

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 475**

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

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06849830 .2**
96 Fecha de presentación: **28.09.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1960154**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.08.2008**

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE ENDURECIMIENTO POR GRANALLADO SUPERFICIAL MEDIANTE LÁSER, PRODUCTO Y APARATO CON TAL PRODUCTO, USANDO CAPAS DE ABLACIÓN PARA EVITAR LA FORMACIÓN DE PICADURAS DURANTE EL ENDURECIMIENTO POR GRANALLADO SUPERFICIAL MEDIANTE LÁSER.**

30 Prioridad:
30.09.2005 US 240676

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
28.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
28.03.2012

73 Titular/es:
**LAWRENCE LIVERMORE NATIONAL SECURITY,
LLC
7000 EAST AVENUE, L-703
LIVERMORE CA 94551-9234, US**

72 Inventor/es:
HACKEL, Lloyd, A.

74 Agente/Representante:
García-Cabrerizo y del Santo, Pedro

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).

ES 2 377 475 T3

DESCRIPCIÓN

5 Procedimiento de endurecimiento por granallado superficial mediante láser, producto y aparato con tal producto, usando capas de ablación para evitar la formación de picaduras durante el endurecimiento por granallado superficial mediante láser

10 La presente invención se refiere a un procedimiento de endurecimiento por granallado superficial mediante láser y a un producto de acuerdo con el preámbulo de las realizaciones 1 y 15 respectivamente (véase, por ejemplo, el documento US 5 674 328), y más específicamente, ésta se refiere a técnicas para la aplicación de una capa ablativa que no dará lugar a la formación de picaduras al realizar un endurecimiento por granallado superficial mediante láser.

Descripción de la técnica relacionada

15 El uso de una capa de ablación en el endurecimiento por granallado superficial mediante láser se conoce bien. Véase, por ejemplo, la patente de los Estados Unidos con n.º 4.937.421 y el documento de C. S. Montross y col., que se discuten brevemente a continuación.

20 En la patente de los Estados Unidos con n.º 4.937.421, titulada "*Laser peening and method*", se describe un aparato y procedimiento de endurecimiento por granallado superficial mediante láser para endurecer por granallado superficial una pieza a máquina utilizando un haz de láser. El sistema incluye una lámina alineada con una superficie de la pieza a máquina que va a endurecerse por granallado superficial y la emisión de luz coherente de efecto láser sobre la superficie de lámina alineada. La lámina absorbe energía a partir del haz y una parte de la lámina se evapora, lo que crea un plasma caliente en el interior de la lámina. El plasma crea una onda de choque que pasa a través de la lámina y endurece por granallado superficial la superficie de la pieza a máquina.

30 En un documento a nombre de C. S. Montross y col., titulado: "*The influence of Coating on Subsurface Mechanical Properties Of Laser Peened 2011-T3 Aluminium*", Journal of Material Science 36 (2002) 1.801 a 1.807, se analiza un revestimiento ablativo sacrificial tal como una pintura o una lámina de metal para su uso para proteger el componente de aluminio con respecto de la superficie que se funde por el pulso de láser, lo que afecta de forma adversa a la longevidad a la fatiga. Este documento, usando una indentación de nivel nanométrico, analiza el efecto de los revestimientos de pintura y de lámina sobre la propagación de la onda de choque en el interior de la probeta de aluminio y el cambio resultante en las propiedades mecánicas frente a la profundidad. Cerca de la superficie, se determinó que la dureza se aumentó por el endurecimiento por granallado superficial mediante láser, no obstante, este proceso disminuyó el módulo elástico medido. Se determinó que la densidad de energía del pulso de láser y las propiedades de la lámina incluyendo su adhesión a la aleación de aluminio tuvieron influencia en el cambio en las propiedades mecánicas de superficie.

40 La patente de los Estados Unidos con n.º 5.674.328 enseña un procedimiento de endurecimiento por granallado superficial mediante choque por láser de una parte metálica activando un láser sobre una superficie de endurecimiento por granallado superficial mediante choque por láser de la parte que se ha cubierto de forma adhesiva por una cinta que tiene un medio ablativo, preferiblemente, una cinta autoadherente con una capa de adhesivo a un lado de una capa ablativa y un medio de confinamiento sin hacer fluir una cortina de confinamiento de fluido por encima de la superficie sobre la que el haz de láser se ha activado. Se proporciona un movimiento continuo entre la parte y el haz de láser a la vez que se activa de forma continua el haz de láser, que de forma repetida emite pulsos entre periodos relativamente constantes, sobre una superficie de endurecimiento por granallado superficial mediante choque por láser de la parte. Usando un haz de láser con una potencia suficiente para evaporar el medio ablativo de tal modo que los pulsos forman unos puntos de haz de láser sobre la superficie y una zona que tienen unas tensiones de compresión residuales profundas impartidas por el proceso de endurecimiento por granallado superficial mediante choque por láser al extenderse al interior de la parte a partir de la superficie. El medio de confinamiento puede suministrarse por medio de única capa de cinta que tiene una capa transparente por encima de la capa ablativa o un recubrimiento o espesor de los recubrimientos de una cinta más grueso con sólo una capa ablativa en la que el espesor adicional proporciona el medio de confinamiento.

55 La patente de los Estados Unidos con n.º 5.932.120 enseña un procedimiento de endurecimiento por granallado superficial mediante choque por láser de un objeto de motor de turbina de gas activando de forma continua un haz de láser estacionario, que de forma repetida emite pulsos entre periodos relativamente constantes, sobre una parte del objeto con un haz de láser de baja potencia, del orden de 3 a 10 julios, para evaporar material sobre la superficie de una parte de una parte fabricada de un metal duro y resistente, tal como una aleación de titanio. Unos pulsos de láser alrededor de pequeños puntos de haz de láser, de un diámetro del orden de 1 mm, se usan para evaporar material sobre la superficie de la parte del objeto formándose los pulsos alrededor de puntos de haz de láser por medio del haz de láser sobre la superficie y formando una zona que tiene unas tensiones de compresión residuales profundas al extenderse al interior del objeto a partir de la superficie de choque por láser endurecida por granallado superficial. Haciendo fluir una cortina de agua por encima de la superficie sobre la que el haz de láser se ha activado a la vez que se desplaza preferiblemente el objeto hasta que la superficie endurecida por granallado superficial de choque por láser se cubre completamente por puntos de haz de láser al menos una vez. La superficie puede

revestirse con un revestimiento a blativo tal como una pintura que es adecuada para producir el plasma o la superficie puede dejarse sin pintar y el metal del objeto se usa para producir el plasma.

5 La patente de los Estados Unidos con n.º 6.440.254 enseña un procedimiento para unir una capa de material a un sustrato en el que un haz de láser se usa para generar calor en un área local sobre el material compuesto. El calor que procede del haz de láser activa un adhesivo para unir la capa al sustrato. Alternativamente, el calor que procede del haz de láser funde localmente uno u otra o ambos del sustrato y la capa para crear la unión. Cuando la unión se crea a lo largo de un trayecto cerrado, el calor que procede del láser puede también dar lugar a que la capa salga volando del sustrato. La invención puede usarse para una variedad de fines tales como la creación de características decorativas en tarjetas de felicitación para darle a éstas un aspecto y un tacto novedosos.

15 La Publicación de Solicitud de Patente International con n.º WO/2001/096619 enseña un proceso para revestir una parte que va a endurecerse por granallado superficial mediante láser que mejora la efectividad del proceso de endurecimiento por granallado superficial mediante láser. Una capa de material de revestimiento se coloca sobre la superficie de metal para absorber la luz láser y para aislar el metal con respecto al calor del plasma. En un proceso de revestimiento por inmersión que emplea un polímero estrechado por disolvente, la parte que va a revestirse se limpia, se sumerge y se vuelve a sumergir en el interior de y se retira de una disolución de disolvente/polímero. Ajustando de forma adecuada la viscosidad de la disolución y la presión de vapor (temperatura) del disolvente, puede obtenerse un revestimiento muy uniforme de la parte. El proceso es rápido, cura con rapidez y el revestimiento se exfolia con facilidad después del procesamiento.

25 En el proceso de endurecimiento por granallado superficial mediante láser, un láser de alta potencia se hace incidir sobre una superficie de metal, extirpando una delgada capa superficial, lo que crea un plasma y como consecuencia un choque intenso. Este choque intenso deforma de forma plástica el material y da como resultado una capa a compresión de tensión residual en la superficie. Para evitar el contacto del plasma caliente con la superficie de metal, una capa o capas de material se aplican a la superficie de sustrato para actuar como una fuente de material de ablación y para proporcionar un aislamiento con respecto al calor del plasma. Este plasma es la fuente de una onda de choque que se forma y como consecuencia endurece por granallado superficial el material. Originalmente se usaba pintura como la capa de ablación pero la pintura no tiene suficiente resistencia a la tracción como para evitar que se deforme por esfuerzo cortante localmente cuando el choque comprime localmente la superficie. Ésta también se fractura y se desprende cuando el choque finaliza y la superficie rebota. Se ha demostrado que las cintas con un reverso adhesivo son un mejor material de ablación. Éstas se aplican fácilmente, se adhieren a la superficie y tienen la suficiente resistencia a la tracción para permitir un endurecimiento por granallado superficial continuo uno junto a otro sin experimentar en general deformación por esfuerzos cortantes o despegarse. No obstante, se ha observado que en la aplicación de la cinta a las superficies, pueden quedar atrapados bajo la cinta y en contacto con la superficie de metal unos pequeños bolsillos de aire, a menudo tan pequeños como de un tamaño semiesférico de 20 µm. Cuando estos bolsillos se comprimen por la onda de choque se calientan de una forma diabólica y transmiten este calor al metal. Para metales que se funden a una baja temperatura, tal como el aluminio, este calor transmitido puede ser suficiente para fundir localmente el metal y crear una pequeña picadura de material fundido que posteriormente se solidifica como un cráter sólido. Esta picadura es poco deseable debido a que se solidifica en un estado de tracción formando un punto de aumento de tensión sobre la superficie de metal y potencialmente reduce la vida útil por fatiga y la resistencia a la corrosión de la muestra endurecida por granallado superficial.

45 **Sumario de la invención**

Es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento de endurecimiento por granallado superficial mediante láser y un producto que evita que el proceso de endurecimiento por granallado superficial cree picaduras en el material que va a endurecerse por granallado superficial.

50 Es otro objeto de la invención proporcionar unas capas de ablación híbridas para su aplicación sobre un material que va a endurecerse por granallado superficial mediante láser para evitar que el material endurecido por granallado superficial sufra picaduras.

55 Estos y otros objetos serán evidentes para expertos en la técnica basándose en la presente divulgación. Un procedimiento y un producto de endurecimiento por granallado superficial de capa de acuerdo con la presente invención se definen en las realizaciones 1 y 15 respectivamente.

60 Para evitar la formación de picaduras que resulta a partir del endurecimiento por granallado superficial mediante láser, una capa de ablación híbrida que comprende una capa base separada se aplica a un material que va a endurecerse por granallado superficial. La capa base se encuentra en contacto con la superficie que va a endurecerse por granallado superficial y se aplica de una forma tal que ésta no tiene burbujas ni huecos que superen un tamaño aceptable. Una o más capas superpuestas tales como una cinta o lámina de metal se aplican por encima de la capa base. La capa base puede, por ejemplo, ser una capa de adhesivo rociado por encima o de pintura que se deposita sin burbujas. Posteriormente cualesquiera burbujas formadas por debajo de las capas superpuestas se aíslan con respecto a la superficie que va a endurecerse por granallado superficial. El proceso se ha sometido a prueba y reduce de forma significativa la incidencia de picaduras sobre las superficies endurecidas

por granallado superficial. La invención es útil en una variedad de aplicaciones de endurecimiento por granallado superficial mediante láser, tales como el endurecimiento por granallado superficial mediante láser de metales, la conformación por endurecimiento por granallado superficial mediante láser de metales y el marcado por endurecimiento por granallado superficial mediante láser de metales.

5

Breve descripción de los dibujos

El dibujo adjunto, que se incorpora a y forma parte de la presente divulgación, ilustra una realización de la invención y junto con la descripción, sirve para explicar los principios de la invención.

10

La figura 1 muestra un material con una superficie que se ha preparado de acuerdo con la presente invención.

Descripción detallada de la invención

15

Una capa de ablación híbrida que comprende dos o más capas se aplica a una superficie que va a endurecerse por granallado superficial mediante láser. La capa de ablación híbrida se forma por una capa base y una o más capas superpuestas. Haciendo referencia a la figura 1, la capa base **10** ha de ser una que puede aplicarse de tal modo que los máximos huecos o tamaños de burbuja no excedan una cantidad definida tal como se analiza a continuación.

20

Esta capa base se aplica en contacto con una superficie **12** que va a endurecerse por granallado superficial y a continuación se aplican una o más capas superpuestas **14** tales como una cinta o una lámina de metal, que prevén la resistencia a la tracción necesaria. De acuerdo con la invención, la capa base no contiene huecos o burbujas de un diámetro más grande que 10 micrómetros. Una cinta de aluminio que es de un espesor de aproximadamente 0,0762 mm (3 milésimas de pulgada) y que tiene aproximadamente 0,0254 mm (1 milésima de pulgada) de adhesivo, se aplica en una realización. Dos capas de cinta pueden usarse. La capa base puede por ejemplo ser una capa de adhesivo rociado por encima o de pintura que se deposita sin burbujas debido a la naturaleza del rociado.

25

La pintura puede ser de un espesor de aproximadamente 0,1016 a 0,127 mm (de 4 a 5 milésimas de pulgada). Otro enfoque es revestir por inmersión la capa base y permitir que ésta se cure o, por ejemplo, curar ésta aplicando un calor adecuado en un horno o con lámparas de calor. La pintura necesita ser del tipo que se unirá bien a la superficie. Tal material de pintura puede incluir unas capas de imprimación de metal de alta calidad y resinas epoxídicas curadas térmicamente. Unos adhesivos de rociado por encima, tales como los que produce la compañía 3M (Capa de imprimación de metal de 3M EC3901, Capa de imprimación de adhesivo estructural de 3M EC-1593 o EC-1660) pueden hacerse para cubrir uniformemente la superficie y permitir que la cinta sin adhesivo se aplique encima.

30

Con la capa base rociada por encima y por lo tanto aplicada sin burbujas, la capa o las capas superiores de lámina pueden aplicarse a continuación. Normalmente en la aplicación de capas de cinta sólidas a una superficie, se atrapan burbujas de aire por debajo de la superficie. Es casi imposible eliminar éstas por medio de bombeo a vacío debido a que están atrapadas. No obstante, con la capa base aplicada sin burbujas, cualesquiera burbujas que se forman entre la capa base y las capas superpuestas se aíslan con respecto a la superficie que va a endurecerse por granallado superficial. Cuando estas burbujas se comprimen debido a la compresión por choque, el calor que se genera en el interior de éstas se disiparía en la capa base y por lo tanto no se pondría en contacto con o fundiría o formaría picaduras en el metal que va a endurecerse por granallado superficial. El proceso se ha sometido a prueba y reduce de forma significativa la incidencia de picaduras sobre las superficies endurecidas por granallado superficial.

40

45

Puede calcularse el potencial de una burbuja de aire atrapada por debajo de la cinta para crear picaduras en el endurecimiento por granallado superficial mediante láser. Para ver si una burbuja de aire tiene el suficiente aumento de temperatura y capacidad calorífica para fundir una pequeña picadura por debajo de la cinta en un proceso de endurecimiento por granallado superficial mediante láser, se hace un cálculo de la capacidad calorífica y del aumento de temperatura de una burbuja semiesférica de 1 mm de diámetro, y se evalúan la energía calorífica que se requiere para fundir una picadura de unas dimensiones razonables y el potencial para que se produzca esta transferencia de calor.

50

Usando, como ejemplo, el volumen, la masa y la energía cinética en una burbuja semiesférica de 1 mm de diámetro, se prevén los siguientes cálculos. El volumen de una burbuja de 1 mm es $V = 2/3 \pi r^3 = 2,6 \times 10^{-10} \text{ m}^3$. Comenzando con $PV = nRT$, se puede calcular cuántos kmoles de gas y cuánta masa se encuentra en la burbuja en el punto de inicio de las condiciones ambientales de temperatura y presión estándar (STP, *standard temperature pressure*). En el STP, $P = 1 \text{ atmósfera} = 10^5 \text{ N/m}^2$ y $T = 300 \text{ K}$. R es la constante universal de los gases de valor 8.314,4 J/kmol * K. $n = PV/RT = (10^5 * 2,6 \times 10^{-10}) / (831 * 300) = 1 \times 10^{-10} \text{ kmol}$. Debido a que el aire tiene una masa de aproximadamente 28 kg/kmol esta burbuja tiene una masa de $2,8 \times 10^{-9} \text{ kg}$. La energía cinética de las moléculas en la burbuja es de aproximadamente $E = n (5/2) RT = 17 \text{ mJ}$.

55

60

Se calcula el aumento de temperatura de la burbuja durante la compresión de choque por láser. Cuando la onda de choque a partir del proceso de endurecimiento por granallado superficial mediante láser incide sobre la cinta y la burbuja, la presión aumenta de 1 atmósfera a 10^5 atmósferas. La temperatura del gas se eleva de una forma casi adiabática hasta $T/T_0 = (p/p_0)^{(\gamma-1)/\gamma}$. En esta ecuación, γ es la proporción de calor específico a volumen constante con respecto al específico calor a presión constante. Para un gas diatómico tal como aire γ es de aproximadamente

65

5/3. Considérese la fusión de un pequeño volumen de aluminio. Por lo tanto para un aumento súbito de presión en un factor de 10^5 tal como se crea por medio del láser, la temperatura podría potencialmente aumentarse hasta $T = 300 (10^5)^{2/5} = 30.000$. La temperatura casi con toda seguridad no se elevará a este nivel debido a otros efectos de mitigación tales como las inestabilidades de Rayleigh Taylor que limitan la compresión y las velocidades de difusión limitadas a partir del gas al interior del metal. No obstante, se anticipa un aumento de temperatura significativo por encima del punto de fusión del aluminio de $650\text{ }^\circ\text{C}$.

Para determinar cuánta energía calorífica se requiere para fundir una picadura, se hace el siguiente cálculo. Si una pequeña picadura tiene un diámetro de 20 micrómetros y una profundidad de 5 micrómetros, entonces el volumen y la masa de aluminio fundido es

$$V = (d * \pi * \text{diámetro}^2) / 4 = (5 \times 10^{-6} * \rho * (20 \times 10^{-6})^2) / 2 = 1,6 \times 10^{-15} \text{ m}^3$$

$m = 2.700 \text{ kg/m}^3 * 1,6 \times 10^{-15} \text{ m}^3 = 4 \times 10^{-12} \text{ kg}$. La cantidad de calor que se requiere para fundir este aluminio es la que se requiere para que la temperatura del material se eleve hasta el punto de fusión de $650\text{ }^\circ\text{C}$ más el calor de fusión para llevar el metal de estado sólido a líquido. Tomando la capacidad calorífica del aluminio como $C = 0,212 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C}$, se calcula el calor que se requiere para elevar la temperatura en $650\text{ }^\circ\text{C}$ tal como sigue:

$Q(\Delta T) = m * C * \Delta T = 4 \times 10^{-12} \text{ kg} * 0,212 \text{ kcal/K} * 650 \text{ K} = 5 \times 10^{-10} \text{ kcal} = 2,2 \times 10^{-6} \text{ J}$. Q (calor de fusión) = $93 \text{ kcal/kg} * 4 \times 10^{-12} \text{ kg} * 1 \text{ J} / 2,4 \times 10^{-4} \text{ kcal} = 1,5 \times 10^{-6} \text{ J}$. Por lo tanto el calor total que se requiere es de $3,7 \mu\text{J}$ que es mucho menor que los disponibles 17 mJ que están disponibles en la energía cinética del gas. Por lo tanto hay una abundancia de calor disponible en el gas para fundir la picadura.

Se determina el calor que se difunde al interior del aluminio durante el pulso de láser. La difusividad de un material, que es la velocidad a la que el calor puede difundirse al interior del mismo, viene dada por la proporción de la conductividad térmica k y el producto de la densidad, ρ y la capacidad calorífica específica, C_p . Para el aluminio estos valores son de $k = 0,048 \text{ kcal/s} * \text{m} * \text{grado C}$, $\rho = 2.700 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 0,212 \text{ kcal/kg} * \text{grado C}$.

$$D = k / (\rho * C_p) = 8,2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}.$$

Debido a que la difusión es un problema de curso aleatorio, el calor se difunde como la raíz cuadrada del producto de la difusividad y la duración de pulso de choque $t = 100 \text{ ns}$.

La profundidad de difusión = $2 * \text{raíz cuadrada}(Dt) = 2 * \text{raíz cuadrada}(8,4 \times 10^{-12}) = 6 \text{ micrómetros}$. Esta longitud de difusión se corresponde más o menos con la profundidad de las picaduras observadas.

A partir de este sencillo análisis, se puede concluir que hay suficiente energía en el gas en una pequeña burbuja para fundir las picaduras y que el gas sí experimenta un aumento de temperatura razonable durante el periodo del aumento de presión de choque.

Hay otros efectos que pueden concentrar la energía de la onda de choque en un área local y aumentar la temperatura o la presión y extruir un flujo de líquido. Una burbuja bajo la superficie es una zona de baja densidad y refracta y tiende a concentrar la onda de choque tal como lo haría una lente óptica. Esta intensidad de choque aumentada podría inducir la fusión. La capa de protección aplicada sin burbujas encima del metal difundiría la intensidad de concentración de la onda de choque y reduciría el potencial para crear una picadura inducida por choque.

La descripción anterior de la invención se ha presentado con fines de ilustración y de descripción y no se pretende que sea exhaustiva o que limite la invención a la forma concreta que se da a conocer. Muchas modificaciones y variaciones son posibles a la luz de la enseñanza anterior. Las realizaciones que se dan a conocer tenían como objetivo sólo explicar los principios de la invención y su aplicación práctica para permitir de ese modo que otros expertos en la técnica usen de la mejor forma la invención en varias realizaciones y con varias modificaciones adecuadas para el uso particular que se contempla. El alcance de la invención se define por medio de las siguientes realizaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de endurecimiento por granallado superficial mediante láser, que comprende proporcionar una pieza a máquina (12), adherir una primera capa (10) sobre dicha pieza a máquina (12), y adherir una segunda capa (14) sobre dicha primera capa (10), dicho procedimiento comprende:
- propagar un pulso de luz láser sobre dicha segunda capa (14), en el que dicho pulso comprende la suficiente densidad de energía como para extirpar una parte de dicha segunda capa (14), expulsando de ese modo un plasma, en el que dicho plasma produce una onda de choque que se propaga sobre dicha primera capa (10) y sobre dicha pieza a máquina (12), endureciendo de ese modo por granallado superficial dicha pieza a máquina (12), en el que dicha primera capa (10) comprende un adhesivo rociado por encima, una pintura, una pintura rociada por encima, una pintura aplicada por inmersión, o una capa de imprimación de metal
- caracterizado por que** dicha primera capa (10) no contiene huecos que tienen un tamaño de hueco o burbujas que tienen un tamaño de burbuja que son al menos lo bastante grandes como para producir, bajo la influencia de dicha onda de choque, al menos una picadura que tiene un tamaño de picadura no aceptable;
- en el que dicho tamaño de burbuja o dicho tamaño de picadura comprenden 10 micrómetros en diámetro.
2. El procedimiento de la realización 1, en el que dicha segunda capa (14) es opaca a la longitud de onda de dicho pulso de luz láser.
3. El procedimiento de la realización 1, en el que dicha segunda capa (14) comprende una pluralidad de capas.
4. El procedimiento de la realización 1, en el que dicha segunda capa (14) comprende una lámina de metal.
5. El procedimiento de la realización 4, en el que dicha lámina de metal comprende un adhesivo.
6. El procedimiento de la realización 1, en el que dicha segunda capa (14) comprende una cinta.
7. El procedimiento de la realización 6, en el que dicha cinta comprende un adhesivo.
8. El procedimiento de la realización 6, en el que dicha cinta comprende una cinta de metal.
9. El procedimiento de la realización 8, en el que dicha cinta de metal comprende una cinta de aluminio.
10. El procedimiento de la realización 1, en el que dicha primera capa (10) comprende un adhesivo rociado por encima.
11. El procedimiento de la realización 1, en el que dicha primera capa (10) comprende una pintura.
12. El procedimiento de la realización 1, en el que dicha primera capa (10) comprende una pintura rociada por encima.
13. El procedimiento de la realización 1, en el que dicha primera capa (10) comprende una pintura aplicada por inmersión.
14. El procedimiento de la realización 1, en el que dicha primera capa (10) comprende una capa de imprimación de metal.
15. Un producto, que comprende:
- una pieza a máquina (12) que va a endurecerse por granallado superficial mediante láser;
- una primera capa (10) que se adhiere a la pieza a máquina (12) que va a endurecerse por granallado superficial mediante láser; y
- una segunda capa (14) que se adhiere a dicha primera capa (10), en el que dicha primera capa (10) comprende un adhesivo rociado por encima, una pintura, una pintura rociada por encima, una pintura aplicada por inmersión, o una capa de imprimación de metal estando dicho producto **caracterizado por que:**
- dicha primera capa (10) no contiene huecos que tienen un tamaño de hueco o burbujas que tienen un tamaño de burbuja que son al menos lo bastante grandes como para producir, bajo la influencia de una onda de choque de una densidad de energía especificada, al menos una picadura que tiene un tamaño de picadura no aceptable;
- en el que dicho tamaño de burbuja o dicho tamaño de picadura comprenden 10 micrómetros en diámetro.
16. Un sistema que comprende:

- 5 un producto tal como se recita en la realización 15; comprendiendo además el sistema unos medios para propagar un pulso de luz láser sobre dicha segunda capa (14), en el que dicho pulso comprende la suficiente densidad de energía como para extirpar una parte de dicha segunda capa (14), expulsando de ese modo un plasma, en el que dicho plasma produce dicha onda de choque que se propaga sobre dicha primera capa (10) y sobre dicha pieza a máquina (12), endureciendo de ese modo por granallado superficial dicha pieza a máquina (12).
- 10 17. El producto de la realización 15, en el que dicha segunda capa (14) es opaca a la longitud de onda de dicho pulso de luz láser.
18. El producto de la realización 15, en el que dicha segunda capa (14) comprende una pluralidad de capas.
19. El producto de la realización 15, en el que dicha segunda capa (14) comprende una lámina de metal.
- 15 20. El producto de la realización 19, en el que dicha lámina de metal comprende un adhesivo.
21. El producto de la realización 15, en el que dicha segunda capa (14) comprende una cinta.
- 20 22. El producto de la realización 21, en el que dicha cinta comprende un adhesivo.
23. El producto de la realización 21, en el que dicha cinta comprende una cinta de metal.
24. El producto de la realización 23, en el que dicha cinta de metal comprende una cinta de aluminio.
- 25 25. El producto de la realización 15, en el que dicha primera capa (10) comprende un adhesivo rociado por encima.
26. El producto de la realización 15, en el que dicha primera capa (10) comprende una pintura.
- 30 27. El producto de la realización 15, en el que dicha primera capa (10) comprende una pintura rociada por encima.
28. El producto de la realización 15, en el que dicha primera capa (10) comprende una pintura aplicada por inmersión.
- 35 29. El producto de la realización 15, en el que dicha primera capa (10) comprende una capa de imprimación de metal.

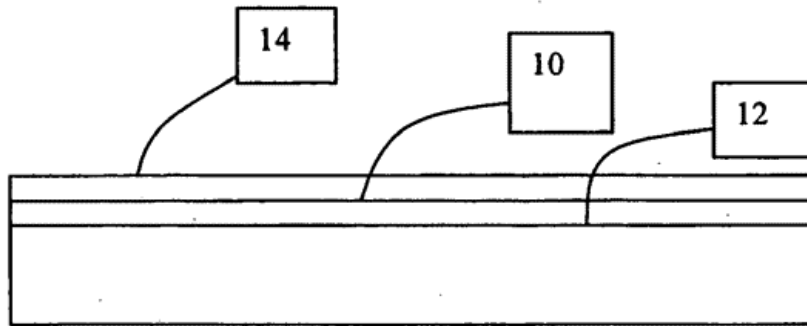


Figura 1