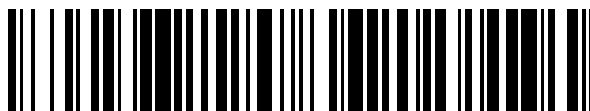


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 788 662**

51 Int. Cl.:

C21D 10/00 (2006.01)

C21D 7/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.10.2014** **PCT/CN2014/089554**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.05.2015** **WO15062457**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.10.2014** **E 14858568 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2020** **EP 3064600**

54 Título: **Aparato de granallado por choque de láser para la superficie de una pieza de trabajo, y método de granallado por choque de láser**

30 Prioridad:

31.10.2013 CN 201310534491

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.10.2020

73 Titular/es:

**NINGBO INSTITUTE OF MATERIALS
TECHNOLOGY AND ENGINEERING, CHINESE
ACADEMY OF SCIENCES (100.0%)
519, Zhuangshi Road, Zhenhai District
Ningbo, Zhejiang 315201, CN**

72 Inventor/es:

ZHANG, WENWU

74 Agente/Representante:

TEMIÑO CENICEROS, Ignacio

ES 2 788 662 T3

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

DESCRIPCIÓN

Aparato de granallado por choque de láser para la superficie de una pieza de trabajo, y método de granallado por choque de láser

Campo técnico de la invención

La presente invención se refiere al **Campo técnico** del granallado por choque de láser para la superficie de una pieza de trabajo, y particularmente, a un aparato de granallado por choque de láser para la superficie de una pieza de trabajo y un método para fortalecer la superficie de la pieza de trabajo mediante el aparato de granallado por choque de láser.

Antecedentes de la invención

La tecnología de granallado por choque de láser es una tecnología para fortalecer la superficie de una pieza de trabajo a través de granallado por choque de láser utilizando ondas de choque de presión ultra alta generadas por láser de alta potencia. En la actualidad, la tecnología de granallado por choque de láser es ampliamente utilizada en varios campos, como la aviación, construcción naval, ingeniería mecánica, etc., especialmente, en tratamiento antifatiga para palas de motores de aviones.

El aparato de granallado por choque de láser existente para la superficie de una pieza de trabajo comprende una unidad de generación de láser, una capa protectora absorbente en la superficie de la pieza de trabajo y una capa de confinamiento en la capa protectora absorbente. La capa de confinamiento se usa para permitir que pase la energía láser de modo que la energía láser pueda actuar sobre la capa protectora absorbente, y para proporcionar la fuerza reactiva tanto como sea posible cuando los plasmas se expanden, mejorando así la eficacia de acoplamiento de las ondas de choque. En la actualidad, en el hogar y en el extranjero, los materiales sólidos, como el vidrio óptico, etc., se usan típicamente como capa de confinamiento, o los materiales flexibles, como película de agua con un espesor de aproximadamente 0,5-1 mm, etc., se usan como capa de confinamiento transparente. La capa protectora absorbente se utiliza para absorber láser, generando plasmas y protegiendo para evitar daños a la pieza de trabajo por láser y plasmas. En la actualidad, las pinturas, cintas adhesivas flexibles, láminas de metal con cierto espesor, etc., se usan típicamente como capa protectora absorbente.

El proceso de granallado por choque de láser se muestra en la Fig. 1: láser con pulso corto (genéricamente dentro de 50 nanosegundos) y alta densidad de potencia (GW/cm^2) pasa a través de la capa de confinamiento transparente e irradia sobre la capa protectora absorbente aplicada o unida a la superficie de la pieza de trabajo, tales como metal y similares; la capa protectora absorbente se gasifica rápidamente para formar plasmas compactos con alta temperatura y alta presión después de absorber la energía láser, en donde los plasmas se calientan bruscamente y se expanden para formar ondas de choque después de absorber energía láser sin cesar, y las ondas de choque tienen una intensidad de hasta una magnitud de varios GPa (10^9Pa), que está muy por encima del límite elástico de muchos materiales para piezas de trabajo; las ondas de choque pasan a través de la capa protectora absorbente y actúan sobre la superficie de la pieza de trabajo y se transmiten al interior de la pieza de trabajo, para causar deformación plástica y campo de tensión de compresión residual en la superficie de la pieza de trabajo, conduciendo así a deformación plástica en los materiales de superficie, aumento en la densidad de dislocación, refinamiento de grano, mejora en el estrés compresivo y la dureza, para mejorar en gran medida la resistencia a la fatiga, resistencia al desgaste y resistencia a la corrosión de los materiales.

Por ejemplo, el proceso de granallado por choque de láser es utilizado por la patente estadounidense US5744781 titulada "método y aparato para granallado por choque de láser", la patente china CN102212655B titulada "método de choque de láser", el documento CN1102962C titulado "granallado por choque de láser usando láser de baja energía", y el documento CN101831529B titulado "método de refuerzo de tratamiento de impacto láser para filete de cigüeñal" y similares. Sin embargo, como se puede ver en la Fig. 1, solo aproximadamente la mitad de las ondas de choque de plasma generadas por la capa protectora absorbente aplicada en la superficie de la pieza de trabajo después de absorber la energía láser actúa sobre la superficie de la pieza de trabajo, y la otra mitad de las ondas de choque de plasma se disipan hacia el exterior. En otras palabras, casi el 50% de la energía se pierde durante el proceso de granallado por choque de láser existente, lo que significa una ración de utilización de energía muy baja. Por tanto, no hay otra alternativa que mejorar la energía láser para lograr un efecto de procesamiento predeterminado. En la actualidad, los láseres utilizados para el granallado por choque de láser suelen utilizar pulsos de nanosegundos con energía láser de mucho más de 1 julio. Sin embargo, dicho láser tiene un precio extremadamente alto y, mientras tanto, el sistema láser tiene una fiabilidad menor debido al trabajo en condiciones limitantes. Por tanto, es necesario mejorar la eficacia de utilización de energía del granallado por choque de láser, para reducir el requerimiento de energía de los sistemas láser, mejorando así el efecto de procesamiento con la premisa de garantizar la fiabilidad del láser.

Adicionalmente, en cuanto a la capa de confinamiento, la película de agua es ampliamente utilizada debido a sus ventajas, como un menor costo, buena flexibilidad, ser reciclable, buena aplicabilidad a superficies curvas complejas, etc. Sin embargo, la capa de confinamiento que utiliza la película de agua tiene los siguientes problemas: (1) es

difícil controlar de manera estable el espesor de la película de agua a aproximadamente 0,5-1 mm en la operación práctica, por ejemplo, en la actualidad, la película de agua se aplica típicamente desde un lado a través de una boquilla, sin embargo, el espesor de la película de agua es fácil de variar con la forma y posición de la pieza de trabajo, y es fácil que la película de agua se dañe o desparrame debido a las ondas de choque durante el proceso, influyendo así en la uniformidad del procesamiento y la fiabilidad de los dispositivos ópticos; y (2) en comparación con confinamiento sólido, la película de agua tiene una rigidez de confinamiento deficiente, para que tenga un efecto de confinamiento malo en las ondas de choque y, por lo tanto, las condiciones, tales como confinamiento inestable y similares, se pueden producir fácilmente, lo que finalmente conduce a la atenuación del granallado por choque de láser.

En comparación con la película de agua, la capa de confinamiento hecha de sólido, tales como vidrio y similares, tiene un mejor efecto de confinamiento en las ondas de choque láser. Sin embargo, tiene poca adaptabilidad de procesamiento, que no cumple con el requisito en regiones de choque locales con formas relativamente complejas. Adicionalmente, el vidrio puede romperse bajo el efecto de plasmas y ondas de choque, y por lo tanto solo se ajusta a un solo choque y no puede usarse repetidamente.

La patente de invención china, No.ZL02138338.3, titulada "lámina flexible para tratamiento de impacto con láser" adopta dos grupos de soluciones de gel de silicona orgánica con diferentes componentes y aditivos, y los mezcla de acuerdo con una fórmula determinada, después de que dicha mezcla se solidifique, se forma una capa de restricción, y una capa absorbente de energía de pintura negra tipo 86-1 se puede rociar sobre la capa de restricción para formar la película adhesiva que integra la capa de absorción de energía y la capa de restricción en un cuerpo y posee una cierta flexibilidad. La película adhesiva flexible puede formar una película adhesiva que integra la capa de absorción de energía y la capa de restricción en un cuerpo y posee una cierta flexibilidad, sin embargo, su rigidez de confinamiento no puede alcanzar la del vidrio y tiene desventajas, como el peligro potencial de calidad, por ejemplo, existencia de burbujas y operación de fabricación compleja y tediosa para película adhesiva flexible, que no facilitan su promoción en el campo actual.

El documento EP1911855A divulgó un aparato de granallado láser, incluyendo: un cabezal de contención de líquido para dar forma y contener líquido para atrapar plasma en una superficie local de una pieza de trabajo; y un cabezal de irradiación de láser para irradiar la superficie con láser a través del líquido contenido en el cabezal de contención de líquido.

Sumario de la invención

Apuntando a las deficiencias que existían en la tecnología de granallado por choque de láser en la técnica anterior, un objetivo técnico de la presente invención es proporcionar un aparato de granallado por choque de láser para la superficie de una pieza de trabajo, el aparato de granallado por choque de láser se puede utilizar para fortalecer la superficie de la pieza de trabajo mediante granallado por choque de láser y puede mejorar la eficacia y la fiabilidad del granallado por choque de láser.

La solución técnica utilizada por la presente invención para lograr el objetivo técnico anterior se define en las reivindicaciones 1-7 y se resume como sigue:

un aparato de granallado por choque de láser para una superficie de una pieza de trabajo, comprendiendo el aparato de granallado por choque de láser una unidad de generación de láser, una capa protectora absorbente en la superficie de la pieza de trabajo y una capa de confinamiento en una superficie de la capa protectora absorbente, en donde, un láser generado por la unidad generadora de láser irradia sobre la capa protectora absorbente después de pasar a través de la capa de confinamiento, y luego las ondas de choque de plasma generadas en la capa protectora absorbente actúan sobre la superficie de la pieza de trabajo; en donde, el aparato de granallado por choque de láser comprende además una cavidad resonante con un extremo abierto, en donde, la cavidad resonante está provista de una entrada de láser para introducir el láser generado por la unidad generadora de láser en la cavidad resonante; la cavidad resonante está provista además de una entrada de fluido a través de la cual se inyecta fluido para formar la capa de confinamiento; el extremo abierto de la cavidad resonante contacta con la capa protectora absorbente, de modo que la capa de confinamiento se restringe en un espacio interior de la cavidad resonante.

La pieza de trabajo significa un componente aplicado en el **Campo técnico** industrial, y la pieza de trabajo comprende cualquier componente en el cual la deformación plástica y el campo de tensión residual de compresión pueden ocurrir bajo el efecto de ondas de choque láser, por ejemplo, componentes metálicos y similares.

El material para la cavidad resonante no está limitado, generalmente, y materiales con tolerancia y reflexividad relativamente más altas a las ondas de choque se utilizan para la cavidad resonante, y los materiales pueden comprender, pero sin limitación, metales, como el acero inoxidable SS304, aleación de tungsteno de alta densidad y similares, así como materiales cerámicos y similares.

La superficie interna de la cavidad resonante no tiene forma limitada, pero puede procesarse en una forma capaz de

producir una agregación de resonancia de ondas de choque de alta eficacia, y la forma puede comprender formas elipsoidales y paraboloïdales y similares.

5 El extremo abierto de la cavidad resonante no tiene forma limitada, pero el extremo abierto puede tener una forma redonda, cuadrada u oblonga.

El fluido comprende cualquier gas y líquido adecuado para transmitir energía óptica. El gas comprende, pero sin limitación, aire, gas nitrógeno y similares. El líquido comprende, pero sin limitación, agua y solución de la misma.

10 El material para la capa protectora absorbente no está limitado, y comprende papel de aluminio, pintura negra, cinta adhesiva y similares.

El láser generado por la unidad generadora de láser no está limitado en longitud de onda, y pueden usarse longitudes de onda capaces de generar ondas de choque deseadas en la cavidad resonante, y las longitudes de onda del láser comprenden 10640/1064/800/532/517/355 nanómetros y similares.

15 En conclusión, el aparato de granallado por choque de láser para la superficie de una pieza de trabajo proporcionada por la presente invención comprende una cavidad resonante, y el fluido se utiliza como una capa de confinamiento que está total o parcialmente restringida en un espacio interior de la cavidad resonante. Cuando el aparato se utiliza para el granallado por choque de láser, el proceso del mismo es como se muestra en la Fig.2. En otras palabras, en estado de trabajo, el láser generado por la unidad generadora de láser se irradia sobre la capa protectora absorbente después de pasar a través del fluido en la cavidad resonante, y luego la capa protectora absorbente se gasifica para generar plasmas después de absorber la energía láser, y los plasmas se expanden para formar ondas de choque esféricas de alta intensidad después de absorber energía láser sin cesar, las ondas de choque esféricas se propagan en un proceso de propagación A de la siguiente manera:

proceso de propagación A: una parte de las ondas de choque esféricas actúan sobre la pieza de trabajo y se propagan en la pieza de trabajo, y otra parte de las ondas de choque esféricas se propaga a la superficie interna de la cavidad resonante;

30 las ondas de choque esféricas propagadas a la superficie interna de la cavidad resonante forman ondas de choque esféricas nuevamente después de reflejarse por la superficie interna de la cavidad resonante, y luego se repite el proceso de propagación A anterior;

el proceso de propagación A se repite varias veces de esta manera. En otras palabras, debido a la presencia de la cavidad resonante, las ondas de choque que se disiparían hacia el exterior en la técnica anterior se utilizan en el aparato de granallado por choque de láser de la presente invención, y las ondas de choque compuestas pueden formarse por ondas de choque inducidas por un pulso láser debido a los efectos de reflexión y convergencia de las ondas de la cavidad resonante. Las ondas de choque actúan en la superficie de una pieza de trabajo dos o más veces, logrando así múltiples choques por un pulso y aumentando considerablemente la razón de utilización de energía.

40 La Fig. 3 es un diagrama esquemático que ilustra la comparación de las formas de onda de las ondas de choque inducidas por el pulso láser en el aparato de granallado por choque de láser existente en la técnica anterior y el aparato de granallado por choque de láser con una cavidad resonante de la presente invención. En otras palabras, el aparato de granallado por choque de láser existente solo puede generar un pico de onda de choque efectivo por un pulso, y luego las ondas de choque decaen gradualmente, como resultado, las ondas de choque tienen una duración relativamente más corta, aproximadamente 1-3 veces el ancho del pulso de láser, y tienen una forma de onda que se muestra en la Fig. 3A. Sin embargo, el aparato de granallado por choque de láser provisto por la presente invención comprende una cavidad resonante y tiene una forma de onda mostrada en la Fig. 3B. Las ondas de choque transmitidas directamente a la pieza de trabajo forman un primer pico de onda, y las ondas de choque alejadas de la pieza de trabajo forman un segundo pico de onda después de reflejarse y converger por la cavidad resonante, y este proceso se repite, formando así dos o más ondas de choque efectivas, lo que aumenta en gran medida la razón de utilización de energía y, por lo tanto, el efecto del granallado por choque de láser mejora considerablemente.

55 Por otro lado, el aparato de granallado por choque de láser provisto por la presente invención utiliza fluido como capa de confinamiento, y la capa de confinamiento está limitada al interior de la cavidad resonante, para que la capa de confinamiento basada en fluido tenga una forma fija, resolviendo así de manera efectiva los problemas de la mala estabilidad de una capa de confinamiento basada en fluido y la dificultad de controlar el espesor de dicha capa de confinamiento en la técnica anterior.

60 Con el fin de optimizar aún más el aparato de granallado por choque de láser anterior, las siguientes medidas de optimización se proporcionan adicionalmente en la presente invención.

65 Teniendo en cuenta que pueden formarse burbujas e influir en el efecto de granallado de choque durante el proceso de formación de ondas de choque nuevamente después de que las ondas de choque se reflejen y converjan a través de la cavidad resonante, se prefiere que la cavidad resonante esté provista además de una salida de fluido, y el

fluido se inyecte a través de la entrada de fluido y fluya a través de la salida de fluido en un estado de flujo. Las medidas de optimización tienen las siguientes ventajas:

(1) a medida que fluye el fluido, por un lado, el fluido que fluye reduce la posibilidad de formar burbujas durante la formación de ondas de choque nuevamente y, por otro lado, aunque se forme una pequeña cantidad de burbujas en el proceso, el fluido que fluye puede sacar rápidamente las burbujas de la cavidad resonante, lo que es propicio para disminuir el efecto negativo sobre el granallado de choque por las burbujas;

(2) como la cavidad resonante está provista con la salida de fluido, la presión interna en la cavidad resonante puede ser inducida y ajustada, permitiendo así controlar la distancia entre la cavidad resonante y la pieza de trabajo.

Para evitar que el fluido en la cavidad resonante se desborde en la unión entre la capa protectora absorbente y la cavidad resonante, se prefiere proporcionar una junta de sellado en la unión entre la capa protectora absorbente y la cavidad resonante.

En la presente invención, el extremo abierto de la cavidad resonante contacta con la capa protectora absorbente, y la forma de contacto comprende contacto hermético y contacto no hermético. Como la capa de confinamiento en la presente invención es fluida, cuando el extremo abierto de la cavidad resonante contacta herméticamente con la capa protectora absorbente, el fluido está completamente restringido en la cavidad resonante y no se desborda. Sin embargo, en aplicación práctica, es relativamente difícil controlar el contacto hermético entre el extremo abierto de la cavidad resonante y la capa protectora absorbente. Cuando el extremo abierto de la cavidad resonante y la capa protectora absorbente están en contacto entre sí de una manera de contacto no hermética, una pequeña cantidad de líquido se desborda en la unión, que no interfiere con la utilidad de la presente invención, en su lugar, el desbordamiento de una pequeña cantidad de fluido facilita la disminución de la fuerza de fricción entre la capa protectora absorbente y la cavidad resonante.

Para facilitar que el láser ingrese a la cavidad resonante a través de la entrada de láser de manera eficiente, se prefiere proporcionar una unidad de guía de luz entre la unidad generadora de láser y la entrada de láser, para que el láser generado por la unidad generadora de láser ingrese a la cavidad resonante a través de la entrada de láser de manera eficiente. La unidad de guía de luz puede ser un sistema de tubería de luz flexible compuesto por reflectores, y puede ser fibra óptica y similares.

Para evitar que las ondas de choque de plasma y el fluido se disipen en la entrada de láser durante el funcionamiento, se prefiere que un espaciador A, una película de ventana transparente con alta resistencia a la presión y un espaciador B se proporcionen en la entrada de láser. La película de ventana transparente con alta resistencia a la presión se coloca entre el espaciador A y el espaciador B, y su material comprende, pero sin limitación, placa de cuarzo, hoja de lente, y similares.

El método para fortalecer la pieza de trabajo mediante el uso del aparato de granallado por choque de láser provisto por la presente invención es el siguiente:

etapa 1, aplicar una capa protectora absorbente sobre la superficie de la pieza de trabajo después de limpiarla;
etapa 2, poner en contacto el extremo abierto de la cavidad resonante con la superficie de la capa protectora absorbente e inyectar el fluido en la cavidad resonante a través de la entrada de fluido;

etapa 3, introducir el láser generado por la unidad generadora de láser en la cavidad resonante a través de la entrada de láser, y el láser irradia sobre la capa protectora absorbente después de pasar a través del fluido, y luego se generan ondas de choque, en donde, las ondas de choque se propagan en un proceso de propagación A de la siguiente manera:

una parte de las ondas de choque actúa directamente sobre la pieza de trabajo para fortalecer la pieza de trabajo, por su parte, otra parte de las ondas de choque se propaga hacia la superficie interna de la cavidad resonante y forma ondas de choque nuevamente después de reflejarse y converger por la superficie interna de la cavidad resonante, y luego se repite el proceso de propagación A anterior;

después de que el proceso de propagación A se repite varias veces, se apaga la unidad generadora de láser;

etapa 4, descargar la pieza de trabajo y limpiar la capa protectora absorbente que queda en la superficie de la pieza de trabajo.

En la etapa 1, el método para aplicar una capa protectora absorbente sobre la superficie de la pieza de trabajo comprende, pero sin limitación, aplicar pinturas, cintas adhesivas y papel de aluminio.

Con el fin de fortalecer diferentes regiones de la superficie de la pieza de trabajo mediante granallado por choque de láser, en el proceso, se prefiere ajustar la posición donde el extremo abierto de la cavidad resonante contacta con la superficie de la capa protectora absorbente, en otras palabras, después de la etapa 3 y antes de la etapa 4, la etapa 3' se realiza como a continuación una o más veces:

etapa 3', cambiar la posición donde el extremo abierto de la cavidad resonante contacta con la superficie de la capa protectora absorbente, y repetir la etapa 3;

en donde, en la etapa 3', la manera de cambiar la posición donde el extremo abierto de la cavidad resonante contacta con la superficie de la capa protectora absorbente no está limitada. Por ejemplo, se puede utilizar un sistema móvil para mover la pieza de trabajo y el aparato de granallado por choque de láser. Los patrones de movimiento comprenden solo mover la pieza de trabajo o el aparato de granallado por choque de láser, o mover tanto la pieza de trabajo como el aparato de granallado por choque de láser, para adaptarse a los requisitos de procesamiento de piezas de trabajo con varias dimensiones.

Con el fin de mejorar aún más la eficacia del granallado por choque de láser para la pieza de trabajo, se prefiere utilizar el método para fortalecer una superficie superior y una superficie inferior de la pieza de trabajo mediante la utilización simultánea de dos aparatos de granallado por choque de láser, y el proceso específico es el siguiente:

etapa 1, aplicar capas protectoras absorbentes en la superficie superior y la superficie inferior de la pieza de trabajo respectivamente después de limpiar la pieza de trabajo;

etapa 2, poner en contacto los extremos abiertos de dos cavidades resonantes de los dos aparatos de granallado por choque de láser con las capas protectoras absorbentes en la superficie superior y la superficie inferior respectivamente, y luego inyectar fluido en las cavidades resonantes a través de las entradas de fluido respectivamente;

etapa 3, introducir láseres generados por unidades generadoras de láser de los dos aparatos de granallado por choque de láser en las cavidades resonantes a través de las dos entradas de láser respectivamente, y los láseres irradian en las capas protectoras absorbentes después de pasar a través del fluido, y luego se generan ondas de choque en las capas protectoras absorbentes, en donde, las ondas de choque se propagan en un proceso de propagación A de la siguiente manera:

una parte de las ondas de choque actúa directamente sobre la pieza de trabajo para fortalecer la pieza de trabajo, por su parte, otra parte de las ondas de choque se propaga hacia las superficies internas de las cavidades resonantes y forma ondas de choque nuevamente después de reflejarse y converger por las superficies internas de las cavidades resonantes, y luego se repite el proceso de propagación A anterior; después de que el proceso de propagación A se repite varias veces, apagar las unidades generadoras de láser; y

etapa 4, descargar la pieza de trabajo y limpiar las capas protectoras absorbentes que quedan en las superficies de la pieza de trabajo.

En los dos métodos mencionados anteriormente, teniendo en cuenta que pueden formarse burbujas e influir en el efecto de granallado de choque durante el proceso de formación de ondas de choque nuevamente después de que las ondas de choque se reflejen y converjan a través de la cavidad resonante, se prefiere que la cavidad resonante esté provista además de una salida de fluido, y en la etapa 2, el fluido se inyecta a través de la entrada de fluido y fluye a través de la salida de fluido en un estado fluido.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es un diagrama esquemático que ilustra el proceso de granallado por choque de láser en la técnica anterior;

la Fig. 2 es un diagrama esquemático que ilustra el proceso de granallado por choque de láser utilizando el aparato de granallado por choque de láser de la presente invención;

la Fig. 3 es un diagrama de comparación que ilustra las formas de onda de las ondas de choque inducidas por pulsos de láser en el aparato de granallado por choque de láser existente en la técnica anterior y el aparato de granallado por choque de láser de la presente invención;

la Fig. 4 es un diagrama esquemático que ilustra el aparato de granallado por choque de láser que usa agua como medio de confinamiento en la realización 1 de la presente invención;

la Fig. 5 es una unidad de guía de luz que usa dispositivos ópticos en la realización 1 de la presente invención;

la Fig. 6 es una unidad de guía de luz que usa un brazo de guía de luz de múltiples articulaciones en la realización 1 de la presente invención;

la Fig. 7 es una unidad de guía de luz que usa fibra óptica especial en la realización 1 de la presente invención;

la Fig. 8 muestra tres patrones de movimiento durante el proceso de choque en la realización 1 de la presente invención;

la Fig. 9 es un diagrama esquemático que ilustra diferentes formas del extremo de salida de la cavidad resonante en la realización 1 de la presente invención;

la Fig. 10 muestra pistas superpuestas en la región de choque de la cavidad resonante con las formas de extremo mostradas en la Fig. 9;

la Fig. 11 es un diagrama esquemático que ilustra un sistema de granallado por choque de láser de dos vías utilizado en la realización 1 de la presente invención; y

la Fig. 12 es un diagrama esquemático que ilustra el aparato de granallado por choque de láser que usa aire

como medio de confinamiento en la realización 2 de la presente invención.

Los números de referencia en los dibujos adjuntos comprenden: 1. válvula de control de flujo; 2. tanque de agua; 3. bomba de agua en miniatura; 4. pieza de trabajo; 5. salida de fluido; 6. capa protectora absorbente; 7. segundo puerto de conexión; 8. tubería; 9. ordenador; 10. unidad generadora de láser; 11. unidad de transmisión de luz; 12. conector para la unidad de transmisión de luz; 13. entrada de láser; 14. lente de colimación plano-convexa; 15. lente de enfoque plano-convexa; 16. espaciador A; 17. vidrio resistente a alta presión; 18. espaciador B; 19. cavidad resonante; 20. agua desionizada; 21. primer puerto de conexión; 22. entrada de fluido; 23. junta de sellado.

Descripción detallada de realizaciones de la invención

De aquí en adelante, la presente invención se describirá en detalle en relación con los dibujos y realizaciones adjuntos, debe observarse que las siguientes realizaciones pretenden ser convenientes para comprender la presente invención, pero no limita la presente invención.

Realización 1:

En la presente realización, un aparato de granallado por choque de láser, como se muestra en la Fig. 4, comprende una unidad generadora de láser 10 y una cavidad resonante 19 con un extremo abierto, y el extremo abierto de la cavidad resonante 19 contacta herméticamente con la superficie de una capa protectora absorbente 6, formando así una estructura de "retroceso". La cavidad resonante 19 está provista además de una entrada de láser 13, una entrada de fluido 22 y una salida de fluido 5.

La capa protectora absorbente 6 se proporciona sobre la superficie de la pieza de trabajo 4 a procesar, en la presente realización, la pieza de trabajo 4 es una pieza de trabajo de metal, y la capa protectora absorbente 6 es una pieza de papel de aluminio. La capa de confinamiento 20 se proporciona sobre la superficie de la capa protectora absorbente 6. La capa de confinamiento 20 está ubicada en la cavidad resonante 19, y la capa de confinamiento 20 es agua desionizada inyectada a través de la entrada de fluido 22. El agua desionizada se bombea a la cavidad resonante 19 a través de las tuberías 8 y la entrada de fluido 22 bombeando el agua desionizada del tanque de agua externo 2 usando una bomba de agua en miniatura 3, y se bombea desde la cavidad resonante 19 a través de la salida de fluido 5, y así forma una condición de flujo de circulación. El puerto de conexión que conecta las tuberías 8 y la entrada de fluido 22 es el primer puerto de conexión 21, y el puerto de conexión que conecta las tuberías 8 y la salida de fluido 5 es el segundo puerto de conexión 7. Se proporciona además una válvula de control de flujo para detectar el flujo de fluido.

Para facilitar que el láser ingrese a la cavidad resonante 19 a través de la entrada de láser 13 de manera eficiente y constante, se proporciona una unidad de guía de luz entre la unidad generadora de láser 10 y la entrada de láser 13, para que el láser generado por la unidad generadora de láser ingrese a la cavidad resonante a través de la entrada de láser de manera eficiente. La unidad de guía de luz está compuesta por una unidad de transmisión de luz 11, un conector 12 para la unidad de transmisión de luz, una lente de colimación plano-convexa 14 y una lente de enfoque plano-convexa. En aplicación práctica, la unidad de guía de luz también puede emplear otras formas, y la Fig. 5 muestra la unidad de guía de luz usando dispositivos ópticos, la Fig. 6 muestra la unidad de guía de luz con un brazo de guía de luz de múltiples articulaciones, y la Fig. 7 muestra la unidad de guía de luz con fibra óptica especial.

Para evitar que las ondas de choque de plasma se disipen en la entrada de láser 13 durante el funcionamiento, un primer espaciador 16, un vidrio resistente a alta presión 17 y un segundo espaciador 18 están provistos en la entrada de láser 13. El vidrio resistente a alta presión 17 está ubicado entre el primer espaciador 16 y el segundo espaciador 18, y el vidrio resistente a alta presión 17 está hecho de placa de cuarzo u hoja de lente.

Para mejorar la estanqueidad entre la cavidad resonante 19 y la capa protectora absorbente 6, se proporciona una junta de sellado 23 en la posición donde la cavidad resonante 19 contacta con la capa protectora absorbente 6.

Se usa un ordenador 9 para controlar la unidad generadora de láser 10 y la bomba de agua en miniatura 3.

El método para fortalecer la pieza de trabajo mediante el uso del aparato de granallado por choque de láser es el siguiente:

etapa (1), limpiar la pieza de trabajo con líquido como acetona, alcohol y similares, y ventilar la pieza de trabajo, y luego aplicar la capa protectora absorbente 6 hecha de un papel de aluminio en la superficie de la pieza de trabajo metálica 4;

etapa (2), hacer contactar herméticamente el extremo abierto de la cavidad resonante 19 con la superficie de la capa protectora absorbente 6 a través de la junta de sellado 23; llenar la cavidad resonante 19 con agua desionizada 20 a través de la entrada de fluido 22 accionando la bomba de agua 3, y permitiendo que el agua desionizada 20 fluya a través de la salida de fluido 5; y ajustar el caudal del agua desionizada 20 a aproximadamente 0,2 ml/s ajustando la válvula de control de flujo 1;

etapa (3), accionar la unidad generadora de láser 10 bajo el control del ordenador 9, en donde, la unidad

generadora de láser 10 es una unidad generadora de láser pulsado sólido Nd:YAG con una longitud de onda de 532 nm, un ancho de pulso de 25 nanosegundos y una energía de pulso de 1-10 julios; ajustar parámetros del dispositivo láser pulsado 10, para que los parámetros cumplan los requisitos del experimento; emitir un haz láser 13 desde la unidad generadora de láser 10, para transmitir el láser al conector 12 para la unidad de transmisión de luz a través de la unidad de transmisión de luz 11; ajustar la posición de la lente de enfoque plano-convexa 15 en el conector 12, para permitir que el láser 13 irradie sobre la capa protectora absorbente 6 a través del agua desionizada; gasificándose la capa protectora absorbente 6 rápidamente y formando plasmas compactos con alta temperatura y alta presión después de absorber la energía láser, y expandiéndose los plasmas para formar ondas de choque esféricas de alta intensidad después de absorber la energía láser sin cesar, en donde, una parte de las ondas de choque esféricas frente a la pieza de trabajo 4 actúa directamente sobre la pieza de trabajo 4 para fortalecer la pieza de trabajo 4, por su parte, otra parte de las ondas de choque esféricas, que actúan como ondas incidentes, forma ondas enfocadas y reflejadas en una posición adyacente al punto de enfoque del láser 13 después de reflejarse por la superficie interna de la cavidad resonante 19, y se convierten en ondas de choque nuevamente para repetir el proceso anterior, formando así ondas de choque compuestas para fortalecer la pieza de trabajo 4 dos o más veces mediante granallado de choque; y etapa (4): después de terminar el choque de láser, apagar la unidad de generación de láser 10 y la bomba de agua 3 sucesivamente bajo el control del ordenador 9, descargar la pieza de trabajo 4, y finalmente, retirar la capa protectora absorbente 6 que queda en la superficie de la pieza de trabajo 4.

Con el fin de fortalecer las diferentes regiones de la superficie de la pieza de trabajo 4 mediante el granallado por choque de láser, se emplea un sistema móvil en la presente realización para permitir que se produzca un movimiento relativo entre la pieza de trabajo 4 y el aparato de granallado por choque de láser. En particular, se emplea un banco de trabajo móvil que permite que la pieza de trabajo se mueva (como se ilustra en la Fig. 10A), o se emplea un robot industrial que permite que se mueva el aparato de granallado por choque de láser (como se ilustra en la Fig. 10B), o se emplea una manera que permite que tanto la pieza de trabajo como el aparato de granallado por choque de láser se muevan (como se ilustra en la Fig. 10C), para adaptarse a los requisitos de procesamiento de la pieza de trabajo con varias dimensiones.

El método de procesamiento específico es el siguiente: en el proceso anterior, ajustar la posición donde el extremo abierto de la cavidad resonante 19 contacta con la superficie de la capa protectora absorbente 6, en otras palabras, después de la etapa anterior (3) y antes de la etapa (4), la etapa (3') de la siguiente manera se realiza una o más veces:

etapa (3'), cambiar la posición donde el extremo abierto de la cavidad resonante 19 contacta con la superficie de la capa protectora absorbente 6 bajo la acción del sistema móvil, y repetir la etapa (3).

Bajo la acción del sistema móvil, las pistas superpuestas se forman en las regiones de choque de la superficie de la pieza de trabajo. Como se muestra en la Fig. 9 y la Fig. 10, cuando el extremo de salida de la cavidad resonante 19 tiene diferentes formas (redonda, cuadrada o rectangular) ilustradas en la Fig. 9, las pistas superpuestas formadas en las regiones de choque son como se ilustra en la Fig. 10.

Con el fin de mejorar aún más la eficacia del granallado por choque de láser para la pieza de trabajo 4, es posible utilizar el método para fortalecer simultáneamente las superficies superior e inferior de la pieza de trabajo 4 mediante la utilización de dos aparatos de granallado por choque de láser, como se ilustra en la Fig. 11, el proceso específico es el siguiente:

etapa (1), limpiar la pieza de trabajo 4 con líquido como acetona, alcohol y similares, y ventilar la pieza de trabajo, y luego aplicar las capas absorbentes hechas de papel de aluminio en las superficies de la pieza de trabajo metálica 4;

etapa (2), poner en contacto herméticamente los extremos abiertos de las dos cavidades resonantes en los dos aparatos de granallado por choque de láser con las superficies de las capas protectoras absorbentes a través de las juntas de sellado; llenar cada una de las cavidades resonantes con agua desionizada a través de la entrada de fluido respectiva accionando la bomba de agua y permitiendo que el agua desionizada fluya a través de las salidas de fluido; y ajustar el caudal del agua desionizada ajustando la válvula de control de flujo;

etapa (3), accionar las unidades generadoras de láser de los dos aparatos bajo el control del ordenador, ajustar parámetros de las unidades láser respectivamente, para que los parámetros cumplan los requisitos del experimento; emitir láseres desde las unidades generadoras de láser, para transmitir los láseres a las cavidades resonantes a través de las unidades de guía de luz, y permitir que los láseres irradian sobre las capas protectoras absorbentes después de transmitir a través del agua desionizada; gasificándose las capas protectoras absorbentes rápidamente y formando plasmas compactos con alta temperatura y alta presión después de absorber la energía láser, y expandiéndose los plasmas para formar ondas de choque esféricas de alta intensidad después de absorber la energía láser sin cesar, en donde, una parte de las ondas de choque esféricas frente a la pieza de trabajo 4 actúa directamente sobre la pieza de trabajo 4 para fortalecer la pieza de trabajo 4, por su parte, otra parte de las ondas de choque esféricas, que actúan como ondas incidentes, forma ondas enfocadas y reflejadas en una posición adyacente a los puntos de enfoque de los láseres después de reflejarse por las superficies internas de las cavidades resonantes, y se convierten nuevamente en ondas de choque para repetir el proceso anterior, formando de este modo ondas de choque compuestas en las superficies

superior e inferior de la pieza de trabajo para fortalecer la pieza de trabajo 4 dos o más veces por granallado de choque; y

- 5 etapa (4): después de terminar el choque de láser, apagar las dos unidades generadoras de láser y la bomba de agua sucesivamente bajo el control del ordenador, descargar la pieza de trabajo 4, y finalmente, retirar las capas protectoras absorbentes que quedan en las superficies superior e inferior de la pieza de trabajo 4.

Realización 2:

- 10 En la presente realización, un aparato de granallado por choque de láser, como se muestra en la Fig. 12, comprende una unidad generadora de láser y una cavidad resonante con un extremo abierto, en donde, el extremo abierto de la cavidad resonante y la superficie de una capa protectora absorbente están en contacto entre sí de manera no hermética, formando así una estructura de "retroceso". La cavidad resonante está provista además de una entrada de láser, una entrada de fluido y una salida de fluido.

- 15 La capa protectora absorbente se proporciona en la superficie de la pieza de trabajo a procesar, en la presente realización, la pieza de trabajo es una pieza de trabajo de metal, y la capa protectora absorbente es una pieza de papel de aluminio. La capa de confinamiento se proporciona en la superficie de la capa protectora absorbente. La capa de confinamiento se encuentra en la cavidad resonante, y la capa de confinamiento es gas, como el aire, gas nitrógeno y similares, inyectado a través de la entrada de fluido. El gas se bombea a la cavidad resonante a través de la entrada de fluido bombeando el gas del tanque de gas externo utilizando una bomba de gas, y se bombea desde la cavidad resonante a través de la salida de fluido en un estado fluido.

- 25 Para facilitar que el láser ingrese a la cavidad resonante a través de la entrada de láser de manera eficiente, se proporciona una unidad de guía de luz entre la unidad generadora de láser y la entrada de láser, para que el láser generado por la unidad generadora de láser ingrese a la cavidad resonante a través de la entrada de láser de manera eficiente. La unidad de guía de luz se compone de una unidad de transmisión de luz, un conector para la unidad de transmisión de luz, una lente de colimación plano-convexa y una lente de enfoque plano-convexa. En aplicación práctica, la unidad de guía de luz también puede emplear otras formas.

- 30 Para evitar que las ondas de choque de plasma se disipen en la entrada de láser durante el funcionamiento, un primer espaciador, un vidrio resistente a alta presión y un segundo espaciador se proporcionan en la entrada de láser. El vidrio resistente a alta presión se encuentra entre el primer espaciador y el segundo espaciador, y el vidrio resistente a alta presión está hecho de placa de cuarzo u hoja de lente.

- 35 Como la posición de contacto de la cavidad resonante y la capa protectora absorbente no es hermética, una pequeña cantidad de gas se desborda en la posición de contacto, que no interfiere con la utilidad de la presente realización, en su lugar, el desbordamiento de una pequeña cantidad de gas facilita la disminución de la fuerza de fricción entre la capa protectora absorbente y la cavidad resonante.

- 40 El método para fortalecer la pieza de trabajo mediante el uso de un aparato de granallado por choque de láser es similar al de la realización 1, y no se menciona aquí nuevamente.

- 45 Las soluciones técnicas de la presente invención se describen particularmente con referencia a las realizaciones anteriores, y se entenderá que las mencionadas anteriormente son solo realizaciones particulares de la presente invención, pero no para limitar la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de granallado por choque de láser para una superficie de una pieza de trabajo (4), que comprende:

- 5 una unidad generadora de láser (10), en donde, el láser generado por la unidad generadora de láser (10) se irradia sobre una capa protectora absorbente (6) en la superficie de la pieza de trabajo (4) después de pasar a través de una capa de confinamiento en una superficie de la capa protectora absorbente (6), y luego unas ondas de choque de plasma generadas por la capa protectora absorbente (6) actúan sobre la superficie de la pieza de trabajo (4); y
- 10 una cavidad resonante (19) con un extremo abierto;
- en donde, la cavidad resonante (19) está provista de una entrada de láser (13) para introducir el láser generado por la unidad generadora de láser (10) en la cavidad resonante (19); la cavidad resonante (19) está provista además de una entrada de fluido (22) a través de la cual se inyecta fluido para formar la capa de confinamiento; y el extremo abierto de la cavidad resonante (19) contacta con la superficie de la capa protectora absorbente (6),
- 15 de modo que la capa de confinamiento esté restringida en un espacio interior de la cavidad resonante (19), en donde, la cavidad resonante (19) se procesa en una forma capaz de producir agregación de resonancia de ondas de choque, y
- en donde, la cavidad resonante (19) está provista además de una salida de fluido (5), en donde la altura de la salida de fluido (5) es menor que la de la entrada de fluido (22), y el fluido se inyecta a través de la entrada de fluido (22) y fluye a través de la salida de fluido (5) en un estado fluido.
- 20

2. El aparato de granallado por choque de láser de acuerdo con la reivindicación 1, en donde, el fluido es gas o líquido.

25 3. El aparato de granallado por choque de láser de acuerdo con la reivindicación 1, en donde, el extremo abierto de la cavidad resonante (19) tiene una forma redonda, cuadrada u oblonga, y la superficie interna de la cavidad resonante tiene una forma elipsoidal o paraboloidal.

30 4. Un método para fortalecer una superficie de una pieza de trabajo (4) usando el aparato de granallado por choque de láser de acuerdo con la reivindicación 1, 2 o 3, caracterizado por que el método comprende las siguientes etapas:

- etapa 1, aplicar la capa protectora absorbente (6) sobre la superficie de la pieza de trabajo (4) después de limpiar la pieza de trabajo (4);
- 35 etapa 2, hacer contactar el extremo abierto de la cavidad resonante (19) con la superficie de la capa protectora absorbente (6), e inyectar fluido en la cavidad resonante (19) a través de la entrada de fluido (22), y el fluido fluye a través de la salida de fluido (5) en un estado fluido;
- etapa 3, introducir el láser generado por la unidad generadora de láser (10) en la cavidad resonante (19) a través de la entrada de láser (13), y el láser irradia sobre la capa protectora absorbente (6) después de pasar a través del fluido, y luego se generan ondas de choque en la capa protectora absorbente (6),
- 40 en donde, las ondas de choque se propagan en un proceso de propagación A de la siguiente manera:
- una parte de las ondas de choque actúan sobre la pieza de trabajo (4) directamente para fortalecer la pieza de trabajo (4), por su parte, otra parte de las ondas de choque se propaga hacia una superficie interna de la cavidad resonante (19), y forma ondas de choque nuevamente después de reflejarse y converger por la
- 45 superficie interna de la cavidad resonante (19), y luego se repite el proceso de propagación A anterior;
- después de que el proceso de propagación A se repite varias veces, apagar la unidad generadora de láser (10); y
- 50 etapa 4, descargar la pieza de trabajo (4) y limpiar la capa protectora absorbente (6) que queda en la superficie de la pieza de trabajo (4).

5. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde, después de la etapa 3 y antes de la etapa 4, la etapa 3' se realiza como a continuación una o más veces:

55 etapa 3', cambiar una posición donde el extremo abierto de la cavidad resonante (19) contacta con la capa protectora absorbente (6), y luego se repite la etapa 3.

6. Un método para fortalecer las superficies de una pieza de trabajo (4) mediante el uso del aparato de granallado por choque de láser de acuerdo con la reivindicación 1, 2 o 3, **caracterizado por que** se utilizan dos aparatos de granallado por choque de láser para fortalecer una superficie superior y una superficie inferior de la pieza de trabajo (4) al mismo tiempo, y el proceso específico es el siguiente:

60

- etapa 1, preparar capas protectoras absorbentes (6) en la superficie superior y la superficie inferior de la pieza de trabajo (4) respectivamente después de limpiar la pieza de trabajo (4);
- 65 etapa 2, poner en contacto los extremos abiertos de dos cavidades resonantes (19) de los dos aparatos de granallado por choque de láser con las capas protectoras absorbentes (6) en la superficie superior y la superficie inferior, y luego inyectar fluido en las cavidades resonantes (19) a través de las entradas de fluido (22)

respectivamente, y el fluido fluye a través de la salida de fluido (5) respectivamente en un estado fluido;
 etapa 3, introducir láseres generados por unidades generadoras de láser (10) de los dos aparatos de granallado por choque de láser en las cavidades resonantes (19) a través de dos entradas de láser (13) respectivamente, y los láseres irradian en las capas protectoras absorbentes (6) después de pasar a través del fluido, y luego se generan ondas de choque, en donde, las ondas de choque se propagan en un proceso de propagación A de la siguiente manera:

una parte de las ondas de choque actúan sobre la pieza de trabajo (4) directamente para fortalecer la pieza de trabajo (4), por su parte, otra parte de las ondas de choque se propaga hacia las superficies internas de las cavidades resonantes (19) y forma ondas de choque nuevamente después de reflejarse y converger por las superficies internas de las cavidades resonantes (19),
 y luego se repite el proceso de propagación A anterior;
 después de que el proceso de propagación A se repite varias veces, apagar las unidades generadoras de láser (10); y
 etapa 4, descargar la pieza de trabajo (4) y limpiar las capas protectoras absorbentes (6) que quedan en las superficies de la pieza de trabajo (4).

7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, en donde, después de la etapa 3 y antes de la etapa 4, la etapa 3' se realiza como a continuación una o más veces:

etapa 3', cambiar las posiciones donde los extremos abiertos de las cavidades resonantes (19) contactan con las capas protectoras absorbentes (6) en la superficie superior y la superficie inferior respectivamente, y luego repetir la etapa 3.

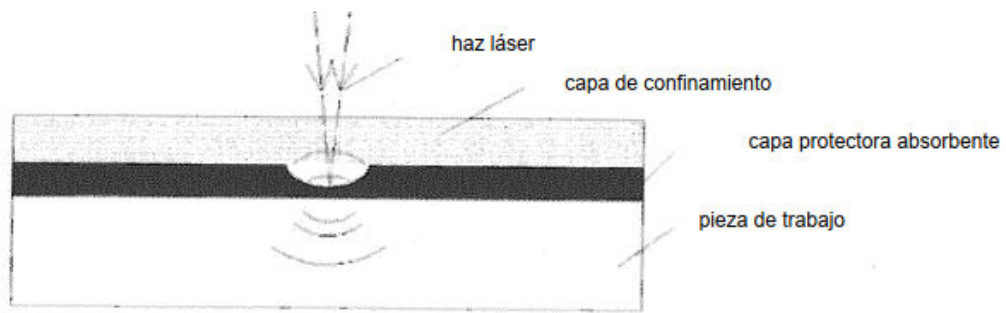


Fig. 1

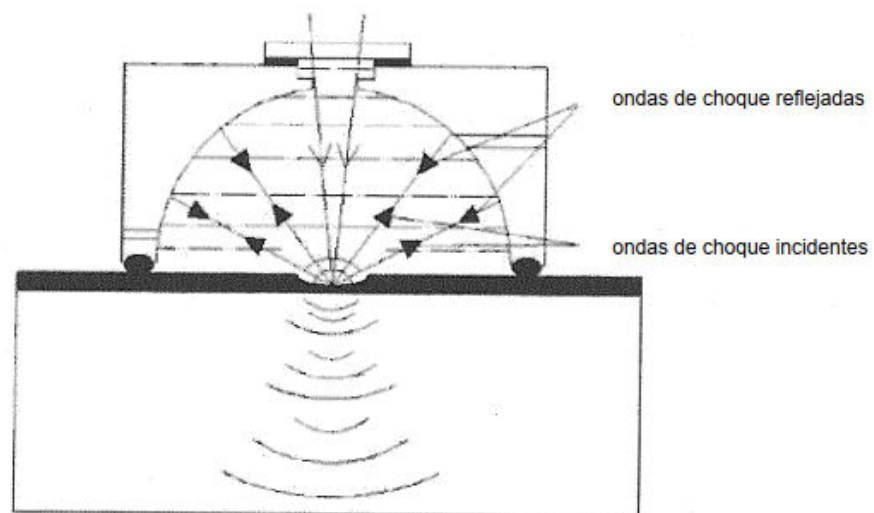


Fig. 2

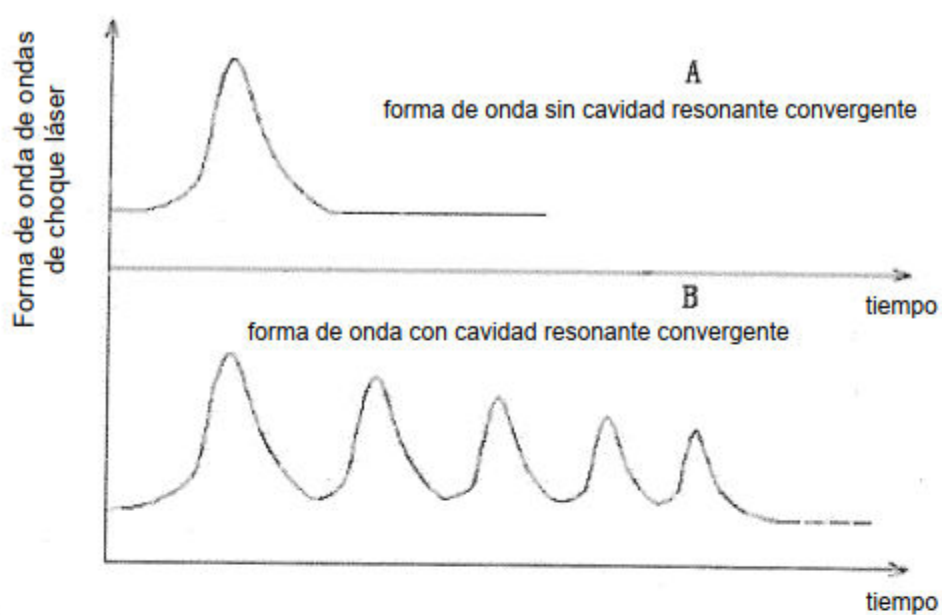


Fig. 3

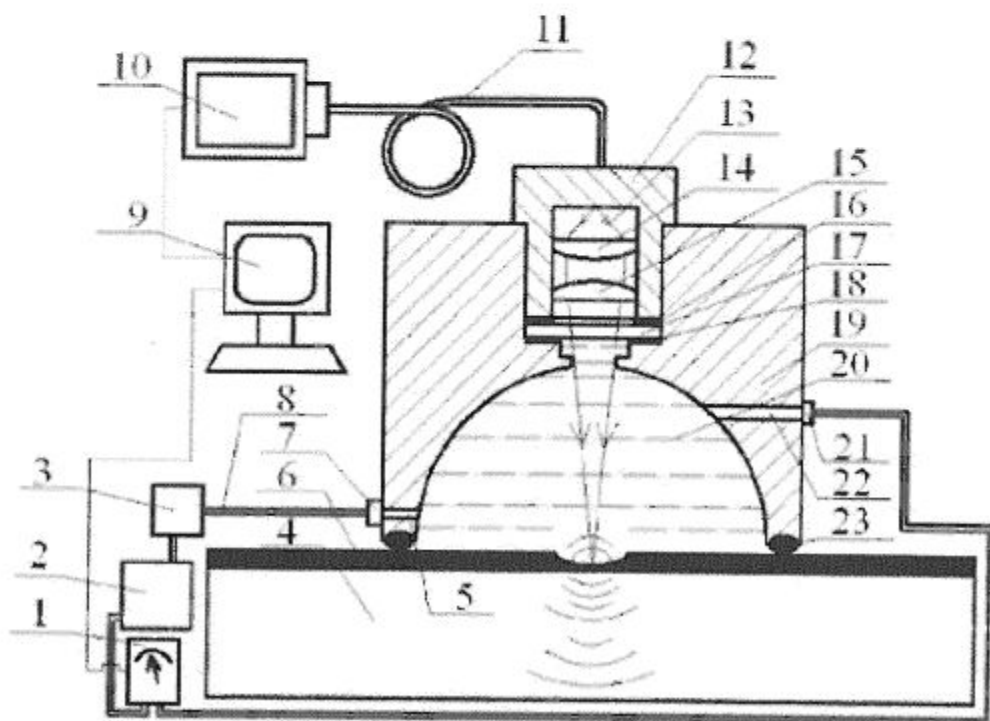


Fig. 4

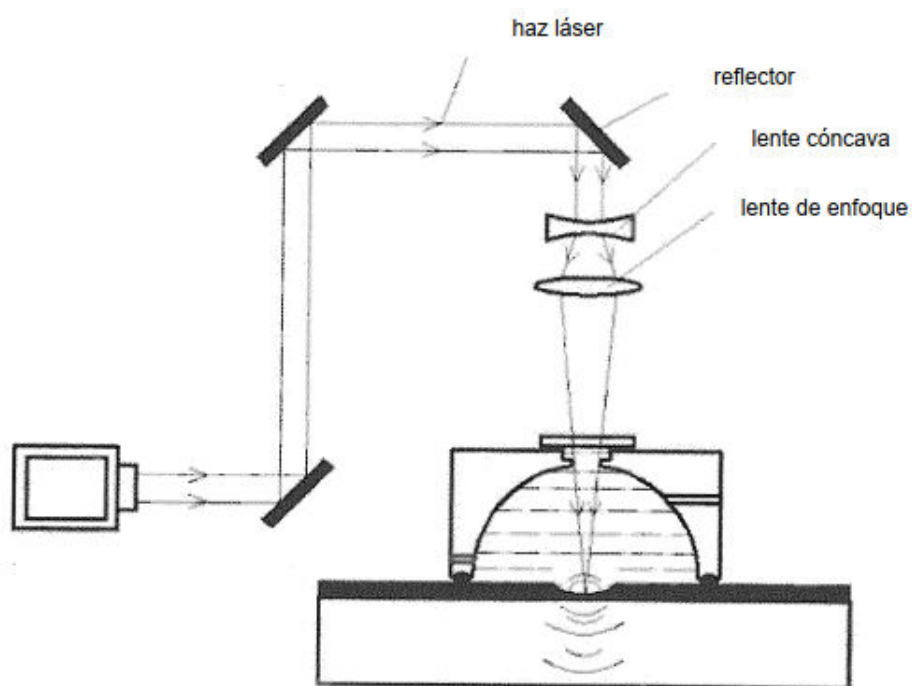


Fig. 5

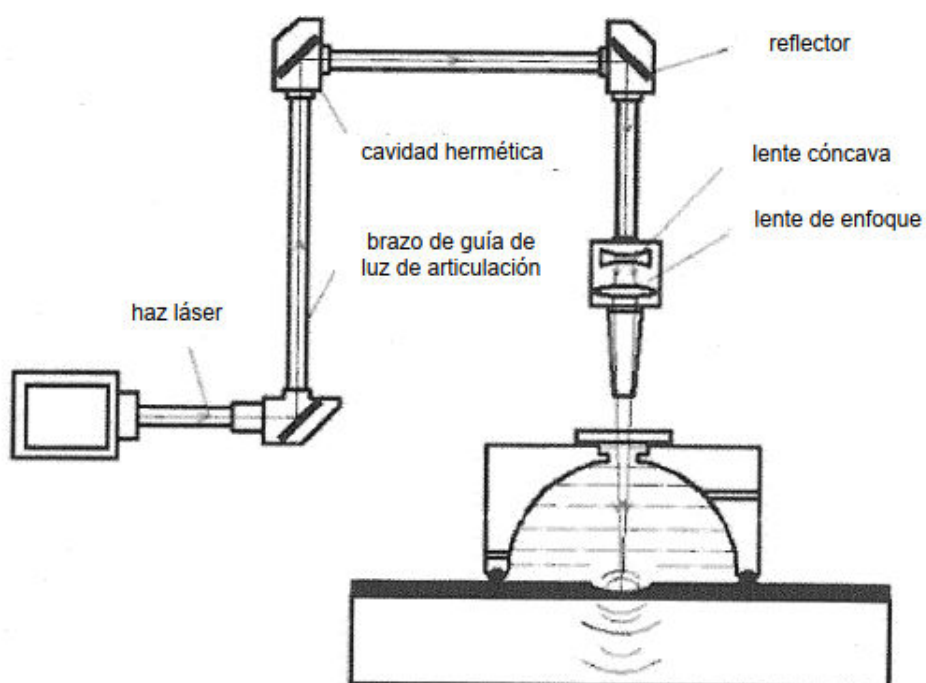


Fig. 6

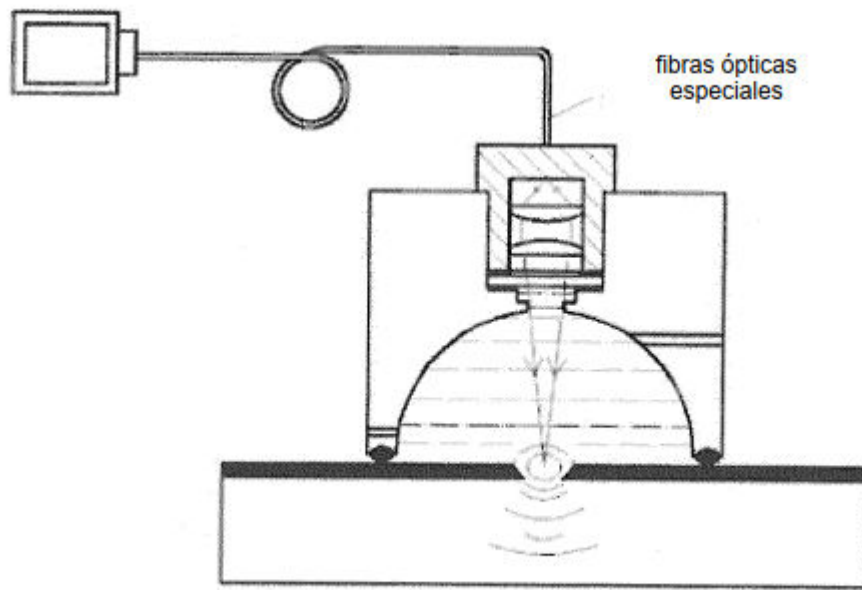


Fig. 7

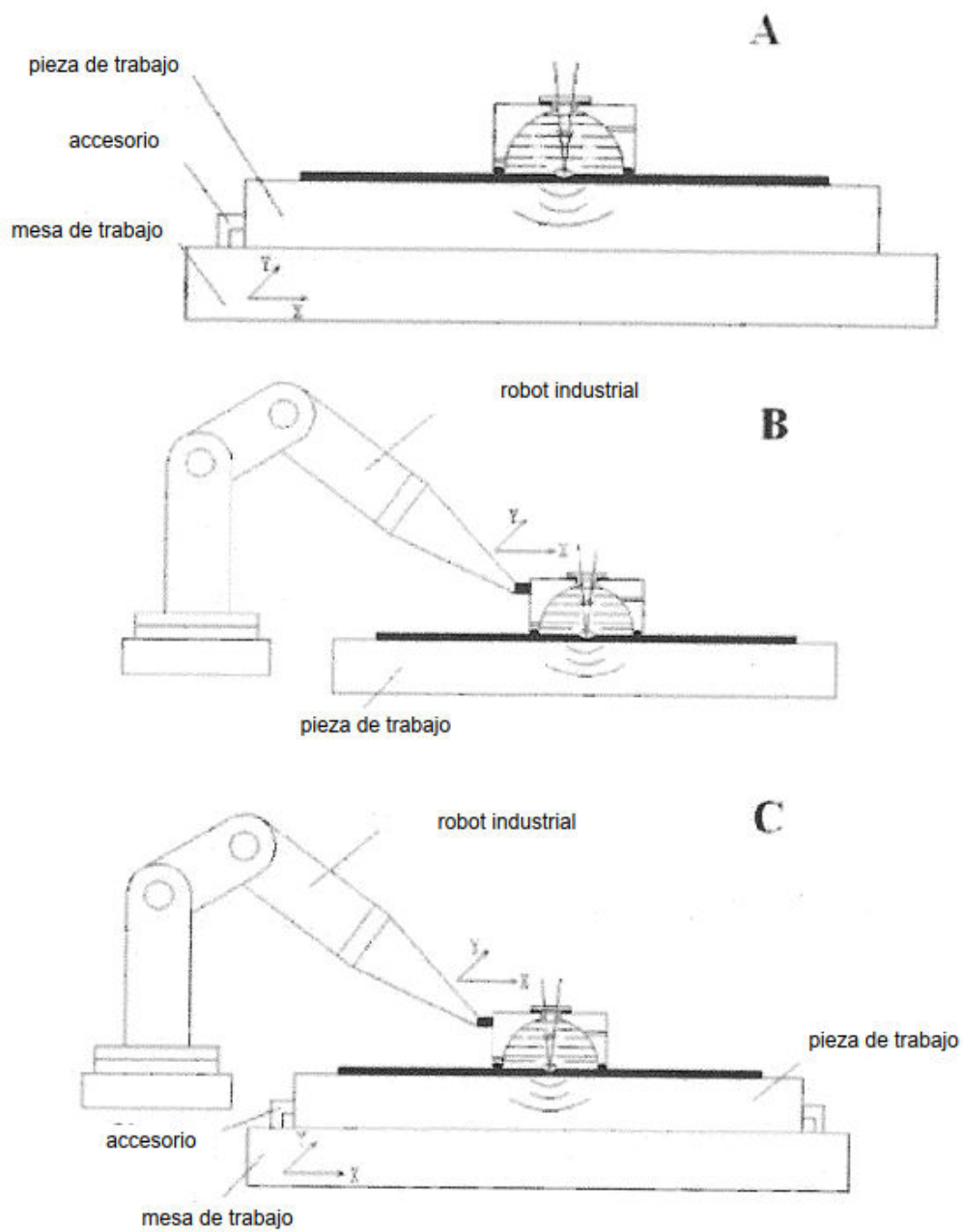


Fig. 8

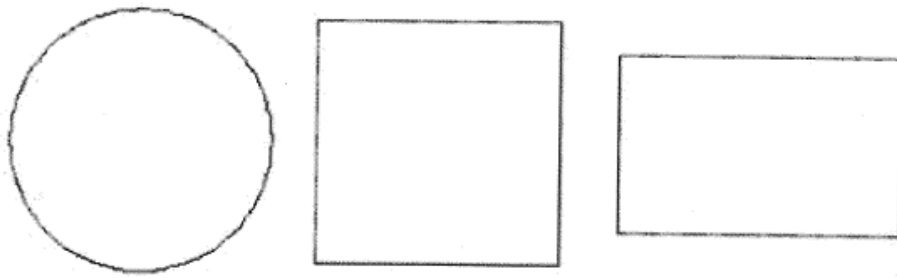


Fig. 9

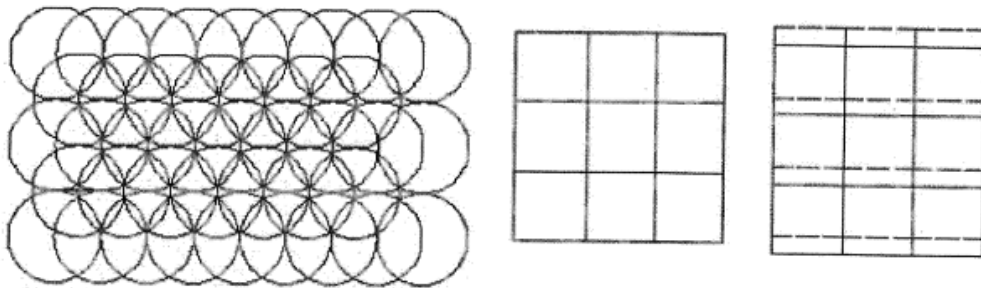


Fig. 10

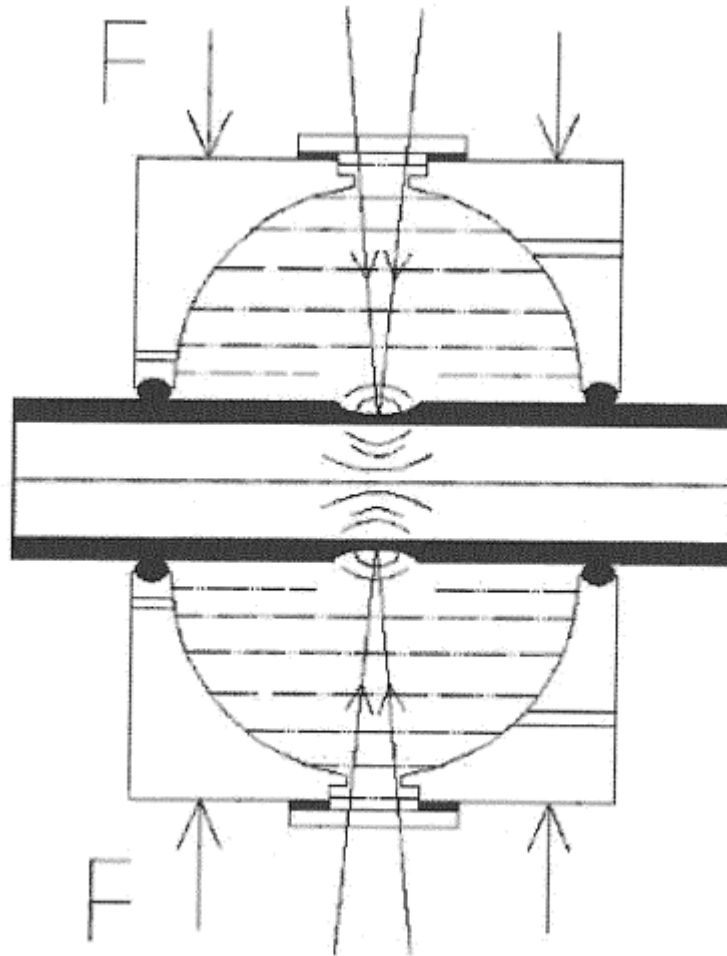


Fig. 11

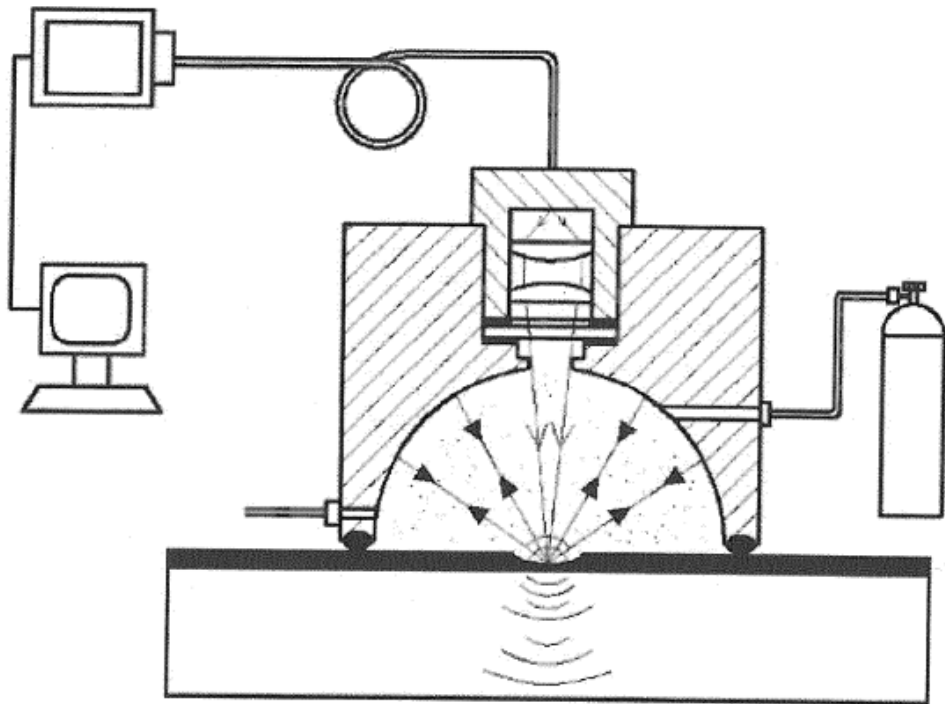


Fig. 12