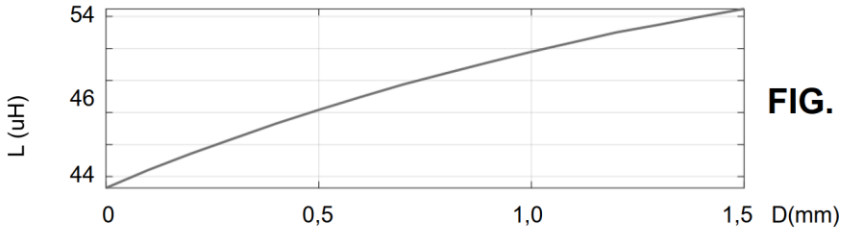

FIG. 7C

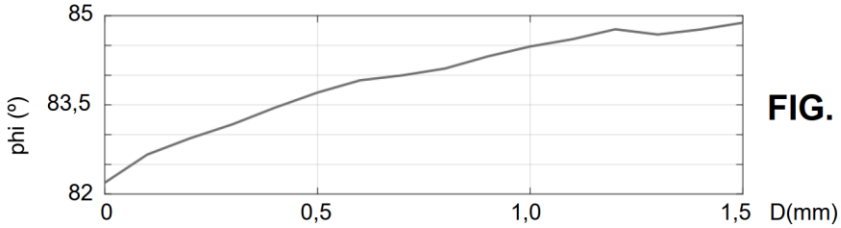

FIG. 7D

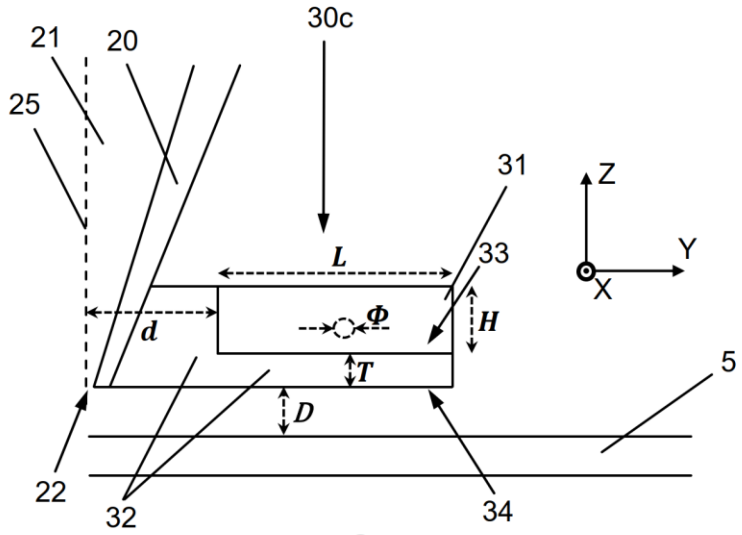

FIG. 8A

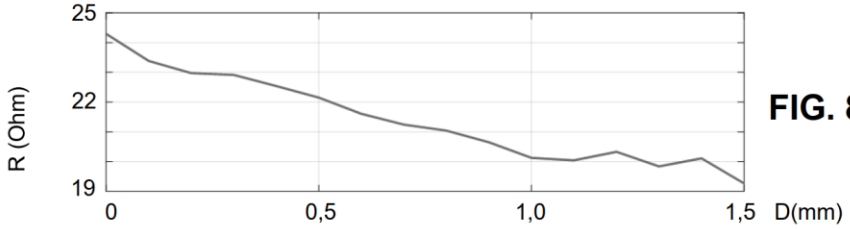

FIG. 8B

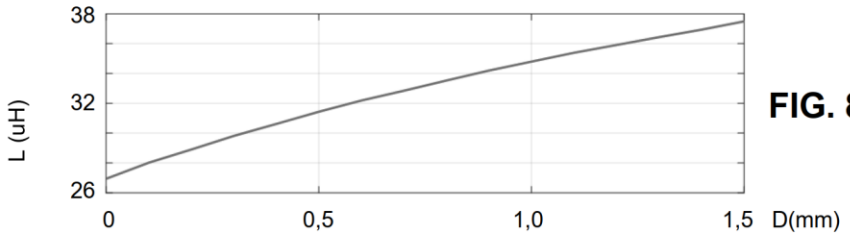

FIG. 8C

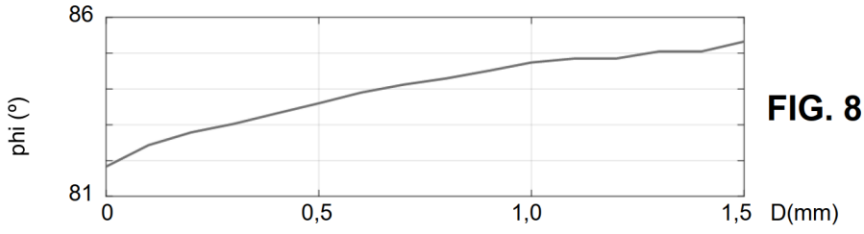

FIG. 8D