

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 389 013**

51 Int. Cl.:
C21D 10/00 (2006.01)
B21D 11/20 (2006.01)
B23K 26/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **03714066 .2**
96 Fecha de presentación: **11.03.2003**
97 Número de publicación de la solicitud: **1483418**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **08.12.2004**

54 Título: **Precarga de componentes durante el granallado por láser**

30 Prioridad:
11.03.2002 US 95822

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
22.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
22.10.2012

73 Titular/es:
**LAWRENCE LIVERMORE NATIONAL SECURITY,
LLC (100.0%)
2300 First Street, Suite 204
Livermore, CA 94550 , US**

72 Inventor/es:
**HACKEL, LLOYD, A.;
HALPIN, JOHN, M. y
HARRIS, FRITZ, B.**

74 Agente/Representante:
GARCÍA-CABRERIZO Y DEL SANTO, Pedro

ES 2 389 013 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

Precarga de componentes durante el granallado por láser

5 **Antecedentes de la invención****Campo de la invención**

10 La presente invención se refiere al procesamiento por impacto de láser, y más específicamente, se refiere a técnicas para contornear metales mediante granallado por láser.

Descripción de la técnica relacionada

15 El uso de láseres de alta 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 trabajar los metales. Principalmente, el láser puede generar una densidad de alta potencia que se localiza y se puede controlar sobre un área pequeña. Esto permite un uso de la energía rentable y eficiente, minimiza las distorsiones en las áreas circundantes y simplifica el manejo del material. Puesto que el pulso de láser implica la aplicación de alta potencia en cortos intervalos de tiempo, el proceso se puede adaptar para la fabricación a alta velocidad. El hecho de que el haz pueda controlarse permite procesar piezas que tengan formas complejas. También son inherentes al sistema la precisión, la consistencia y la repetibilidad.

25 La mejora de la fortaleza de los metales mediante el trabajo en frío se descubrió sin duda en los albores de la civilización, cuando el hombre antiguo forjaba sus armas y herramientas. Desde la década de 1950, se ha usado el granallado por disparo como un medio para mejorar las propiedades frente a la fatiga de los metales. Otro método de procesamiento por impacto implica el uso de materiales altamente explosivos en contacto con la superficie del metal.

30 El uso de salidas de láser de alta intensidad para la generación de ondas de choque mecánicas para tratar las superficies de los metales se ha conocido bien desde la década de 1970. El proceso por impacto de láser puede usarse para generar esfuerzos de compresión en las superficies del metal, añadiendo fortaleza y resistencia ante el fallo por corrosión.

35 Los láseres con salidas de pulso de 10 a 100 J y duraciones de pulso de 10 a 100 ns son útiles para generar 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 impacto resultante puede superar el límite elástico del metal y, por lo tanto, tensar por compresión una capa superficial tan profunda o más profunda que 1 mm en los metales. Actualmente se empieza a disponer de láseres con unas salidas de potencia media significativa para su uso en la técnica a un ritmo apropiado para la producción industrial.

40 En el proceso de procesamiento por impacto de láser, una superficie del metal que ha de tratarse se pinta o se hace, de otro modo, "negra", 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 frente a la fusión debida a la alta temperatura del plasma. Se hace fluir una fina capa de agua, habitualmente de 1 a 2 mm, a lo largo de esta superficie negra. El agua actúa para confinar por inercia o, como se denomina, comprimir el plasma generado a medida que se absorbe la energía láser en el corto tiempo de duración del pulso, habitualmente 30 ns. También son posibles otros materiales adecuados que actúan como un compresor. Una limitación a la utilidad del proceso es la capacidad para suministrar la energía láser a la superficie del metal en un haz espacialmente uniforme. Si no es uniforme, el área de máxima intensidad de la luz puede provocar una rotura en el agua que bloquee el suministro de energía significativa a la superficie del metal pintada. Una técnica convencional para suministrar la luz láser a la superficie es usar una lente simple para condensar la salida de láser a una 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 "imagen" verdadera del perfil de intensidad de campo cercano del láser en la superficie. Más bien, se genera una intensidad de campo que representa algo intermedio entre los campos cercano y lejano. La difracción del haz láser cuando se enfoca hacia abajo sobre la superficie da como resultado una modulación espacial muy fuerte y puntos calientes.

60 Cualquiera de las aberraciones de fase generadas dentro del haz, especialmente aquellas asociadas con el funcionamiento del láser para una alta potencia media, se pueden propagar para generar áreas de mayor intensidad dentro del haz. Estas zonas de pico alto de intensidad provocan la rotura en la capa de agua, evitando el suministro eficiente de la energía láser a la superficie que ha de tratarse. Otra causa potencial de rotura en el material de compresión 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 salida se acumula lentamente a lo largo de un periodo de tiempo que excede varios anchos de pulso. Esta intensidad lenta y débil ayuda a generar procesos no lineales que requieren tiempos de acumulación de decenas de nanosegundos. En técnicas convencionales, la salida de pulso de láser se "corta" mediante medios externos, tales como un conmutador electro-óptico de subida rápida o

mediante una lámina de explosión. Estas técnicas pueden ser caras y pueden limitar la fiabilidad.

Una aplicación controlada del esfuerzo de compresión aplicado sobre una cara de una superficie del metal provocará que la superficie se expanda de una manera predecible y, por lo tanto, pueda curvar el metal de una manera altamente controlable. Tras el curvado, la superficie convexa se mantiene con un esfuerzo de compresión residual que es altamente deseable para la resistencia a la fatiga y la corrosión de la pieza en funcionamiento. La técnica de inducción de este esfuerzo de compresión por medio del granallado por disparo es bien conocida y de uso general. Sin embargo, el granallado por disparo está limitado en la profundidad del esfuerzo de compresión intenso que se puede inducir sin generar un trabajo en frío significativo y no deseable de la capa superficial. Debido a la forma esférica requerida del disparo usado para el granallado, el proceso transmite una presión no uniforme frente a perfil de tiempo al metal durante cada impacto individual del disparo. La presión se inicia en el primer punto de contacto de la esfera y, a continuación, se extiende a través del área de impacto a medida que los metales se deforman y toda la sección transversal del disparo 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. Por consiguiente, se realiza más trabajo en frío sobre el metal a medida que el material se extrude debido a la cuña de presión creada por el impacto del disparo.

La conformación de metales en formas complejas se requiere para muchas aplicaciones. Hay una serie de procesos que usan el calor y la fluencia para estirar y formar el metal en las formas requeridas. Especialmente en la industria aeroespacial, la aplicación de calor y tensión de fluencia puede ser perjudicial para las propiedades mecánicas del metal y, por lo tanto, indeseable para muchos metales, tales como el aluminio y el titanio. Sin embargo, la industria aeroespacial necesita formar piezas de forma compleja y lograr la conformación con un alto grado de precisión. En la actualidad, hay problemas para lograr la curvatura deseada sin una fluencia en los componentes de más de media pulgada (12,7 mm) de espesor. Hay también, en general, una falta de un control preciso en la conformación de piezas, de manera que los agujeros de fijación y el recorte a la forma exacta no se pueden hacer hasta que la pieza formada se lleva a la estructura del componente para la instalación final. Sería altamente deseable una conformación precisa, con una gran curvatura, especialmente en materiales de sección gruesa. El proceso de granallado por láser, como se describe en el documento WO 01 05549, puede usarse para conformar componentes creando un esfuerzo de compresión residual sobre un área superficial dada, y permitir este esfuerzo para crear una tensión que da como resultado una curvatura de la superficie convexa. Aplicando sistemáticamente este proceso, tanto a la superficie superior como a la inferior de una pieza de metal, se puede lograr la curvatura deseada para toda la pieza de metal, incluyendo formas complejas tales como formas de silla.

Sería deseable proporcionar una técnica que logre una curvatura mayor que la lograda con la conformación por láser.

El documento U.S. 5.742.028 desvela un método de granallado por impacto de láser, que implica cargar un artículo de manera que una parte del artículo que ha de granallarse por impacto de láser se coloca en una condición cargada, mientras que la parte se granalla por impacto de láser usando un láser para formar una zona que tiene esfuerzos residuales de compresión profundos, transmitidos por el proceso de granallado por impacto de láser, que se extienden en el artículo desde la superficie granallada por impacto de láser.

Sumario de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un medio para lograr una curvatura mejorada en una pieza precargando el componente en un área local, con un momento de flexión que da como resultado una tensión que desvía la pieza logrando un esfuerzo que está cerca, pero por debajo, del límite elástico. La reivindicación 1 desvela un método para lograr el objeto anterior, y la reivindicación 25 el aparato adecuado para realizar el método.

La solicitud principal discute el concepto de la conformación de formas complejas en los metales por medio del granallado por impacto de láser. Esta solicitud enseña que la deformación en cualquier dirección deseada se puede mejorar induciendo mecánicamente un momento de flexión (aunque por debajo del límite elástico del metal) en esa dirección durante la aplicación de los pulsos de granallado por láser. La presente invención proporciona una descripción más detallada de esta mejora. La ventaja del momento de flexión aplicado puede ser muy significativa, añadiendo hasta un 50% de mejora con respecto a la deformación y/o curvatura neta resultante. Un medio sencillo para inducir un momento de flexión es emplear un dispositivo de sujeción que comprende una placa de refuerzo en la cara cóncava final y orientada a lo largo del arco deseado, con abrazaderas para acoplar al metal en la cara convexa. La placa de refuerzo se taladra y enrosca en uno o más lugares, para aceptar pernos grandes que pueden atornillarse a través de la placa de refuerzo y para empujar contra una almohadilla en contacto con el metal que ha de formarse. Pueden usarse accionadores hidráulicos controlados por ordenador en lugar de tornillos y ser más eficaces en la aplicación rápida y precisa de la carga deseada. La almohadilla está contorneada para distribuir la carga a lo largo del arco deseado. La carga se logra girando el perno con una llave grande hasta lograr una deformación equivalente al porcentaje deseado de una deformación por fluencia. Con el componente cargado de esta manera, el granallado por láser se aplica a la cara convexa a lo largo de la dirección del arco deformado. A medida que el granallado por láser se aplica a la superficie, el esfuerzo inducido comienza a relajar la resistencia a la carga aplicada. Para obtener la máxima deformación, el perno se ajusta para mantener la carga constante. En el

caso de la carga hidráulica, el control por ordenador mantiene una carga constante. La densidad del patrón de granallado por láser y la intensidad del láser usado dependen de las propiedades del material y la curvatura residual deseada del material que se está contorneando. Para formas complejas, el dispositivo de sujeción y el proceso de granallado se usan a lo largo de cada arco de curvatura deseado.

5

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra una plantilla de conformación con una almohadilla de reparto accionada por perno.
La figura 2 muestra una plantilla de conformación con control hidráulico.

10

Descripción detallada de la invención

Se desvelan técnicas de granallado por láser en la patente de Estados Unidos N° 6.198.069, en trámite junto con la presente, titulada "Laser Beam Temporal And Spatial Tailoring For Laser Shock Processing". La tecnología láser útil en la presente invención se describe en la patente de Estados Unidos N° 5.285.310 titulada "High Power Regenerative Laser Amplifier", y la patente de Estados Unidos N° 5.239.408 titulada "High Power, High Beam Quality Regenerative Amplifier". Se describen realizaciones de sistemas láser útiles en la presente invención en la patente de Estados Unidos N° 5.689.363 titulada "Long Pulse Width, Narrow-Bandwidth Solid State Laser".

15

20

La presente invención es una técnica usada para aplicar una carga de momento de flexión, que da como resultado una desviación, a los componentes para lograr aproximadamente el 80% de límite elástico antes de la aplicación de un proceso de granallado por láser. Se observa que el momento de flexión da como resultado una mayor curvatura que la que se obtendría de otro modo en el componente después del procesamiento, cuando la carga del momento de flexión se retira. Este momento de flexión se aplica por medio de un dispositivo de fijación, denominado plantilla de conformación y que comprende una placa de refuerzo colocada en la cara cóncava final y orientada a lo largo del arco deseado, con abrazaderas para acoplar al metal en la cara convexa. En una realización, la placa de refuerzo se taladra y se enrosca en uno o más lugares, para aceptar pernos grandes que se pueden atornillar a través de la placa de refuerzo y cargar contra una almohadilla colocada en contacto con el metal que ha de formarse. La almohadilla está contorneada para repartir la carga a lo largo del arco deseado. La carga se logra girando el perno con el torque de apriete adecuado hasta lograr una deformación equivalente a, aproximadamente, el 80% de una deformación por fluencia. Con el componente cargado de este modo, el granallado por láser se aplica a la cara convexa a lo largo de la dirección del arco deformado. A medida que el granallado se aplica y el metal comienza a tomar forma, la carga del perno se ajusta para mantener la carga cerca del 80% de fluencia.

25

30

35

La densidad del patrón de granallado por láser y la intensidad y fluencia usadas dependen de las propiedades del material y la curvatura residual deseada del material que se está contorneando. Para formas complejas, el aparato y el proceso de granallado se usan a lo largo de cada arco de curvatura deseado. El momento de flexión aplicado carga de manera uniforme el componente en vez de aplicarse como un simple punto de origen de carga. La carga uniforme se logra empleando una "almohadilla de reparto" en o cerca de la curvatura deseada y desplegada bajo el extremo del perno que está en contacto con el metal. La carga uniforme puede lograrse además empleando múltiples pernos con almohadillas de reparto desplegadas a lo largo del arco que ha de formarse. La preconformación se puede hacer usando una única plantilla de conformación que se mueve de sección en sección del arco, o usando múltiples plantillas que predesvían la curvatura total que ha de lograrse. Debido a la gran carga encontrada entre el perno y la almohadilla de reparto, es importante usar materiales que permitan que el perno gire libremente sin crear torque sobre la almohadilla de reparto y que da como resultado daños en la superficie del componente. Los materiales adecuados serían, para el perno, un perno de acero plateado en cadmio #5 de 1,5 pulgadas (38,1 mm) de diámetro y, para la almohadilla de reparto, una almohadilla de plástico Teflón con 1,4 pulgadas (35,56 mm) de profundidad por 1,6 pulgadas (40,64 mm) de diámetro en la depresión localizada para el contacto con el perno.

45

50

El uso de la plantilla de conformación da como resultado una mayor curvatura para una aplicación dada de granallado por láser y, por lo tanto, permite la formación de unos radios de curvatura de los componentes más agudos de lo que sería posible de otro modo. El ajuste de la carga del perno se suma a este efecto.

55

La figura 1 muestra una plantilla de conformación con una almohadilla de reparto controlada por perno. La plantilla **10** está compuesta de una placa **12** de refuerzo que tiene unas abrazaderas **14** y un agujero **16** roscado para un perno **18**. Una almohadilla **20** de reparto está en contacto con el extremo distal del perno **18**. A medida que se hace girar el perno **18** en el sentido de las agujas del reloj, se fuerza la almohadilla de reparto a moverse en la misma dirección de movimiento que el perno **18**. En funcionamiento, un componente **22** que ha de conformarse se inserta en la plantilla **10** de conformación entre la almohadilla **20** de reparto y las abrazaderas **14**. A medida que el perno se atornilla en la placa de refuerzo, se fuerza el componente **22** que ha de conformarse contra las abrazaderas **14** mediante la almohadilla de reparto. Se aplica la fuerza contra el componente mediante la almohadilla **20** de reparto hasta que el componente **22** logra una curvatura deseada. El granallado por láser, como se describe, por ejemplo, en la solicitud principal, se aplica a la cara **24** convexa del componente **22**. Como se ha discutido en la solicitud principal, la etapa de generar esfuerzo de compresión inducido por láser puede incluir cubrir la pieza de trabajo con una capa de material que absorbe la luz láser. En algunos casos, el material puede ser un plástico, por ejemplo, un

60

65

plástico de acetato de polivinilo o un plástico de cloruro de polivinilo. Otro material encontrado útil como material absorbente de la luz láser es una lámina metálica con un refuerzo adhesivo. Después de que esta etapa inicial de granallado por láser se ha aplicado a la cara convexa, el granallado por láser puede además aplicarse a la cara 26 cóncava, si se desea.

5 La figura 2 muestra una plantilla de conformación con una almohadilla de reparto controlada hidráulicamente. La plantilla 110 está compuesta de una placa 112 de refuerzo que tiene unas abrazaderas 114 y un agujero 116 pasante para un pistón 118 hidráulico. Una almohadilla 120 de reparto está en contacto con el extremo distal del pistón 118 hidráulico. A medida que se acciona el pistón 118 hidráulico, se fuerza la almohadilla de reparto a moverse en la misma dirección de movimiento que el pistón 118 hidráulico. En funcionamiento, el pistón 118 hidráulico está colocado en una posición de mínimo, de manera que la almohadilla de reparto también está en una posición de mínimo. Un componente 122 que ha de conformarse se inserta en la plantilla 110 de conformación entre la almohadilla 120 de reparto y las abrazaderas 114. A medida que se acciona el pistón hidráulico, se fuerza el componente 122 que ha de conformarse contra las abrazaderas 114 mediante la almohadilla de reparto. Se aplica la fuerza contra el componente mediante la almohadilla 120 de reparto hasta que el componente 122 logra una curvatura deseada. El granallado por láser se aplica a la cara 124 convexa del componente 122. Además, el granallado por láser se puede aplicar a la cara 126 cóncava, si se desea. El granallado en la cara cóncava aplanará selectivamente la curvatura en el área granallada.

10

15

REIVINDICACIONES

1. Un método para formar formas y contornos en metal, que comprende:
 - 5 proporcionar una pieza (22; 122) de trabajo metálica que ha de formarse; pretensar dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica; y generar un esfuerzo de compresión inducido por láser sobre una superficie (24, 26; 124, 126) de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica hasta que se forma en la misma una forma deseada; comprendiendo el método, además, mejorar la cantidad de una flexión producida en dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica utilizando una carga de flexión mecánica durante un proceso de granallado, en el que dicha carga de flexión se mantiene constante durante la etapa de generar un esfuerzo de compresión inducido por láser sobre una superficie (24, 26; 124, 126) de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica.
 - 10
 - 15 2. El método de la reivindicación 1, en el que la etapa de pretensar dicha pieza (22, 122) de trabajo metálica incluye pretensar dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica con una plantilla (10, 110).
 3. El método de la reivindicación 2, en el que dicha plantilla (10, 110) comprende:
 - 20 una placa (12; 112) de refuerzo; una almohadilla (20, 120) de reparto; medios (16, 18; 116, 118) para forzar dicha almohadilla de reparto lejos de dicha placa (12, 112) de refuerzo; medios (14, 114) para sujetar una parte de un componente (22; 122) que ha de conformarse, de manera que cuando dicha almohadilla (20; 120) de reparto se fuerza lejos de dicha placa (12; 112) de refuerzo, se ejercerá un momento de flexión sobre dicho componente (22; 122) que ha de conformarse.
 - 25
 4. El método de la reivindicación 2, en el que dicha plantilla (10,110) comprende:
 - 30 una base (12; 112) que tiene un agujero (16; 116); medios (14; 114) para sujetar, a una distancia fija de dicha base (12; 112), un componente (22; 122) que ha de conformarse; una almohadilla (20; 120) de reparto; y medios (18; 118) para forzar dicha almohadilla (20; 120) de reparto lejos de dicha base (12; 112) para ejercer una fuerza de flexión sobre dicho componente (22; 122) que ha de conformarse.
 - 35
 5. El método de la reivindicación 1, en el que la etapa de generar un esfuerzo de compresión inducido por láser comprende, además, seleccionar al menos uno de los parámetros de energía láser, huella de pulso de láser, superposición de pulso de láser, duración de pulso y número de pulsos aplicados a cada área (24, 26; 124, 126) de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica para controlar la intensidad y profundidad del esfuerzo de compresión aplicado a cada dicha área local de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica.
 - 40
 6. El método de la reivindicación 2, en el que la etapa de seleccionar la energía láser comprende seleccionar una energía láser dentro de un intervalo de 10 J a 100 J por pulso.
 7. El método de la reivindicación 5, en el que la etapa de seleccionar la duración de pulso comprende seleccionar una duración de pulso dentro de un intervalo de 10 ns a 30 ns.
 - 45
 8. El método de la reivindicación 7, en el que dicho pulso comprende un borde de subida de menos de 1 ns.
 9. El método de la reivindicación 1, en el que la etapa de generar esfuerzo de compresión inducido por láser comprende cubrir dicha pieza (22; 122) de trabajo con una capa de material que absorbe la luz láser.
 - 50
 10. El método de la reivindicación 5, que comprende además la formación de imágenes de campo cercano de dicho láser a un tamaño de punto sobre dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica.
 11. El método de la reivindicación 5, que comprende además la formación de imágenes de campo cercano de dicho láser a un tamaño de punto para proporcionar una fluencia de energía de entre 60 y 200 J/cm² en la superficie (24, 26; 124, 126) de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica.
 - 55
 12. El método de la reivindicación 9, en el que dicho material comprende plástico.
 - 60
 13. El método de la reivindicación 12, en el que dicho plástico se selecciona a partir de un grupo que consiste en plástico de acetato de polivinilo y de plástico de cloruro de polivinilo.
 14. El método de la reivindicación 13, en el que dicho plástico es de aproximadamente 200 µm de espesor.
 - 65
 15. El método de la reivindicación 9, en el que dicho material comprende una lámina metálica con un refuerzo

adhesivo.

- 5 16. El método de la reivindicación 9, en el que la etapa de generar esfuerzo de compresión inducido por láser comprende además el flujo de una capa fina de agua a lo largo de dicho material, en el que dicha capa fina de agua actúa como un capa de compresión.
17. El método de la reivindicación 16, en el que dicha capa fina de agua es de aproximadamente 1 mm de espesor.
- 10 18. El método de la reivindicación 1, en el que la etapa de generar esfuerzo de compresión inducido por láser comprende aplicar secuencialmente pulsos de láser en un modo de exploración de trama sobre una superficie (24, 26; 124, 126) de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica, en el que se inducirá un esfuerzo de compresión sobre dicha superficie (24, 26; 124, 126), en el que dicho esfuerzo de compresión generará a su vez una tensión de la capa superior de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica y producirá una curvatura en dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica.
- 15 19. El método de la reivindicación 1, en el que la etapa de generar esfuerzo de compresión inducido por láser comprende aplicar selectivamente un esfuerzo de compresión a la cara (26; 126) cóncava de una pieza (22; 122) de trabajo metálica que tiene una curvatura no deseada para enderezar sistemáticamente una pieza.
- 20 20. El método de la reivindicación 1, en el que el pretensado de la pieza (22; 122) de trabajo metálica comprende lograr, antes de la aplicación de un proceso de granallado por láser, una curvatura mejorada en una pieza, precargando el componente en un área local con un momento de flexión que da como resultado una tensión que desvía la pieza alcanzando un esfuerzo que está cerca pero por debajo del límite elástico.
- 25 21. El método de la reivindicación 1, en el que el pretensado comprende aplicar una carga de momento de flexión, que da como resultado una desviación, a los componentes para alcanzar aproximadamente un 80% de límite elástico antes de la aplicación de un proceso de granallado por láser.
- 30 22. El método de la reivindicación 1, que comprende además controlar el granallado por láser en dos dimensiones aplicando selectivamente pulsos a un área bidimensional y controlar el número de pulsos aplicados a cada punto y la intensidad de cada pulso.
- 35 23. El método de la reivindicación 1, que comprende además controlar el granallado en dos dimensiones aplicando selectivamente pulsos a un área bidimensional, controlar el número de pulsos aplicados en cada punto y la intensidad de cada pulso, colocando pulsos de compensación sobre la superficie que se convierte en cóncava, y aprovechando la ventaja del aumento del momento mecánico de inercia generado dentro de la pieza a medida que un componente cambia a una forma curvada.
- 40 24. El método de la reivindicación 1, en el que la etapa de generar esfuerzo de compresión inducido por láser incluye generar esfuerzo de compresión inducido por láser sobre una superficie (24, 26; 124, 126) de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica hasta que se forma en la misma una forma deseada sin inducir esfuerzo de tracción no deseado en la superficie (24, 26; 124, 126) de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica.
- 45 25. Un aparato (10; 110) para formar formas y contornos en metal, que comprende:
 medios (12, 14, 16, 18, 20; 112, 114, 116, 118, 120) para pretensar una pieza (22; 122) de trabajo metálica;
 medios para generar esfuerzo de compresión inducido por láser sobre una superficie (24, 26; 124, 126) de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica hasta que se forma en la misma una forma deseada; y
 medios para mejorar la cantidad de una flexión producida en dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica utilizando una carga de flexión mecánica durante un proceso de granallado, en el que dicha carga de flexión se mantiene constante durante la etapa de generar esfuerzo de compresión inducido por láser sobre una superficie (24, 26; 124, 126) de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica.
- 50
- 55 26. El aparato de la reivindicación 25, en el que dicho medio para pretensar una pieza (22; 122) de trabajo metálica comprende una plantilla (10, 110).
27. El aparato de la reivindicación 26, en el que dicha plantilla (10, 110) comprende:
 una placa (12; 112) de refuerzo;
 una almohadilla (20, 120) de reparto;
 medios (16, 18; 116, 118) para forzar dicha almohadilla de reparto lejos de dicha placa (12, 112) de refuerzo; y
 medios (14, 114) para sujetar una parte de un componente (22; 122) que ha de conformarse de manera que cuando dicha almohadilla (20; 120) de reparto se fuerza lejos de dicha placa (12; 112) de refuerzo, se ejercerá una carga de flexión sobre dicho componente (22; 122) que ha de conformarse.
- 60
- 65 28. El aparato de la reivindicación 26, en el que dicha plantilla (10, 110) comprende:

- una base (12; 112) que tiene un agujero (16; 116);
 medios (14; 114) para sujetar, a una distancia fija de dicha base (12; 112), un componente (22; 122) que ha de conformarse;
 una almohadilla (20; 120) de reparto; y
- 5 medios (18, 118) para forzar dicha almohadilla (20; 120) de reparto lejos de dicha base (12; 112) para ejercer una fuerza de flexión sobre dicho componente (22; 122) que ha de conformarse.
29. El aparato de la reivindicación 25, en el que dichos medios para generar esfuerzo de compresión inducido por láser comprenden un sistema de láser que es capaz de producir una serie de pulsos de láser, en el que cada pulso de láser de dicha serie de pulsos de láser tiene una energía dentro de un intervalo de 10 J a 100 J por pulso, en el que cada dicho pulso de láser tiene una duración de pulso dentro de un intervalo de 10 ns a 20 ns y un borde de subida que es menor de 1 ns.
- 10
30. El aparato de la reivindicación 29, en el que dicho medio para generar esfuerzo de compresión inducido por láser comprende además un medio para formar imágenes de campo cercano de cada dicho pulso de láser a un tamaño de punto en dicha capa de material, en la que dicha serie de pulsos de láser generará un esfuerzo de compresión sobre la superficie (24, 26; 124, 126) de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica hasta que se forme en la misma una forma deseada, sin inducir un esfuerzo de tracción no deseado en la superficie (24, 26; 124, 126) de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica.
- 15
31. El aparato de la reivindicación 30, en el que dicho medio para formar imágenes del campo cercano de cada dicho pulso de láser forma imágenes de cada dicho pulso de láser a un tamaño de punto para proporcionar una fluencia de energía de entre 60 y 200 J/cm² en la superficie (24, 26; 124, 126) de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica.
- 20
32. El aparato de la reivindicación 30, que comprende además medios para aplicar secuencialmente pulsos de láser en un modo de exploración de trama en la superficie (24, 26; 124, 126) de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica, en el que se inducirá un esfuerzo de compresión sobre la superficie iluminada, en el que dicho esfuerzo de compresión generará a su vez una tensión de la capa superior de dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica y producirá una curvatura en dicha pieza (22; 122) de trabajo metálica.
- 25
- 30

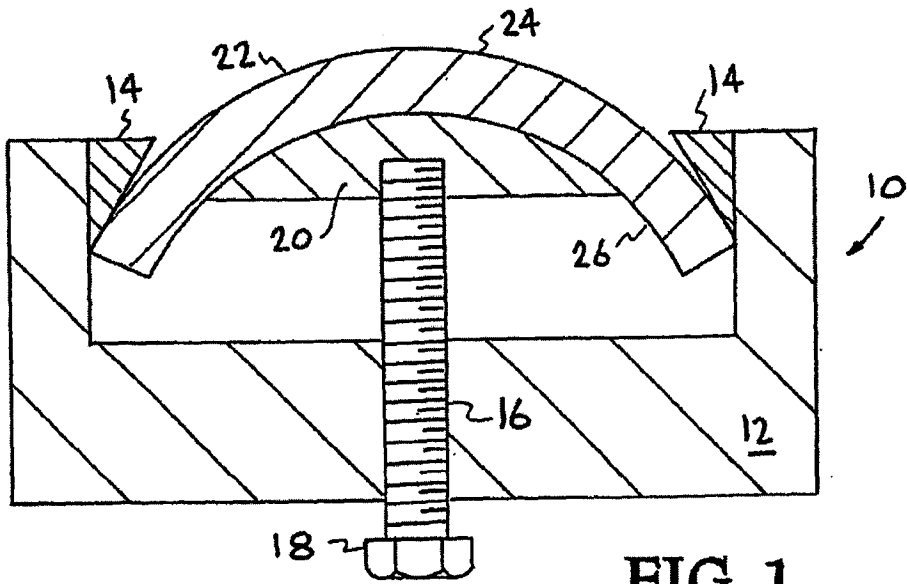


FIG. 1

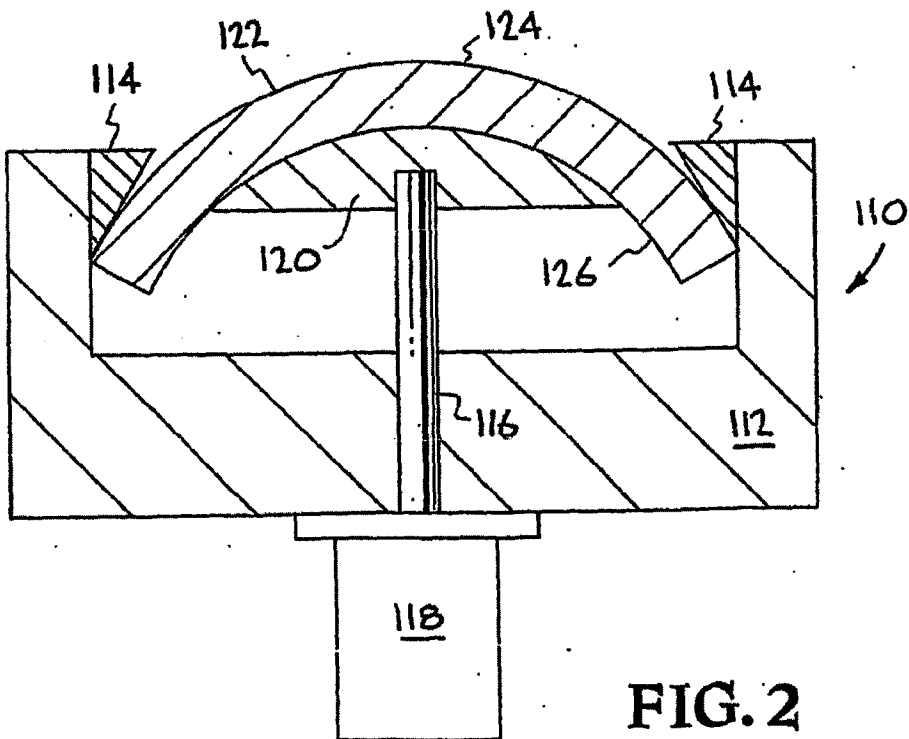


FIG. 2