(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 723 791**

(51) Int. CI.:

***B23K 26/00*** (2014.01)
***B23K 26/06*** (2014.01)
***B41C 1/08*** (2006.01)
***B41C 1/05*** (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.09.2012 PCT/EP2012/067858**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **28.03.2013 WO13041430**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.09.2012 E 12758854 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.03.2019 EP 2768626**

(54) Título: **Método y dispositivo para producir una superficie estructurada sobre un rodillo de estampación de acero**

(30) Prioridad:

**23.09.2011 EP 11182573**
**24.07.2012 EP 12177682**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
**02.09.2019**

(73) Titular/es:

**BOEGLI-GRAVURES S.A. (100.0%)**
**Rue de la Gare 24-26**
**2074 Marin-Epagnier, CH**

(72) Inventor/es:

**BOEGLI, CHARLES;**
**WEISSMANTEL, STEFFEN;**
**REISSE, GÜNTER;**
**LICKSCHAT, PETER y**
**STEFFEN, WERNER**

(74) Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

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

Método y dispositivo para producir una superficie estructurada sobre un rodillo de estampación de acero

La invención presente se refiere a un método y a un dispositivo para producir una superficie estructurada sobre un rodillo de estampación de acero.

Rodillos de estampación de acero, por ejemplo, para estampar relieves en láminas delgadas que sirven como los llamados revestimientos interiores para empaquetar cigarrillos son conocidos principalmente por medio del solicitante de la invención presente, por ejemplo, por el documento WO-2009/155720, la patente de los E.E. U.U. US-7 036 347, o la patente europea EP 2 336 823. Por medio de dichos rodillos de estampación, las láminas delgadas son simultáneamente satinizadas, es decir, homogéneamente provistas de huecos muy finos en grandes superficies, y provistas de logotipos, los dientes del rodillo de estampación son eliminados ya sea total o parcialmente en los lugares de estos logotipos. Además, los dientes y/o espacios de los rodillos de estampación pueden tener una forma tal que proporcionan láminas delgadas con características de autenticación y/o refuerzo y similares. Además, según la patente europea EP 2 027 994 A2 adjudicada al solicitante de la invención presente, existen rodillos de estampación en relieve que están diseñados como rodillos plegables.

En consecuencia, los rodillos de estampación de la técnica anterior tienen dientes muy finos en el caso de una denominada configuración “pinup” o de huecos que se corresponden con los dientes en el caso de una configuración llamada “pindown”, así como espacios que producen logotipos sin grabar, y los dientes pueden tener microestructuras superpuestas, como, por ejemplo, según la patente de los E.E. U.U. US-7 229 681. Las láminas, que tienen un espesor de aproximadamente 5 µm hasta aproximadamente 400 µm, incluyen láminas metálicas delgadas, por ejemplo, láminas delgadas de aluminio, láminas delgadas sintéticas de todo tipo, láminas delgadas que tienen una composición híbrida de papel y/o capas sintéticas, posiblemente provistas de una metalización, y similares. Incluyen además la importante clase de los revestimientos internos mencionados anteriormente, que son, por ejemplo, utilizados en paquetes de cigarrillos y pueden, por ejemplo consistir en papel metalizado.

Además, resultará evidente que aunque el mecanizado puramente mecánico produce muy buenos resultados cualitativos y cuantitativos, las posibilidades están limitadas según las dimensiones de las herramientas de mecanizado. El mecanizado mecánico siempre deja rebabas u otras trazas indeseables e inaceptables. Por encima de todo, las grandes superficies de los rodillos con estructuras positivas/negativas complementarias - macho/hembra - o pinup-pindown que pueden ser conjugadas sin selección no pueden ser producidas sin realizar un gasto enorme.

En el documento RU-2368504 se sugiere producir principalmente las separaciones del logotipo por electroerosión o electroquímicamente, mientras que los dientes pueden ser fabricados de la misma forma o mecánicamente. En materiales homogéneos, tales como el cobre, es posible realizarlo con una alta calidad, mientras que la estructura básica granular del acero hace que el mecanizado directo de la superficie con una alta calidad sea más difícil. Con las técnicas actuales, estos métodos no son adecuados para una producción industrial racional, ya que consumen mucho tiempo y material.

Con los sistemas de láser de ablación actuales del tipo neodimio-YAG que tienen anchos de impulso de aproximadamente 30 ns, es posible lograr un mecanizado algo más fino hasta una separación de línea de aproximadamente 70 µm a una profundidad de aproximadamente 100 µm en superficies más pequeñas.

Además, en el documento WO-2007/012215 A1, en la patente europea EP-2 327 502 A1 y en la patente europea EP-2 327 503 A1, todas adjudicadas al solicitante de la invención presente, se describen sistemas de láser que son adecuados para producir estructuras muy finas tales como estructuras de mallas sobre los rodillos de estampación, láseres que tienen longitudes de impulso dentro del intervalo de nano a femtosegundos que se utilizan para producir mallas en el Intervalo nanométrico. En particular, el documento WO-2007/012215 A1 describe un método para producir una superficie estructurada sobre un rodillo de estampación de acero por medio de un láser de impulso corto que es producida mediante una combinación de parámetros de una fluencia de hasta 1000 J/cm2, una longitud de onda de 775 nm, una velocidad de repetición de 1 kHz a 2 kHz, una posición del plano de enfoque del rayo láser cerca de la superficie de la pieza de trabajo y velocidades de desviación de 0,1.10-6 m/s hasta 1 m/s, y un dispositivo para implementar el método.

Estos métodos están bien adecuados para microestructurar pequeñas zonas de la superficie en el intervalo de micrómetros y submicrométricos, pero no para el macro-mecanizado directo de grandes superficies de acero con detalles estructurales de aproximadamente 20 µm y hasta en la superficie estampada. Sin embargo, los rodillos que tienen superficies de acero duro son interesantes, ya que permiten directa y rápidamente trabajar láminas delgadas de estampación y, más particularmente, revestimientos interiores, siendo estas láminas delgadas y relativamente inelásticas perfectamente adecuadas para el envasado seguro de alimentos debido a su impermeabilidad al vapor de agua.

Sin embargo, existe la necesidad de proporcionar de forma rápida grandes zonas de superficie, por ejemplo, un rodillo de estampación completo o posiblemente una pluralidad de rodillos idénticos, congruentemente o con diferencias

intencionales, es decir, con una alta precisión absoluta y relativa, con estructuras de 20 µm hasta 400 µm y profundidades de hasta 400 µm, dichas estructuras comprenden dientes y huecos asociados, según sea el caso.

Un método de grabado conocido por medio de láser sobre cilindros recubiertos de plástico usa datos almacenados digitalmente que representan una imagen que se resuelve en píxeles. Estos píxeles suelen producir huecos en forma de copas pequeñas. Se usa un modulador acústico-óptico para modular la intensidad del rayo láser con varios grados de intensidad, lo que produce, por ejemplo, según la patente europea EP 1 245 326, sombras de grises o diferencias del brillo cuando se imprime el molde de impresión, por ejemplo, sobre una lámina delgada. En este caso, debido a la disposición de los puntos focales en una matriz de puntos bidimensional, los grabados muy próximos de la matriz de puntos se influyen entre sí de manera adversa. Puede producirse una considerable generación de calor o una alteración indeseable del material o de la pauta del estampado local. Además, las cantidades sustanciales de residuos de ablación y de partículas expulsadas de la superficie cerca de las copas son inaceptables. Finalmente, el proceso es realizado en forma de las llamadas estructuras de bloques dentro de las zonas de superficie así definidas, por ejemplo, 10 mm x 10 mm.

El siguiente bloque es mecanizado después de realizar movimientos mecánicos que pueden provocar una discontinuidad, así como choques que deben ser relajados antes de la operación de mecanizado. Los saltos excesivos pueden causar turbulencias en el aire, lo que puede complicar la evacuación continua de los residuos.

Por el documento WO-97/19783 se conoce el uso de dos láseres separados para la grabación con láser, uno para la grabación fina y el otro para la grabación profunda. Sin embargo, no se revelan indicaciones específicas sobre el tipo, la energía y la duración del impulso, por una parte, y sobre la profundidad de grabación por otra parte.

La patente de los E.E. U.U. US-5 416 298 y el documento WO-2009/010244 A1 describen un aparato de grabado láser que es adecuado para grabar moldes de impresión giratorios y no presenta algunas de las desventajas mencionadas respecto a la técnica de bloque a bloque. La grabación se realiza a muy alta velocidad y con alta calidad siguiendo una línea helicoidal. Una ventaja sustancial es que, debido a la aplicación de una unidad de desviación, por ejemplo, un modulador acústico o electro-óptico, cada punto de la superficie es tratado por múltiples impulsos de láser en lugar de por un solo impulso de láser. El intervalo de tiempo entre la incidencia de los impulsos individuales puede ser elegido lo suficientemente grande para evitar una interferencia mutua o una sobrecarga térmica.

Sin embargo, no han sido descritos los datos que son relevantes para producir los rodillos de estampación mencionados anteriormente con las macroestructuras, es decir, un gran número de dientes con una altura de 0,1 a 0,4 mm, y superficies sin dientes para producir logotipos de los más diversos tipos u otras estructuras, en cuyo mecanizado no se debe fundir y ablandar el material a pesar del aumento masivo del calentamiento global y local, tal como se observa en los sistemas de láser de la técnica anterior.

De hecho, actualmente se conoce un gran número de sistemas de láser disponibles en el mercado que pueden permitir la estructuración deseada de las superficies de los rodillos de acero, pero solo si se les proporciona un control de haz adecuado que tenga en cuenta la parametrización de la invención.

En resumen, por tanto, aunque es posible producir dientes muy finos con separaciones de punta a punta de hasta 0,1 mm y logotipos afilados por medios mecánicos, y se conocen sistemas de láser para producir estructuras de malla muy finas, existe una necesidad creciente, y como resultado, es un objeto de la invención, de producir superficies más finas con macroestructuras sobre rodillos de estampación de acero de forma más rápida e incluso más precisa, lo que permite una mayor diversidad de posibilidades de diseño, por ejemplo, la separación de dientes y formas variables, así como la fabricación industrial de rodillos macho-hembra, así como una aplicación versátil para los materiales de lámina más diversos.

Este objetivo se consigue mediante el método y el dispositivo según las reivindicaciones independientes 1 y 6, según las cuales se indican parámetros particulares para un control adecuado del proceso de ablación en condiciones específicas.

La invención se explicará con más detalle a continuación haciendo referencia a dibujos esquematizados de realizaciones ejemplares en donde:

La Figura 1 muestra una primera realización ejemplar de un sistema de láser de la invención para la grabación continua.

La Figura 2 muestra una segunda realización ejemplar de un sistema de láser de la invención para la grabación bloque a bloque, y

La Figura 3 muestra una ilustración esquemática de ráfagas de láser.

Una novedad esencial del método descrito es la posibilidad de proporcionar materiales modernos con estructuras de superficie macrodimensionales que tengan dimensiones de grabado de más de 20 µm, más particularmente de más de 70 µm también, y profundidades de grabado de hasta 400 µm, que de otro modo es imposible con los métodos convencionales del mecanizado por láser. En macrotecnología, existe una gran necesidad de estructurar además las

superficies de materiales de base de hierro heterogéneos y altamente aleados, que se vuelven cada vez más importantes en la tecnología de fabricación, con estructuras de superficie. La composición estructural heterogénea de estos materiales es indispensable para las propiedades especiales de las superficies de los rodillos que son requeridas.

Estas diferentes fases estructurales tienen propiedades físicas muy diferentes, sin embargo, conducen a las correspondientes diferencias en el comportamiento macroscópico local durante el mecanizado con láser. Por tanto, hasta ahora, estos materiales no podían ser macroestructurados con láser de manera económica según lo requerido. Con el nuevo método que se describe a continuación, dichos materiales pueden ser macroestructurados ahora también. El nuevo método se puede combinar con un proceso de microestructuración y, por tanto, puede producir estructuras de la más alta resolución incluso sobre estos materiales complejos y heterogéneos, lo que representa un gran avance en el campo de la tecnología de materiales.

El mecanizado de los cilindros de impresión para impresión offset o de otros moldes de impresión giratoria utilizando láseres de impulso corto es conocido desde hace tiempo. Las técnicas de mecanizado por láser de ablación térmica por medio de, por ejemplo, los láseres YAG:Nd en el intervalo de ancho de impulso de 30 ns y más conocidas en la actualidad permiten grabar superficies de acero en dimensiones de más de aproximadamente 70 µm a una profundidad de aproximadamente 100 µm, pero las estructuras de relieve fino no pueden ser producidas de manera fiable y rápida ya que la profundidad de la ablación es difícil de controlar y otros efectos afectan la calidad de la superficie que puede ser obtenida.

Para producir rodillos de estampación con estructuras diferentes, es ventajoso darles forma por medio de diferentes dispositivos láser para complementar las macroestructuras con microestructuras de una resolución diferente usando diferentes tamaños de puntos focales y diferentes energías.

Para un proceso posterior de microestructuración, los láseres de impulso corto disponibles hoy en día funcionan a longitudes de onda de 700 nm a 2100 nm, lo que permite una resolución correspondiente de la grabación por debajo de 1 µm. Una resolución aún mayor es posible mediante una multiplicación de frecuencia de la radiación láser. Según sea el caso, la superposición de una estructura más fina permite producir un holograma directamente sobre el rodillo de estampación para su posterior transmisión sobre la lámina. En este caso, puede ser ventajoso proporcionar un rodillo ya macroestructurado con un recubrimiento, por ejemplo, de ta-C.

La Figura 1 ilustra esquemáticamente un primer sistema de láser L1 que está diseñado para la grabación continua = macroestructuración. L1 incluye un láser 1 que está conectado a un circuito de control 2 que controla el láser 1 y una unidad de desviación 3 que puede comprender divisores de haz, así como moduladores acústico-ópticos o electroópticos o espejos poligonales. La unidad de desviación 3, la óptica de enfoque 5 y el espejo de desviación 6 forman la unidad de grabación 4 que se puede desplazar linealmente por el eje X según se indica simbólicamente con la flecha X. Alternativamente, todo el dispositivo de láser L1 puede ser desplazable por el eje X.

El circuito de control 2 está conectado a un detector de posición 7 para detectar y evaluar los datos de la pieza de trabajo giratoria 8, en este caso un rodillo de estampación. La pieza de trabajo es accionada por un actuador 9. Mediante la combinación del desplazamiento lineal de la unidad de grabación y del giro del rodillo, se crea una línea helicoidal constante SL que permite un mecanizado uniforme.

La aplicación de una unidad de desviación que puede, por ejemplo, comprender uno o varios divisores de haz, así como moduladores electro-ópticos o acústico-ópticos, o uno o varios espejos poligonales que permiten dividir el haz de láser inicial en dos o múltiples rayos de láser que inciden en dos o múltiples pistas simultáneamente pero a tal distancia mutua que no interfieren. Además, el intervalo de tiempo entre la incidencia de los impulsos individuales puede ser elegido lo suficientemente grande para evitar una sobrecarga térmica.

La Figura 2 muestra un sistema de láser para el mecanizado bloque a bloque de la pieza que también permite la macroestructura deseada con una elección adecuada de los parámetros. El sistema de láser 2 comprende un dispositivo de láser 10 que está conectado a un circuito de control 11 que a su vez está conectado a un actuador giratorio 12.

Por medio de una combinación de máscara y diafragma 13, el rayo láser LA alcanza un espejo de desviación 14 y posteriormente incide en la pieza de trabajo 16 por medio de una óptica de enfoque 15 que forma la unidad de grabación 19 junto con los componentes mencionados anteriormente. La pieza de trabajo se representa aquí como un rodillo de estampación macroestructurado que tiene dientes 17 y un espacio de logotipo 18. En esta variante de realización, la pieza de trabajo es desplazable en las tres direcciones de coordenadas y puede ser hecha girar por medio del actuador giratorio 12. Para ciertas aplicaciones, este principio puede ser utilizado también en una operación de maquinado según la Figura 1. Además, es posible una combinación de ambos métodos de desplazamiento.

Mediante la aplicación de láseres de impulso corto cuyos impulsos de láser están comprendidos entre 10 femtosegundos y 100 picosegundos, la energía se aplica durante un período de tiempo muy corto, de manera que una "ablación en frío" es posible cuando el material se evapora muy rápidamente sin un calentamiento inaceptable del material adyacente. El estado líquido indeseable del material que produce los bordes del cráter y las salpicaduras se

puede evitar casi por completo. Por tanto, dichos láseres se pueden usar también con éxito para el mecanizado denominado de bloque a bloque según la Figura 2.

Según se ha mencionado anteriormente, un objeto de la invención presente es producir rodillos de estampación de acero, en particular, que tienen un número muy grande de dientes pequeños así como zonas sin dientes o con dientes modificados en los que tanto la forma del diente, por ejemplo, piramidal con una extensión horizontal cuadrada o rectangular, o troncocónica, y la altura y el paso del diente, es decir, la separación de los dientes puede variar, o en estructuras macho-hembra donde las estructuras hembra están asociadas a las estructuras macho, o herramientas de plegado o de perforación y similares.

Hasta ahora no ha sido posible una utilización industrial económicamente razonable de sistemas de ps de alto rendimiento para las estructuras antes mencionadas. En particular, a diferencia de la producción de moldes de impresión, no se pudo encontrar una solución para el mecanizado de rodillos de acero con el número de piezas requerido. La granularidad de este material y las faltas de homogeneidad de la mezcla de los componentes lo habían excluido.

Durante una extensa investigación con el objetivo de estructurar el acero hasta profundidades de 400 µm con pequeños valores de rugosidad, surgieron diferentes problemas que hicieron imposible una aplicación para el macro-estampado deseado, además de los problemas descritos anteriormente en el macro-maquinado. Específicamente, debido a las diferencias estructurales y a otras dependencias de los materiales, bultos y huecos difícilmente eliminables aparecieron debido al mecanizado por láser.

También se ha encontrado que el volumen de ablación teórico calculado por impulso y frecuencia de repetición se desvía fuertemente de la velocidad de ablación real. En consecuencia, no existían parámetros ni relaciones técnicamente utilizables para contemplar una aplicación industrial de la tecnología de impulso corto al acero.

Después de pruebas prolongadas, se encontró la siguiente combinación de parámetros que permite a un experto en la materia implementar la grabación de rodillos de acero con la precisión y calidad de reproducción requeridas en la tecnología de grabado fino. En este contexto, entre los láseres de impulso corto, se puede hacer una diferenciación entre los láseres de femtosegundos (fs) y los láseres de picosegundos (ps) con duraciones de impulso que van desde 10 fs a 100 ps.

Además de la duración predeterminada del impulso que es una función del tipo de láser, una gran cantidad de parámetros son relevantes para la utilización industrial pretendida, particular pero no exclusivamente en la grabación del acero.

Para los láseres en modo de impulso único, éstos incluyen:

a) fluencia,

b) longitud de onda,

c) velocidad de repetición,

d) separación de impulso a impulso sobre la pieza de trabajo,

e) posición del plano de enfoque del rayo láser responsable del plano de imagen del haz láser respecto a la superficie del sustrato,

f) velocidad de desviación.

Hasta hace poco, los sistemas de guía de haz disponibles no podían guiar la energía del láser sobre la superficie que se estaba grabando con la calidad y el tiempo de procesamiento requeridos, ya que las velocidades de desviación requeridas de más de 100 m/s no se podían alcanzar según la precisión requerida del proceso de mecanizado. Para anchos de la estructura de, por ejemplo, 100 µm, el radio del haz gaussiano no debe exceder las 15 µm, lo que adicionalmente requiere un buen dominio de la precisión de posicionamiento del haz láser, según lo definido por la finura de la estructura a ser producida sobre el sustrato.

En investigaciones adicionales se encontró que el mecanizado deseado de los rodillos de estampación por medio de impulsos individuales puede ser mejorado sustancialmente cuando se usan diferentes secuencias de impulsos. Por tanto, un modo de operación particular desarrollado para tipos de láser de ps seleccionados, el modo de ráfaga en la bibliografía técnica, produce buenos resultados en la grabación del acero. En el modo de ráfaga, a diferencia de la operación de impulso único descrita anteriormente de un láser de ps a una velocidad de repetición predeterminada, en lugar de los impulsos de rayo láser de ps, se generan ráfagas de rayo láser de ps con separación de impulso a impulso temporal de las ráfagas individuales en el intervalo de decenas de nanosegundos, típicamente 20 ns, y una separación temporal de ráfaga a ráfaga en el intervalo de $10^{-3}$ a $10^{-7}$ segundos, típicamente 10 µs, es decir, con una frecuencia de repetición de ráfaga o velocidad de repetición del láser de 1 kHz a 10 MHz, véase la Figura 3.

La Figura 3 muestra una ilustración muy esquemática de un ejemplo de ráfagas donde el eje x es el eje del tiempo y la energía del impulso está representada sobre el eje y.

La velocidad de repetición máxima posible del láser de ps en el modo de ráfaga depende y está limitada por el número de impulsos individuales de la ráfaga. La duración del impulso de los impulsos únicos del láser de ps y la duración del impulso de los impulsos en modo de ráfaga son comparables.

Una ráfaga puede comprender un número ajustable de hasta 20 impulsos de ps. La energía del impulso de los impulsos individuales de la ráfaga puede disminuir exponencialmente según una función que es típica del aparato láser, mientras que la separación temporal entre los impulsos de la ráfaga sigue siendo la misma, o la característica de la energía del impulso de los impulsos individuales de la ráfaga puede ser predeterminada, de modo que una energía de impulso constante de los impulsos de la ráfaga o una disminución o un aumento de la energía del impulso de los impulsos de la ráfaga o, alternativamente, es posible primero una disminución y luego nuevamente un aumento de la energía del impulso de los impulsos de la ráfaga.

Además, un impulso o varios impulsos de la ráfaga pueden ser inhibidos, por ejemplo, en "FlexBurst™-Mode" de los tipos de láser "Time-Bandwidth Duetto™" y "Time-Bandwidth Fuego™" de la compañía "Time-Bandwidth Products". Además es posible duplicar la frecuencia o triplicar la frecuencia o una multiplicación de frecuencia adicional, SHG o THG, de la radiación del láser en el modo de ráfaga del láser de ps.

Por tanto, para los láseres en modo de ráfaga, se aplican los siguientes parámetros:

g) número de impulsos individuales de la ráfaga,

h) duración del impulso de los impulsos individuales de la ráfaga,

i) separación temporal de los impulsos de la ráfaga,

j) fluencia media de la ráfaga sobre la pieza de trabajo,

k) radio de enfoque del haz sobre la pieza de trabajo, y

l) distribución de la fluencia de la ráfaga en los impulsos individuales.

Los posibles parámetros de mecanizado y los resultados de la operación del láser de ps en modo de ráfaga son, por ejemplo:

número de impulsos de la ráfaga hasta 20,

fluencia de la ráfaga 0,5 - 70 J/cm$^2$,

profundidad de ablación por ráfaga hasta 100 nm,

volumen de ablación por ráfaga hasta 100 µm$^3$,

rugosidad del fondo de las estructuras producidas a partir de 450 nm a 1000 nm a profundidades de la estructura de 60 µm a 200 µm.

Las ventajas del mecanizado en modo de ráfaga en comparación con el mecanizado por láser de ps con impulsos individuales son:

Mayores velocidades de ablación en la estructuración de materiales metálicos en comparación con la irradiación del impulso de ps con impulsos únicos que tienen la misma energía que la energía de ráfaga total, es decir, a las mismas fluencias de los impulsos individuales y de las ráfagas y a la misma separación de impulso a impulso y superposición de los impulsos individuales y de las ráfagas, es decir, a la misma velocidad de repetición de los impulsos individuales que la velocidad de repetición de la ráfaga.

Una mejor calidad, en particular, una menor rugosidad de la superficie de las formas de la estructura producida en comparación con la irradiación de impulsos de ps con impulsos únicos que tienen la misma superposición, también a mayores fluencias de la ráfaga.

En el modo de ráfaga, se pueden aplicar mayores energías de ráfaga totales, es decir, mayores fluencias de la ráfaga a la superficie de la pieza de trabajo durante el proceso de estructuración. Como debido al número de impulsos de la ráfaga, las energías de los impulsos individuales de la ráfaga son correspondientemente menores que en el caso de los impulsos individuales que tienen la misma energía de impulso que la energía de ráfaga total, las fluencias de los impulsos individuales de la ráfaga también son sustancialmente menores que las fluencias de los impulsos individuales; en modo de ráfaga, el mecanizado se realiza así en el "régimen de baja fluencia", es decir, no sustancialmente por encima del umbral de ablación, y se obtiene una mayor calidad de las formas estructurales producidas, según se ha podido demostrar. Al estructurar con impulsos individuales, no se pueden usar de esta manera

las energías de impulso altas ya que el mecanizado ya habría sido realizado durante el "régimen de alta fluencia", es decir, muy por encima del umbral de ablación, y la calidad de las estructuras producidas sería menor.

Los parámetros indicados anteriormente pueden por ejemplo, tomar los valores siguientes. Para la operación de un solo impulso, éstos son:

a) Fluencia:

Láser de fs: para el mecanizado con impulsos de femtosegundos, se sugiere un intervalo de fluencia de 0,5 J/cm$^2$ a 3,5 J/cm$^2$. Las pruebas con mayores fluencias no se encontraron satisfactorias.

Láser de ps: en las pruebas se encontró que las altas fluencias no son adecuadas para el mecanizado con impulsos de picosegundos. El intervalo de fluencia aplicable debe situarse un poco por encima del umbral de ablación. Se probaron fluencias de 0,5 J/cm$^2$ a 10 J/cm$^2$ y se encontró que el intervalo de 0,5 a 3 J/cm$^2$ produjo los mejores resultados de mecanizado.

b) Longitud de onda:

Se usaron tres longitudes de onda diferentes, concretamente, 775 nm, 1030 nm y 1064 nm, y se realizó una duplicación de la frecuencia a 1064 nm que dio lugar a una reducción a la mitad de la longitud de onda a 532 nm. Se encontró que la longitud de onda afecta al resultado debido a los diferentes coeficientes de absorción. Las longitudes de onda más altas no parecen adecuadas para el mecanizado debido al bajo coeficiente de absorción. Por tanto, un intervalo de 532 nm a 1064 nm produce el mecanizado previsto.

c) Velocidad de repetición:

Las pruebas se realizaron con frecuencias de repetición de impulsos de hasta 1 MHz. Se encontró que se podían obtener buenos resultados hasta esta frecuencia. Sin embargo, el resultado se deterioró ligeramente a frecuencias de repetición de impulso más altas. Una forma de evitar estas altas frecuencias y aun así lograr una alta productividad es la división del haz. Así, por ejemplo, los láseres de impulso corto de 400 W están disponibles comercialmente, su haz se divide en 8 haces parciales para el mecanizado simultáneo. De esta manera, la velocidad de repetición se mantiene aproximadamente a 1 MHz. Se sugiere una velocidad de repetición de 1 kHz a 10 MHz.

d) Separación de impulso a impulso sobre la pieza de trabajo:

Se encontró que la velocidad de ablación se redujo mediante una mayor superposición de impulsos consecutivos. Esto se debe al hecho de que el impulso siguiente está protegido por el impulso precedente. Por tanto, se debe elegir una separación del impulso alto al impulso sobre la pieza de trabajo.

Láser de ps: Intervalo sugerido para el mecanizado: 40 - 50% del diámetro del haz como la separación entre impulsos sobre la pieza de trabajo para pequeñas densidades de mecanizado por impulsos. En densidades más altas, debe contemplarse una superposición más pequeña en el intervalo del 10% al 25%.

Láser de fs: Una separación de impulso a impulso sobre la pieza de trabajo del 10% al 50% del diámetro del haz.

e) Posición del plano de enfoque del rayo láser respecto a la superficie del sustrato:

En todas las pruebas, el foco fue situado en la superficie de la pieza de trabajo. No es recomendable situar el foco por encima de la pieza de trabajo. Por tanto, se sugiere colocar el foco en o ligeramente por debajo de la superficie de la pieza de trabajo.

f) Velocidades de desviación de hasta 100 m/s y superiores fueron probadas y se encontró que eran aplicables.

Diámetro del haz:

En las pruebas, se utilizaron diferentes diámetros del haz. Este parámetro no afecta en gran medida a la operación de mecanizado.

Ancho del impulso:

Los anchos de impulso usados fueron 150 fs, 178 fs y 12 ps. Todos los anchos de los impulsos fueron adecuados para el mecanizado. El ancho del impulso se puede aumentar posiblemente aún más para obtener una velocidad de ablación aún más alta mientras se mantiene una buena calidad. Los anchos de impulso más pequeños producen una mejor calidad, pero se asocian a una velocidad de ablación más baja. En consecuencia, para el mecanizado previsto, se sugiere un intervalo de ancho de impulso de 150 fs a 12 ps.

Además, para el mecanizado en modo de ráfaga, se encontraron los siguientes valores típicos pero no limitadores:

h) duración del impulso de los impulsos individuales de la ráfaga de 5 ps a 15 ps,

i) separación temporal de los impulsos de la ráfaga 10 ns a 30 ns,

j) fluencia de ráfaga media en la pieza de trabajo de 0,5 J/cm$^2$ a 70 J/cm$^2$,

k) radio de enfoque del haz sobre la pieza de trabajo de 10 µm a 50 µm, la característica de la energía del impulso de los impulsos individuales de la ráfaga es reducida, aumentada o ajustada gradualmente de una manera predeterminada.

Los valores de b) a g) se aplican también a la operación de ráfaga de manera análoga, a menos que se desvíen específicamente.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para producir una superficie estructurada sobre un rodillo de estampación de acero por medio de láser de impulso corto, siendo su estructura una macroestructura con dimensiones de más de 20 µm y profundidades de hasta 150 µm y más que es producida mediante una combinación de parámetros de:

a) fluencia en el intervalo de 0.5 J/cm$^2$ a 70 J/cm$^2$,

b) longitud de onda de 532 nm a 1064 nm,

c) velocidad de repetición de 1 kHz a 10 MHz,

d) separación de impulso a impulso sobre la pieza de trabajo del 10% al 50% del diámetro del haz para el láser de femtosegundos y del 10 - 25% y del 40 al 50% del diámetro del haz para el láser de picosegundos para densidades altas y bajas, respectivamente, y

e) la posición del plano de enfoque del rayo láser está en o ligeramente por debajo de la superficie de la pieza de trabajo, y

f) velocidades de desviación de hasta 100 m/s y más.

2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la pieza de trabajo es mecanizada continuamente desplazando el punto de incidencia del rayo láser sobre la superficie de la pieza de trabajo simultáneamente sobre el eje X y la circunferencia.

3. Método según la reivindicación 2, **caracterizado por que** el haz de láser es desplazado a lo largo del eje X y la pieza de trabajo es hecha girar simultáneamente.

4. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la pieza de trabajo es mecanizada bloque a bloque al ser desplazada en las tres direcciones de coordenadas y ser hecha girar.

5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** el láser de ps es operado como un láser de impulso corto en modo de ráfaga con los siguientes parámetros adicionales:

g) número de impulsos individuales de la ráfaga 2 a 20,

h) duración del impulso de los impulsos individuales de la ráfaga de 5 ps a 15 ps,

i) separación temporal de los impulsos de la ráfaga 10 ns a 30 ns,

j) fluencia de ráfaga media en la pieza de trabajo de 0,5 mJ/cm$^2$ a 70 J/cm$^2$, de preferencia 10 J/cm$^2$,

k) radio de enfoque del haz sobre la pieza de trabajo 10 µm a 50 µm, la característica de la energía del impulso de los impulsos individuales de la ráfaga es variada o ajustada gradualmente de manera predeterminada.

6. Dispositivo para implementar el método según la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende un dispositivo de láser (L1, L2) con un láser de impulso corto (1, 10) en el intervalo de femto o picosegundos que tiene:

a) en la operación de un único impulso una fluencia en el intervalo de 0,5 J/cm$^2$ a 3,5 J/cm$^2$ y en el modo de ráfaga una fluencia de ráfaga media de 0,5 J/cm$^2$ a 70 J/cm$^2$ por impulso,

b) una longitud de onda de 532 nm a 1064 nm,

c) una velocidad de repetición de 1 kHz a 10 MHz,

d) una separación impulso a impulso sobre la pieza de trabajo del 10% al 50% del diámetro del haz para el láser de femtosegundos y del 10 - 25% y del 40 - 50% del ancho del haz para el láser de picosegundos, comprendiendo el dispositivo de láser (L1, L2) una unidad de grabación (4, 19) para macrograbado de una pieza de trabajo (8, 16) de acero y una unidad de control (2, 11) para desplazar el punto de incidencia del rayo láser sobre la superficie de la pieza de trabajo simultáneamente sobre el eje X y sobre la circunferencia.

7. Dispositivo según la reivindicación 6, **caracterizado por que** la unidad de grabación (4) comprende unidades de división y desviación del haz (3), así como una óptica de enfoque (5), siendo la unidad de grabación o todo el dispositivo de láser (L1) desplazables sobre el eje X y siendo soportada de manera giratoria la pieza de trabajo.

8. Dispositivo según la reivindicación 6, **caracterizado por que** la unidad de grabación (19) comprende una unidad de imagen (15) y la pieza de trabajo (16) está soportada a la vez de manera giratoria y desplazable sobre los tres ejes de coordenadas (X, Y, Z).

FIG. 1

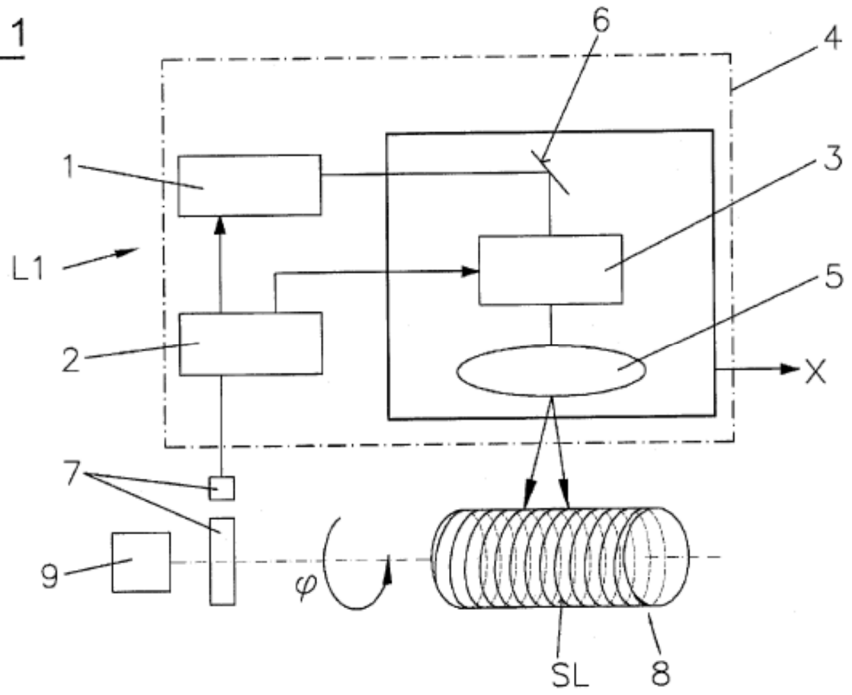


FIG. 2

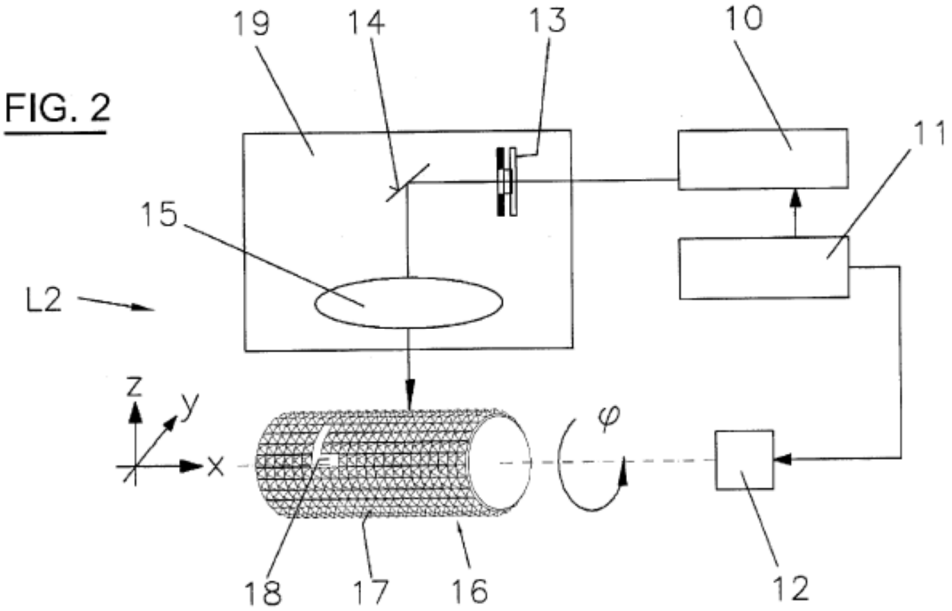
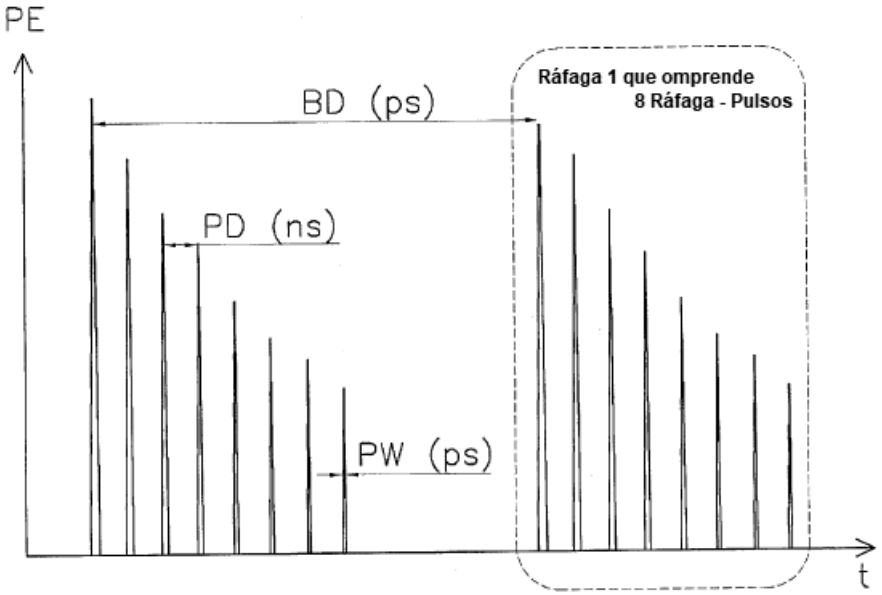
FIG. 3