



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 356 461**

51 Int. Cl.:
C21D 10/00 (2006.01)
B21D 11/20 (2006.01)
B21D 26/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05021795 .9**
96 Fecha de presentación : **26.06.2000**
97 Número de publicación de la solicitud: **1627929**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.02.2006**

54 Título: **Conformado de metales por granallado láser.**

30 Prioridad: **19.07.1999 US 144594 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
08.04.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
08.04.2011

73 Titular/es:
The Regents of the University of California
1111 Franklin Street
Oakland, California 94607-5200, US

72 Inventor/es: **Hackel, Lloyd y**
Harris, Fritz

74 Agente: **García-Cabrerizo y del Santo, Pedro María**

ES 2 356 461 T3

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

DESCRIPCION

conformado de metales por granallado láser.

Esta solicitud reivindica la prioridad sobre la Solicitud de Patente Provisional N° de Serie 60/144.594, titulada "Contour Forming Of Metals By Means of Laser Peening", presentada el 19 de julio de 1999.

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCIONCampo de la invención

La presente invención se refiere al procesamiento por choques de láser, y más específicamente, se refiere a sistemas para el curvado de metales mediante granallado por láser.

Descripción de las técnicas relacionadas

10 El uso de láseres de elevada potencia para mejorar las propiedades de los materiales es una de las aplicaciones industriales más importantes de los láseres. Los láseres pueden transmitir haces controlables de radiación de alta energía para el trabajo de los metales. Ante todo, puede generar una densidad de potencia elevada que se localiza y se puede controlar sobre un área pequeña. Esto permite una eficacia en los costes y un uso
15 eficiente de la energía, minimiza las distorsiones en las áreas que la rodean y simplifica el manejo del material. Dado que el pulso láser involucra la aplicación de alta potencia en cortos intervalos de tiempo, el proceso se puede adaptar para la fabricación a elevadas velocidades. El hecho de que se puede controlar el haz permite que se procesen piezas que tengan formas complejas. También son inherentes al sistema la precisión, consistencia y repetibilidad.

20 La mejora de la fortaleza de los metales mediante el trabajo en frío fue sin duda un descubrimiento desde los albores de la civilización, ya el hombre antiguo martilleaba sus armas y herramientas. Desde la década de 1950, se ha usado el granallado como un medio para mejorar las propiedades de los metales frente a la fatiga. Otro método de procesamiento por choque involucra el uso de materiales altamente explosivos en contacto con la superficie del metal.

25 El uso de la producción de láser de elevada intensidad para la generación de ondas de choque mecánicas para tratar la superficie de los metales se ha conocido bien desde la década de 1970. El proceso de choque por láser se puede usar para generar tensiones de compresión en las superficies metálicas añadiendo fortaleza y resistencia ante el fallo por corrosión.

30 Los láseres con producciones de pulsos de 10 a 100 J y duraciones de pulsos desde 10 a 100 ns son útiles para la generación de plasmas confinados por inercia sobre las superficies de los metales. Estos plasmas crean presiones en el intervalo de 10.000 a 100.000 atmósferas y la presión de choque resultante puede superar el límite elástico del metal y por ello forzar comprensivamente una capa superficial a una profundidad de 1 mm o más profunda en los metales. Actualmente se llega a disponer de láseres con una producción de potencia media significativa para su uso en la técnica a una cadencia apropiada para producción industrial.

35 En el proceso del procesamiento por choques de láser, la superficie metálica a tratar se pinta o se "ennegrece" por otros medios, es decir, altamente absorbente de la luz láser. La capa negra actúa tanto como un absorbente de la energía láser como un protector de la superficie de la pieza frente a la ablación por láser y a la fusión debida a la elevada temperatura del plasma. Se hace fluir una delgada capa de agua, típicamente de 1 a 2 mm, sobre esta superficie negra. El agua actúa para confinar inercialmente o, tal como se denomina, consolidar el plasma generado cuando la energía láser se absorbe en el corto tiempo de duración del pulso, típicamente 30 ns.
40 Son posibles otros materiales adecuados que actúen como un consolidante. Una limitación a la utilidad del proceso es la capacidad para suministrar la energía láser a la superficie metálica en un haz espacialmente uniforme. Si no es uniforme, el área de luz de intensidad más elevada puede producir una rotura en el agua que bloquee significativamente el suministro de energía a la superficie metálica pintada. Una técnica convencional para suministrar la luz láser a la superficie es usar una lente simple para condensar la producción de láser hasta una
45 densidad de potencia de aproximadamente 100 J a 200 J por centímetro cuadrado. Esta técnica de condensación tiene la limitación de que no se obtiene una verdadera "imagen" del perfil de intensidad de láser de campo próximo en la superficie. Por el contrario se genera una intensidad de campo que representa algo intermedio entre los campos próximos y lejanos. La difracción del haz láser cuando se enfoca sobre la superficie da como resultado una modulación espacial muy fuerte y puntos calientes.

50 Cualquier aberración de fase generada dentro del haz, especialmente las asociadas con el funcionamiento del láser por la elevada potencia media, se pueden propagar y generar áreas de más elevada intensidad dentro del haz. Estas regiones de alto pico de intensidad producen la rotura en la capa de agua, impidiendo la entrega eficiente de la energía del láser a la superficie a tratar. Otra causa potencial de rotura en el material de consolidación es la generación de efectos no lineales tales como la rotura óptica y la dispersión estimulada. En una generación normal de un pulso de 10 ns a 100 ns dentro de un láser, la producción se acumula lentamente en un periodo de tiempo que
55 excede varios anchos de pulso. Esa lenta, débil intensidad ayuda a generar los procesos no lineales que requieren tiempos de acumulación de decenas de nanosegundos. En técnicas convencionales, la producción del pulso láser se "trocea" mediante medios externos tales como un conmutador electro óptico de rápida subida o mediante una lámina explosiva. Estas técnicas pueden ser caras y limitar la fiabilidad.

60 Una aplicación controlada del esfuerzo de compresión aplicado a un lado de una superficie metálica hará que la superficie se extienda de una manera predecible y por ello puede curvar el metal de una forma altamente controlable. Tras el curvado, la superficie convexa se mantiene con una tensión de compresión residual que es altamente deseable para la resistencia a la fatiga y la corrosión de la pieza en el funcionamiento. La técnica de inducir esta tensión de compresión por medio del granallado por golpeo es bien conocida y de uso general. Sin
65 embargo, el granallado por golpeo está limitado en la profundidad de la tensión intensa de compresión que se puede

inducir sin generar trabajado en frío significativo y no deseable de la capa superficial. Debido a la forma esférica requerida del golpeador usado para el granallado, el proceso imparte un perfil de presión no uniforme con respecto al tiempo al metal durante cada impacto individual del golpeador. La presión se inicia en el primer punto de contacto de la esfera y entonces se extiende a través del área de impacto según se deforman los metales y toda la sección transversal del golpeador entra en contacto con el metal. Esta aplicación no uniforme de la presión da como resultado una extrusión local del metal, un flujo de metal desde el centro hacia el área exterior de la zona de impacto. Consecuentemente, se realiza más trabajo en frío sobre el metal según se extrude el material debido al acuñamiento de la presión creada por el impacto del golpeador.

La Patente de Estados Unidos N° 4.694.672, titulada "Method And Apparatus For Imparting A Simple Contour To A Workpiece", está indicada para un método y un aparato convencionales para impartir un curvado simple a un revestimiento de aeronaves. Una cámara de tratamiento tiene un transportador con una pieza a trabajar fijada a él que incluye una unidad de chorreado para granallado por golpeo para el tratamiento de la pieza. Se proporciona un sistema de control para la orientación de la pieza y de la unidad de chorreado de modo que se realice el granallado sólo en tiras estrechas en el sentido de la envergadura y solamente en líneas de porcentaje de cuerda común de la pieza trabajada. Este método y aparato crea por ello una curvatura simple en el sentido de la cuerda del ala a la pieza mientras se minimizan los efectos de curvatura compuestos. Véase también la Patente de Estados Unidos N° de Patente 3.668.912.

En la Patente de Estados Unidos N° 4.329.862, titulada "Shot Peen Forming Of Compounds Contours", una pieza de hoja metálica plana se granalla de modo convencional en ambos lados. La pieza se granalla en un lado con una intensidad programada que varía según un patrón para ajustar la pieza a una curvatura en el sentido de la cuerda de ala y que la pieza tome una curvatura compuesta de una superficie de ala de aeronave.

La Patente de Estados Unidos N° 5.742.028 describe un método para el granallado láser de una pieza de un motor de turbina de gas mediante la carga del artículo mientras que se granalla por láser. La Patente de Estados Unidos N° 5.674.329 describe un método para el granallado por láser de una pieza metálica mediante la incidencia de un láser sobre una superficie de granallado por láser de la pieza que se ha cubierto en forma adhesiva con una cinta que tiene un medio de recorte mientras fluye una cortina de agua sobre la superficie sobre la que incide el haz láser.

Sería deseable un sistema láser que pudiera obtener una tensión intensa mucho más profunda en la pieza y así efectuar una curvatura mayor de piezas más gruesas. Sería deseable adicionalmente que el sistema láser pudiera generar un trabajo en frío despreciable y pudiera de ese modo dejar un acabado superficial muy suave.

SUMARIO DE LA INVENCION

Es un objeto de la presente invención proporcionar un sistema de granallado láser que pueda obtener una tensión intensa mucho más profundamente en la pieza y de ese modo efectuar mayores curvaturas de secciones metálicas más gruesas.

La invención es un aparato para la formación de formas y curvados en secciones metálicas mediante la generación de una tensión de compresión inducida por el láser sobre la superficie de la pieza de metal trabajada. El aparato láser puede generar tensiones de compresión profundas para conformar incluso componentes gruesos sin inducir tensiones de extensión indeseadas en la superficie metálica. La precisión de la tensión inducida por láser permite la predicción exacta y el posterior curvado de las piezas.

En la presente invención, se proyecta un haz de luz de 10 a 100 J/pulso para crear una fluencia de energía de 60 a 200 J/cm² sobre una capa de absorción aplicada sobre una superficie metálica. Típicamente, se hace circular agua sobre la capa absorbente. Esta absorción de la luz láser hace que se forme un plasma y en consecuencia se cree una onda de choque que induce una tensión de compresión residual profunda en el metal. El metal responde a esta tensión residual doblándose.

Es un concepto bien conocido el uso de medios mecánicos para curvar componentes metálicos delgados. El concepto de usar un láser para generar ondas de choque que induzcan una tensión de compresión en los metales se practica ampliamente para la mejora de la resistencia de los componentes metálicos al agrietamiento por fatiga y a la corrosión. La presente invención aplica un choque inducido por láser a un lado de una pieza metálica para producir una curvatura local precisa. Mediante la aplicación del choque de modo más general sobre un área más grande, o múltiples veces sobre la misma área, se consiguen curvaturas de mayor escala. Esta invención emplea un láser de alta energía, alta potencia media, ajustado para funcionar con parámetros específicos para conseguir la forma precisa de los componentes. Este aparato de formación por granallado láser es especialmente útil para grosores mayores de 1,9 cm (3/4 de pulgada) de grosor de material que es muy difícil de conformar o curvar.

El metal se cubre con una capa de material que absorbe la luz láser. Se hace circular una delgada capa de agua sobre el material absorbente e iluminado por el láser. Mediante la aplicación secuencial de pulsos láser en la forma de una exploración en retícula, se induce una tensión sobre la superficie iluminada. La tensión genera a su vez un alargamiento de la capa superior del metal y produce una curvatura del material. La intensidad y profundidad de la tensión de compresión aplicada a cada área local se puede controlar mediante la selección de la energía del láser, la huella y solape del láser, la duración del pulso y el número de pulsos aplicados a cada área. La pieza se puede curvar con precisión sobre su área más grande mediante la aplicación de modo sistemático de impulsos locales de tensión sobre ella. Se puede conseguir un control adicional de estas curvaturas mediante la densidad específica en la que se aplican los pulsos sobre la superficie que se hace convexa, y mediante la aplicación de pulsos de compensación sobre la superficie que se hace cóncava y aprovechándose del aumento del momento de inercia mecánico generado dentro de la pieza según cambia el componente hacia una forma curvada.

El aparato de granallado por láser se puede usar también para enderezar componentes que tengan una curvatura no deseada. Un ejemplo importante incluye los ejes de accionamiento mecánico que pueden adquirir un doblado no deseado como resultado del mecanizado, tratamiento térmico, endurecimiento u otros procesos de

fabricación. Mediante la aplicación de modo selectivo de tensiones de compresión al lado cóncavo de la curvatura no deseada, se puede enderezar de modo sistemático una pieza.

A diferencia del granallado por golpeo, el perfil de intensidad del láser altamente uniforme (cuando se usa un haz recortado con un perfil superior plano y se proyecta este perfil sobre la pieza) impacta el metal de forma uniforme sobre el área de impacto completa dando como resultado una fuerza "contundente" que produce poca extrusión del metal y poco trabajo en frío. Este aparato de formación por granallado láser puede producir un mayor volumen de metal tensionado con poco trabajo en frío. Se pueden imprimir curvaturas relativamente grandes en secciones metálicas gruesas sin distorsionar severamente la superficie metálica.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Las técnicas para granallado por láser se describen en la Solicitud de Patente de Estados Unidos pendiente junto con la presente N° de Serie 09/133.590, titulada "Laser Beam Temporal And Spatial Tailoring For Laser Shock Processing". La tecnología láser utilizable en la presente invención se describe en la Patente de Estados Unidos N° 5.285.310 titulada "High Power Regenerative Laser Amplifier", y en la Patente de Estados Unidos N° 5.239.408 titulada "High Power, High Beam Quality Regenerative Amplifier". Realizaciones de sistemas de láser utilizables en la presente invención se describen en la Patente de Estados Unidos N° 5.689.363 titulada "Laser Pulse Width, Narrow-Bandwidth Solid State Laser".

El aparato para la creación de formas y curvados en secciones metálicas involucra el uso de una tensión de compresión inducida por láser generada sobre la superficie del metal. El aparato láser puede generar tensiones de compresión profundas que ayudan grandemente a generar la forma de componentes gruesos sin inducir tensiones de extensión no deseadas en la superficie metálica. La precisión de la tensión inducida por láser permite una predicción exacta y el consiguiente curvado de las piezas.

La formación y conformación de precisión de los componentes metálicos sin inducir tensiones de extensión no deseables tiene usos importantes en DOD y aplicaciones comerciales, especialmente en componentes de aviación y aeroespaciales. La capacidad para formar secciones metálicas de 1,9 a 2,54 cm (3/4 de pulgada a 1 pulgada) o más gruesos revolucionará el modo en que se conforman estas secciones gruesas para componentes de aviones tales como los revestimientos de alas. Este aparato hará posible conformar piezas que de otra forma no podrían formarse.

Tal como se requiere, se describen en el presente documento realizaciones detalladas de la presente invención. Sin embargo, se ha de entender que la descripción de las realizaciones es meramente de ejemplo de la presente invención que puede realizarse en varios sistemas. Por lo tanto, los detalles específicos descritos en el presente documento no se han de interpretar como limitadores, sino por el contrario como una base para las reivindicaciones y como una base representativa para enseñar a alguien experto en la materia a practicar de modo variable la presente invención.

Es un concepto bien conocido el uso de medios mecánicos, como un martillo de granallado o, más recientemente, la técnica de granallado por golpeo para curvar y conformar estos componentes metálicos. Se "martillea" tensiones de compresión en el metal y posteriormente el metal se expande en un lado para aliviar esta tensión. La expansión diferencial hace que la superficie metálica se curve. El concepto del uso de un láser para generar ondas de choque que induzcan una tensión de compresión en metales es bien conocido y se ha convertido claramente en ampliamente practicado para la mejora de la resistencia de componentes metálicos frente al agrietamiento por fatiga y la corrosión.

Mediante la apropiada aplicación del choque inducido por láser a un lado del metal se puede conseguir una curvatura local precisa y mediante la aplicación del choque de modo más general sobre un área más grande se puede conseguir una curvatura de mayor escala. Esta invención emplea un láser de alta energía, alta potencia media, ajustado para funcionar con parámetros específicos para conseguir la forma precisa de los componentes. Este aparato de formación por granallado láser es especialmente útil sobre grosores mayores de 1,9 cm (3/4 de pulgada) de grosor del material que es difícil de conformar o curvar. En una placa metálica plana tras la aplicación del granallado láser a su superficie superior, la placa metálica alcanza una curvatura deseada.

El sistema de la presente invención, usa 25 J por pulso láser (25 J a 100 J por pulso es el intervalo apropiado), con una duración del pulso de 10 a 20 ns y un flanco de elevación de menos de 1 ns. El campo cercano es una de imagen proyectada hasta un tamaño de punto (en el intervalo de 6 mm x 6 mm a 3 mm x 3 mm) dando una fluencia de energía de 60 a 200 J/cm² en la superficie metálica. El metal se cubre con una capa de material (típicamente un plástico de acetato de polivinilo de aproximadamente 200 μm de grosor) que absorbe la luz láser. Una capa de consolidación, típicamente una delgada capa de agua desde una tobera de flujo de 1 mm de grosor aproximadamente se hace fluir típicamente sobre el material absorbente y se ilumina por el haz láser. La aplicación de modo secuencial de pulsos láser en la forma de escaneado en retícula, inducirán tensiones de compresión sobre la superficie iluminada. El haz láser o el componente metálico se puede mover para conseguir el patrón de reticulado. La tensión generará a su vez un alargamiento de la capa superior del metal y generará la curvatura al material. La intensidad y profundidad de la tensión de compresión aplicada a cada área local se puede controlar mediante la selección de la energía del láser, la huella y solape del pulso láser, la duración del pulso y el número de pulsos aplicados a cada área. Se puede conseguir la curvatura bidimensional mediante el control de modo selectivo del área de granallado y la intensidad de los pulsos en cada dirección de coordenadas. Adicionalmente, la deformación en cualquier dirección deseada se puede mejorar mediante la inducción de modo mecánico de un momento de curvado (aunque por debajo del límite de elasticidad del metal) en esa dirección durante la aplicación de los pulsos de formación por granallado láser.

Debido a que la tensión aplicada localmente generará directamente la curvatura local, la pieza se puede curvar con precisión sobre su área más grande mediante la aplicación de modo sistemático de impulsos de tensión local sobre el área grande. En una superficie metálica, se produce el perfil de intensidad en "sombrero de copa" de

5 un pulso individual dirigido sobre la superficie metálica y el alargamiento y tensión correspondiente en el metal después del granallado. En una superficie metálica se produce el perfil de intensidad en “sombbrero de copa” de múltiples pulsos reticulados con precisión espaciados para producir alargamiento por granallado uniforme. La figura muestra el alargamiento uniforme y el patrón de tensión correspondiente en el metal tras el granallado con el haz de reticulado. El solape con precisión de múltiples perfiles de pulsos combinado con el perfil rectangular del haz láser y el perfil de intensidad uniforme de sombrero de copa produce un suave acabado superficial tras la formación por granallado.

10 Se puede usar una disposición óptica para crear la imagen del campo próximo sobre la capa de ablación. El campo cercano se expande en lente negativa, se colima por una primera lente positiva y se crea la imagen con lente positiva sobre la capa de ablación sobre la pieza metálica. La imagen del campo próximo del haz láser sobre la capa absorbente produce un perfil de intensidad uniforme e impide que la distorsión de fase produzca puntos de intensidad calientes.

15 De modo análogo, para conseguir las formas deseadas en un metal nominalmente plano, el aparato de granallado láser se puede usar para enderezar con precisión componentes con una curvatura no deseada. Un importante ejemplo incluye ejes de accionamiento mecánicos que pueden adquirir un doblado no deseado como resultado de la mecanización, tratamiento térmico, endurecimiento u otros procesos de fabricación. Mediante la aplicación de modo selectivo de tensiones de compresión al lado cóncavo de la curvatura no deseada, se puede enderezar sistemáticamente una pieza. Una curvatura deseada en un eje de accionamiento se elimina mediante la conformación por granallado sobre el lado corto del eje de accionamiento. El eje de accionamiento se provee de una capa de absorción/ablación y una capa de consolidación. Se aplica un haz láser al lado corto del eje y el eje se endereza cuando se aplican múltiples pulsos.

25 Se consigue una curvatura predominantemente unidimensional mediante la colocación de densas filas de área doblemente granallada sobre una superficie con grandes espacios intermedios. La naturaleza unidimensional del granallado da como resultado una curvatura en una dimensión. Se puede enderezar adicionalmente un panel en la dimensión y mediante el granallado densamente a lo largo de la dimensión ortogonal con y sobre el reverso o lado cóncavo de la sección curvada. Finalmente se reconoce que el momento de inercia mecánico o rigidez sobre el eje que contiene la curvatura (eje x en nuestro ejemplo) aumenta cuando se curva la pieza. Mediante la aplicación de las dos técnicas comentadas anteriormente, el momento de inercia incrementado ayuda a la creación de la preferencia por una curvatura en una dimensión. El patrón de granallado inicial se aplica simétrica y uniformemente a la pieza de modo que se desarrollan la curvatura y los momentos de inercia en una forma simétrica.

30 La descripción precedente de la invención se ha presentado con propósitos de ilustración y descripción y no pretende ser exhaustiva o limitar la invención a la forma precisa descrita. Son posibles muchas modificaciones y variaciones a la luz de las enseñanzas precedentes. Las realizaciones se eligieron y describieron para explicar mejor los principios de la invención y su aplicación práctica para de ese modo permitir a otros expertos en la materia el mejor uso de la invención en varias realizaciones y con varias modificaciones adecuadas al uso particular contemplado. El alcance de la invención se ha de definir por las reivindicaciones a continuación.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un sistema para la creación de formas y curvados en una pieza a trabajar que comprende un sistema láser que es capaz de producir una serie de pulsos láser, en el que cada pulso láser de dicha serie de pulsos láser tiene una energía dentro de un intervalo de 10 J a 100 J por pulso, en el que cada uno de dichos pulsos láser tiene una duración de pulso dentro de un intervalo de 10 ns a 20 ns y un flanco de elevación que es menor que 1 ns; una capa de material que absorbe la luz que se coloca de modo fijado a una pieza de metálica a trabajar; medios para hacer circular una delgada capa de agua sobre dicha capa de material; **caracterizado por:**
- 10 un medio para la creación de imagen de campo próximo de cada uno de dichos pulsos láser hasta un tamaño de puntos sobre dicha capa de material de modo que dicha serie de pulsos láser generará tensiones de compresión sin tensiones de extensión sobre la superficie de dicha pieza a trabajar metálica para crear una forma en ella.
- 15 2. El sistema de la reivindicación 1, en el que dichos medios para la creación de imagen de campo próximo de cada uno de dichos pulsos láser crea una imagen de cada uno de dichos pulsos láser hasta un tamaño de punto para proporcionar una afluencia de energía de entre 60 y 200 J/cm² en la superficie de dicha pieza metálica a trabajar.
3. El sistema de la reivindicación 1, en el que cada capa de material es de aproximadamente de 200 μm de grosor.
4. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicho medio para hacer fluir la capa de agua hace fluir una capa de agua de aproximadamente 1 mm de grosor.
- 20 5. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además medios para la aplicación de modo secuencial de pulsos en un modo de escaneado en retícula sobre la superficie de dicha pieza metálica a trabajar, en el que se inducirá una tensión de compresión sobre la superficie iluminada, en el que dicha tensión de compresión generará a su vez un alargamiento de la capa superior de dicha pieza metálica a trabajar y producirá una curvatura en dicha pieza metálica a trabajar.
- 25 6. El sistema de la reivindicación 1, en el que la capa de material comprende plástico de acetato de polivinilo o de cloruro de polivinilo.