

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 030 232**

21 Número de solicitud: 202590015

51 Int. Cl.:

G05B 19/401 (2006.01)

B23K 26/00 (2014.01)

G06T 7/35 (2007.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

26.06.2023

30 Prioridad:

25.10.2022 IT 102022000022038

43 Fecha de publicación de la solicitud:

26.06.2025

71 Solicitantes:

ADIGE S.P.A. (100.00%)

Via per Barco, 11

38056 LEVICO TERME (TN) IT

72 Inventor/es:

PACHER, Matteo;

GANDOLFI, Davide;

TANELLI, Mara;

PREVITALI, Barbara;

SAVARESI, Sergio Matteo;

FINAZZI, Valentina;

PICCOLI, Fabio y

DELAMA, Giulio

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

54 Título: **Método y máquina para un procesamiento láser con estimación de la rugosidad**

57 Resumen:

Se describe un método de procesamiento láser de una pieza de trabajo (2), preferiblemente de un material metálico, que comprende al menos los siguientes pasos: a) dirigir un haz láser (5) sobre la pieza de trabajo (2) en una zona de procesamiento (7) de la pieza de trabajo (2) para ejecutar un procesamiento láser; b) ejecutar un movimiento relativo entre el haz láser (5) y la pieza de trabajo (2); c) adquirir señales ópticas, más preferiblemente una pluralidad de imágenes adquiridas (9), de la zona de procesamiento (7); d) determinar un curso temporal de uno o más parámetros característicos obtenidos a partir de las señales ópticas, más preferiblemente a partir de la pluralidad de imágenes adquiridas (9); e) estimar en función de cada curso temporal de uno o más parámetros característicos una rugosidad obtenida durante el procesamiento láser. Durante el paso e) se determina al menos un parámetro estadístico respectivo a partir del curso temporal de uno o más parámetros característicos y posteriormente se calcula una estimación continua en tiempo real de la rugosidad en función de cada parámetro estadístico determinado.

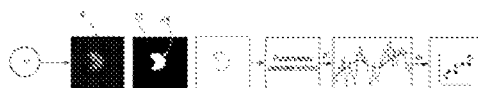


FIG. 1

ES 3 030 232 A2

DESCRIPCIÓN

Método y máquina para un procesamiento láser con estimación de la rugosidad

5 Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

Esta solicitud de patente reclama la prioridad a la Solicitud de patente italiana No. 17/102022000022038, presentada el 25 de octubre de 2022, cuya divulgación completa se incorpora en la presente como referencia.

10

Campo técnico

La presente invención se refiere a un método de procesamiento láser, preferiblemente para cortar y/o taladrar y/o soldar una pieza de trabajo y/o ejecutar una fabricación aditiva para
15 obtener una pieza de trabajo. Preferiblemente, la presente invención se refiere a un método de procesamiento láser que permite estimar, preferiblemente en tiempo real, una rugosidad resultante del procesamiento láser.

La presente invención también se refiere a una máquina de procesamiento láser configurada
20 para ejecutar un método de procesamiento láser que permite estimar, preferiblemente en tiempo real, una rugosidad resultante del procesamiento láser.

Antecedentes

25 Se conocen máquinas de procesamiento láser, por ejemplo, para cortar y/o taladrar piezas de trabajo. Una máquina de procesamiento láser típica comprende una fuente de emisión de un haz láser, un soporte para la pieza de trabajo, un grupo óptico para controlar la posición de enfoque del haz láser y un dispositivo de movimiento para ejecutar un movimiento relativo entre el haz láser y la pieza de trabajo.

30

Es sabido que el procesamiento láser ejecutado por una máquina de procesamiento láser, tal como, por ejemplo, el corte de una pieza de trabajo, puede dar lugar a la formación de una cierta rugosidad. La rugosidad que se obtiene realmente durante el procesamiento láser puede depender no sólo del material específico de la pieza de trabajo, sino también de uno o
35 varios parámetros del proceso, tales como, por ejemplo, la intensidad del haz láser y/o la velocidad del movimiento relativo entre el haz láser y la pieza de trabajo.

Hasta la fecha, la rugosidad obtenida de un procesamiento láser puede determinarse en laboratorio tras la finalización del procesamiento láser para luego poder controlar si la rugosidad determinada se corresponde o no con los valores deseados. Si la rugosidad no es
5 aceptable, es necesario que un operador actualice uno o varios parámetros del proceso para poder obtener piezas trabajadas que tengan la rugosidad deseada. Esto significa que algunas piezas tratadas no se corresponden con los criterios deseados y que posteriormente deben desecharse o reprocesarse manualmente.

10 Por ello, en el sector se siente la necesidad de seguir mejorando los métodos de procesamiento láser y/o las máquinas de procesamiento láser.

Breve descripción de la invención

15 El objeto de la presente invención es proporcionar un método de procesamiento láser y una máquina de procesamiento láser que permitan mejorar las soluciones conocidas para obtener una estimación de la rugosidad resultante del procesamiento láser, preferiblemente en tiempo real.

20 Preferiblemente, el objeto de la presente invención es proporcionar un método de procesamiento láser y una máquina de procesamiento láser que permitan obtener una estimación de la rugosidad y un control del método en función de la rugosidad estimada.

Los objetos mencionados se logran mediante la presente invención, ya que se refiere a un
25 método de procesamiento láser como se define en la reivindicación independiente 1. Las realizaciones preferentes alternativas están protegidas en las reivindicaciones dependientes respectivas.

Los objetos antes mencionados también se consiguen con la presente invención, ya que se
30 refiere a una máquina de procesamiento láser de acuerdo con la reivindicación 16.

Breve descripción de los dibujos

Para comprender mejor la presente invención, se describe a continuación, a modo de ejemplo
35 no limitativo y con referencia a los dibujos adjuntos, una realización preferida de la misma, en donde:

- La Figura 1 ilustra de forma esquemática y parcial una máquina de procesamiento láser de acuerdo con la presente invención;
- La Figura 2a ilustra un ejemplo de una imagen adquirida obtenida durante el funcionamiento de la máquina de procesamiento de la Figura 1;
- 5 - Las Figuras 2b y 2c ilustran los pasos del análisis de la imagen adquirida de la Figura 2a;
- La Figura 3 ilustra un curso temporal de un parámetro característico obtenido a partir del análisis de una pluralidad de imágenes adquiridas;
- La Figura 4 ilustra las distribuciones del parámetro característico obtenidas a partir de los respectivos cursos temporales del parámetro característico durante el funcionamiento de la
- 10 máquina de transformación de la Figura 1 en dos condiciones diferentes; y
- La Figura 5 ilustra esquemáticamente el método de la presente invención.

Descripción de las realizaciones

- 15 En la Figura 1, el número de referencia 1 indica genéricamente, en su conjunto, una máquina de procesamiento láser configurada para ejecutar un procesamiento láser en una pieza de trabajo 2, preferiblemente para cortar y/o taladrar una pieza de trabajo 2 y/o para ejecutar una soldadura y/o para ejecutar una fabricación aditiva.
- 20 Preferiblemente, la pieza de trabajo 2 puede comprender y/o estar hecha de un material metálico. Por ejemplo, la pieza de trabajo 2 puede estar hecha de y/o comprender acero al carbono, aluminio u otros metales.

25 Cabe señalar que el método descrito a continuación fue probado por el Solicitante en relación con piezas de trabajo 2 que tienen diferentes composiciones y diferentes formas, y tal como suelen ser tratadas por las máquinas de procesamiento del Solicitante. Debe tenerse en cuenta desde el principio que la variedad de materiales que pueden procesarse con láser y la variedad de formas tienen consecuencias en los detalles del aprendizaje automático, pero no alteran la esencia de la invención.

30 De acuerdo con algunas realizaciones no limitativas, la pieza de trabajo 2 puede tener una forma plana y/o tubular y/o de barra.

En mayor detalle, la máquina de procesamiento láser 1 puede comprender:

- 35 - una unidad de control 3 para controlar el funcionamiento de la máquina de procesamiento láser 1;

- una fuente de emisión 4 de un haz láser 5 conectada operativamente a la unidad de control 3 y configurada para emitir el haz láser 5;
- un grupo óptico 6, preferiblemente conectado operativamente a la unidad de control 3, configurado para controlar el haz láser 5, preferiblemente para dirigir el haz láser 5 a lo largo de un eje óptico A sobre la pieza de trabajo 2 y en una zona de procesamiento 7;
- un dispositivo de movimiento, preferiblemente conectado operativamente a la unidad de control 3 y configurado para ejecutar un movimiento relativo entre el haz láser 5 y la pieza de trabajo 2, preferiblemente a una velocidad determinada y/o preferiblemente para definir una forma del corte y/o del taladrado y/o de la soldadura y/o de la fabricación aditiva.

10

De acuerdo con algunas realizaciones no limitativas, la zona de procesamiento 7 puede ser una zona de la pieza de trabajo 2 que está expuesta, en uso, al haz láser 5 y que, en consecuencia, es procesada, por ejemplo, cortada y/o taladrada y/o soldada y/o fabricada aditivamente. Dicha zona de procesamiento 7 puede ser, en uso, dinámica debido al movimiento relativo entre el haz láser 5 y la pieza de trabajo 2.

15

Preferiblemente, la máquina de procesamiento láser 1 también puede comprender:

- un dispositivo de generación (no ilustrado y conocido per se) conectado operativamente a la unidad de control 3 y configurado para crear un chorro de gas para dirigir los compuestos creados durante el procesamiento láser, preferiblemente durante el corte y/o taladrado de la pieza de trabajo 2, fuera de la pieza de trabajo 2.

20

De acuerdo con algunas realizaciones preferidas no limitativas, la máquina de procesamiento también puede comprender una unidad de aspiración configurada para eliminar los humos y/o productos auxiliares y/o compuestos creados durante el procesamiento láser.

25

De acuerdo con algunas realizaciones preferidas no limitativas, la unidad de control 3 puede estar configurada para controlar parámetros del proceso de la máquina de procesamiento láser 1, preferiblemente una intensidad del haz láser 5 y/o una frecuencia y/o un ciclo de trabajo del régimen pulsado del haz láser 5 y/o una posición de enfoque del haz láser 5 y/o un diámetro del haz láser 5 y/o una velocidad determinada del movimiento relativo entre el haz láser 5 y la pieza de trabajo 2 y/o el chorro de gas y/o una presión del gas del chorro de gas y/o una posición de una boquilla configurada para emitir un chorro de gas.

30

Preferiblemente, la unidad de control 3 puede configurarse para controlar los parámetros del proceso en modo de retroalimentación.

35

Cabe señalar que preferiblemente los parámetros del proceso pueden ser (sustancialmente) todos los parámetros que definen el funcionamiento de la máquina de procesamiento láser 1.

5 Ventajosamente, la máquina de procesamiento láser 1 también puede comprender un dispositivo de monitoreo 8 configurado para monitorear el proceso y/o el resultado del procesamiento láser. Preferiblemente, el dispositivo de monitoreo 8 puede estar configurado para supervisar el corte y/o el taladrado y/o la soldadura y/o el proceso aditivo de la pieza de trabajo 2.

10

Preferiblemente, el dispositivo de monitoreo 8 puede estar configurado para adquirir señales, preferiblemente señales ópticas.

En el caso específico ilustrado, el dispositivo de monitoreo 8 está configurado para adquirir una pluralidad de imágenes adquiridas 9 (en la Figura 2a se ilustra una imagen adquirida a modo de ejemplo), preferiblemente de la zona de procesamiento 7.

15

Preferiblemente, el dispositivo de monitoreo 8 está configurado para adquirir las señales ópticas, preferiblemente las imágenes adquiridas 9, de forma continua y en tiempo real durante el procesamiento láser.

20

Alternativamente, el dispositivo de monitoreo 8 puede comprender un interferómetro, como, por ejemplo, los descritos en EP-A-3832251, WO-A-2021111393 o WO-A-2021111399.

25 Preferiblemente, el dispositivo de monitoreo 8 puede estar conectado operativamente a la unidad de control 3, que puede estar configurada para controlar el funcionamiento de la máquina de procesamiento láser 1 al menos en función de la información extraída y/u obtenida del dispositivo de monitoreo 8, preferiblemente a partir de las señales adquiridas, más preferiblemente a partir de las señales ópticas adquiridas, aún más preferiblemente a partir de las imágenes adquiridas 9.

30

Preferiblemente, el dispositivo de monitoreo 8 puede estar configurado para adquirir las señales, preferiblemente las señales ópticas, más preferiblemente las imágenes adquiridas 9, durante el funcionamiento de la máquina de procesamiento láser 1 (en otras palabras, el dispositivo de monitoreo 8 puede estar configurado para funcionar de manera en línea y en tiempo real).

35

De acuerdo con algunas realizaciones preferidas no limitativas, el dispositivo de monitoreo 8 puede estar configurado para adquirir la emisión del proceso, es decir, la emisión térmica de calor, preferiblemente presente en la zona de procesamiento 7. Alternativamente, el
5 dispositivo de monitoreo 8 puede estar configurado para captar una radiación electromagnética (luz) resultante de una iluminación mediante una fuente de iluminación independiente.

Preferiblemente, la fuente de emisión 4 puede comprender un láser, por ejemplo, un láser
10 ND:YAG, un láser del tipo de fibra, un láser de dióxido de carbono o un láser de diodo. Por ejemplo, el láser puede ser un láser que emita un haz láser 5 con una longitud de onda λ de 1070 nm a una potencia de 6 kW.

Más en detalle, el grupo óptico 6 puede estar configurado para dirigir el haz láser 5 sobre la
15 pieza de trabajo 2 y determinar el enfoque del haz láser 5.

Preferiblemente, el grupo óptico 6 puede estar configurado para definir un camino óptico P desde la fuente de emisión 4 hacia la pieza de trabajo 2.

20 De acuerdo con algunas realizaciones no limitativas, el camino óptico P puede comprender una primera porción P1 transversal, más específicamente perpendicular, al eje óptico A y/o una segunda porción P2 coaxial al eje óptico A.

En otras palabras, el haz láser 5 se propaga a lo largo de la porción P1 y de la porción P2,
25 respectivamente, siendo P1 transversal a P2, coincidiendo preferiblemente la dirección P2 con el eje óptico A.

Alternativamente, la trayectoria P podría ser coaxial al eje óptico A.

30 De acuerdo con algunas realizaciones preferidas, el grupo óptico 6 puede comprender al menos una lente de enfoque 14 configurada para determinar el enfoque del haz láser 5; preferiblemente, la lente de enfoque 14 puede estar dispuesta en la porción P2.

Preferiblemente, el grupo óptico 6 también puede comprender una lente de colimación 15 y
35 un espejo dicróico 16 configurados para desviar el haz láser 5 de la porción P1 a la porción P2. En particular, la lente de colimación 15 puede disponerse en la porción P1.

Alternativamente, el espejo dicróico 16 puede configurarse para desviar el eje óptico A y dejar inalterada la trayectoria P del haz láser 5.

5 Más detalladamente, el dispositivo de movimiento puede estar configurado para controlar un movimiento del haz láser 5 con respecto a la pieza de trabajo 2 en una primera dirección de avance relativo D1 y/o en una segunda dirección de avance relativo transversal, preferiblemente perpendicular, a la primera dirección de avance relativo D1.

10 De acuerdo con algunas realizaciones preferidas, el dispositivo de movimiento puede comprender un soporte (no ilustrado y conocido per se) configurado para soportar la pieza de trabajo 2. De acuerdo con algunas variantes no limitativas, el soporte puede ser móvil de modo que se ponga en movimiento para obtener un movimiento relativo entre el haz láser 5 y la pieza de trabajo 2.

15 Alternativa o adicionalmente, al menos una porción del dispositivo de movimiento puede estar integrada en y/o asociada con el soporte para mover la pieza de trabajo 2 con el fin de obtener un movimiento relativo entre el haz láser 5 y la pieza de trabajo 2.

20 Alternativa o adicionalmente, el dispositivo de movimiento puede comprender una base de apoyo móvil que porte la fuente de emisión 4 y/o el grupo óptico 6 y/o una porción del grupo óptico 6 para mover el haz láser 5.

Más detalladamente, el dispositivo de monitoreo 8 puede comprender al menos un sensor, 25 preferiblemente un sensor óptico, configurado para adquirir las señales, preferiblemente las señales ópticas, más preferiblemente para adquirir las imágenes adquiridas 9.

Preferiblemente, el sensor puede ser y/o comprender una cámara de vídeo 17, por ejemplo, del tipo CCD o CMOS, configurada para adquirir las señales, preferiblemente las señales 30 ópticas, más preferiblemente las imágenes adquiridas 9.

Más específicamente, la cámara de vídeo 17 puede configurarse para adquirir las imágenes adquiridas 9 de forma continua y en tiempo real, a fin de obtener una secuencia temporal de las imágenes adquiridas 9.

35 Más preferiblemente, la cámara de vídeo 17 puede estar configurada para adquirir las

imágenes adquiridas 9 a una frecuencia de al menos 1000 cuadros por segundo, aún más preferiblemente de al menos 1500 cuadros por segundo.

5 Por ejemplo, la videocámara 17 puede ser una XiQ MQ013MG-ON, Ximea, Münster, Alemania, preferiblemente asociada a un filtro de infrarrojos.

La videocámara 17 puede tener, por ejemplo, una resolución de 200 x 200 píxeles y funcionar a 750 Hz.

10 Preferiblemente, la cámara de vídeo 17 puede estar configurada para captar un haz de radiación electromagnética 18 procedente de la zona de procesamiento 7.

De acuerdo con algunas realizaciones preferidas no limitativas, el haz de radiación electromagnética 18 puede corresponder a las emisiones del proceso en la zona de procesamiento 7. De acuerdo con dicha realización, se evita la necesidad de una fuente de
15 iluminación adicional.

Alternativamente, el haz de radiación electromagnética 18 puede ser el resultado de una iluminación de la zona de procesamiento 7, por ejemplo, mediante una fuente de iluminación
20 independiente.

Preferiblemente, el haz de radiación electromagnética 18 puede atravesar al menos una porción del grupo óptico 6, en particular la lente de enfoque 14 y el espejo dicróico 16.

25 De acuerdo con algunas realizaciones no limitativas, el sensor óptico, preferiblemente la cámara de vídeo 17, puede estar dispuesto de forma coaxial al eje óptico A. Más preferiblemente, el haz de radiación electromagnética 18 puede propagarse, en uso, paralelo al menos a la porción P2.

30 Alternativamente, el haz de radiación electromagnética 18 podría propagarse a lo largo de una trayectoria que tuviera al menos dos porciones transversales entre sí.

Más detalladamente, el dispositivo de monitoreo 8 también puede comprender un grupo de filtrado óptico 19 configurado para garantizar que el sensor óptico, preferiblemente la cámara
35 de vídeo 17, reciba, en uso, la radiación electromagnética en una banda de longitud de onda definida. Preferiblemente, el grupo de filtrado óptico 19 puede funcionar en el infrarrojo

cercano (siendo un filtro en el infrarrojo cercano).

Preferiblemente, el grupo de filtrado óptico 19 puede estar dispuesto aguas arriba de la videocámara 17 con respecto a la tercera dirección.

5

Como se describe con más detalle a continuación, la unidad de control 3 puede estar configurada para controlar el funcionamiento de la máquina de procesamiento láser 1.

10

Por ejemplo, el haz láser 5 puede incidir, preferiblemente mediante calentamiento, el material de la pieza de trabajo 2 en la zona de procesamiento 7 creando una hendidura que se extiende a lo largo de todo el grosor de la pieza de trabajo 2. Dicha hendidura tiene y/o está delimitada por una superficie con una rugosidad determinada por el procesamiento láser.

15

Cabe señalar que la rugosidad puede expresarse de varias maneras. Por ejemplo, la rugosidad puede describirse en términos de una rugosidad media aritmética (conocida en el sector como R_a), es decir, de un valor medio aritmético de un perfil de rugosidad determinado por las desviaciones con respecto a un conducto central dentro de una extensión de evaluación. Otra manera puede ser la descripción de la rugosidad relativa a un pico de altura máxima aguas abajo del perfil de rugosidad y la determinación de un valor medio en la extensión de la evaluación del perfil de rugosidad (dicha rugosidad se conoce en el sector como R_z). Se conocen otras formas de definir la rugosidad que, sin embargo, son bien conocidas por el experto en la técnica.

20

25

Sin embargo, cabe destacar que, para el objeto de la presente invención, la elección específica de la rugosidad no es relevante, sino que sólo tiene que utilizarse de forma coherente durante los procesos de aprendizaje automático.

30

Más detalladamente, el haz láser 5 puede incidir en la pieza de trabajo 2 desde una primera superficie 20 de la pieza de trabajo 2 hasta una segunda superficie 21 de la pieza de trabajo 2 opuesta a la primera superficie 20. Aún más en particular, durante el procesamiento láser se forma una superficie transversal a la primera superficie 20 y a la segunda superficie 21, dicha superficie transversal tiene una rugosidad determinada por el procesamiento láser.

35

Preferiblemente, la unidad de control 3 puede comprender un módulo de análisis 22 configurado para analizar las señales adquiridas, preferiblemente las señales ópticas adquiridas, más preferiblemente las imágenes 9 adquiridas.

Como se explica con más detalle a continuación, el módulo de análisis 22 puede estar configurado para estimar una rugosidad (es decir, un valor estimado de la rugosidad) resultante del procesamiento láser, por ejemplo, resultante de una acción de corte.

5

Preferiblemente, el módulo de análisis 22 puede estar configurado para asociar una información temporal (es decir, un momento temporal de la estimación) y/o una información espacial (es decir, una posición del procesamiento láser con la que se asocia la estimación de la rugosidad) a cada rugosidad estimada.

10

Preferiblemente, la unidad de control 3 puede estar configurada para controlar y/o modificar, preferiblemente en retroalimentación, uno o más parámetros del proceso en función de la rugosidad estimada por el módulo de análisis 22, preferiblemente para obtener una rugosidad deseada.

15

Por ejemplo, si la rugosidad estimada es inferior a la rugosidad deseada, la unidad de control 3 puede configurarse para aumentar la velocidad determinada del movimiento relativo entre el haz láser 5 y la pieza de trabajo 2; o si la rugosidad estimada es superior a la rugosidad deseada, la unidad de control 3 puede configurarse para disminuir la velocidad determinada del movimiento relativo entre el haz láser 5 y la pieza de trabajo 2.

20

No obstante, la unidad de control 3 también puede configurarse para modificar otros parámetros del proceso. Preferiblemente, el módulo de análisis 22 puede estar configurado para determinar, preferiblemente en tiempo real, un curso temporal de al menos un parámetro característico (véanse las Figuras 2c y 3), preferiblemente cursos temporales respectivos de una pluralidad de parámetros característicos, obtenidos a partir de las señales adquiridas, preferiblemente a partir de las señales ópticas adquiridas, más preferiblemente a partir de las imágenes 9 adquiridas.

25

Preferiblemente, el módulo de análisis 22 también puede estar configurado para calcular al menos un parámetro estadístico, preferiblemente una pluralidad de parámetros estadísticos, a partir de los respectivos cursos temporales del parámetro o parámetros característicos y estimar la rugosidad a partir del parámetro o parámetros estadísticos. Preferiblemente, cada curso temporal puede considerarse para un tiempo definido, en particular este tiempo definido puede ser constante.

35

Más detalladamente, el módulo de análisis 22 puede estar configurado para transformar cada imagen adquirida 9 (independientemente de las demás) en una imagen transformada 23 (véase la Figura 2b), en particular mediante una segmentación para obtener una imagen binaria respectiva. Preferiblemente, cada imagen transformada 23 (imagen binaria) comprende un primer color (por ejemplo, blanco) y un segundo color (por ejemplo, negro).

Debe tenerse en cuenta que cada imagen adquirida 9 puede tener información relativa a las intensidades adquiridas, por ejemplo, corresponder a las intensidades de las emisiones del proceso. En particular, el primer color y el segundo color se asocian a las zonas respectivas de cada imagen transformada 23 que tienen intensidades respectivamente inferiores, superiores o iguales a un umbral de intensidad determinado.

De acuerdo con algunas realizaciones preferidas, cada imagen adquirida 9 y, en consecuencia, las respectivas imágenes transformadas 23 comprenden una respectiva zona de alta intensidad 24.

Preferiblemente, cada zona de alta intensidad 24 puede comprender una porción principal 25 respectiva, por ejemplo, puede aproximarse y/o describirse mediante una forma circular o elíptica, y una o más porciones alargadas 26 respectivas que se extienden desde la porción principal 25 respectiva.

Preferiblemente, se define cada zona de alta intensidad 24, y preferiblemente también se definen las respectivas porciones principales 25 y/o las respectivas porciones alargadas 26, basándose en las zonas de la respectiva imagen adquirida 9 que tienen intensidades superiores o iguales al umbral de intensidad determinado.

Con especial referencia a la Figura 2c, cada uno de los parámetros característicos mencionados puede corresponder a un parámetro geométrico de la zona de alta intensidad 24.

Por ejemplo, cada parámetro geométrico puede elegirse del grupo que consiste en: una superficie de la zona de alta intensidad 24, un centro de masa c de la zona de alta intensidad 24, una anchura w de la zona de alta intensidad 24, una longitud l de la zona de alta intensidad 24, otros factores de forma de la zona de alta intensidad 24 y/o sus combinaciones.

Más detalladamente, cada zona de alta intensidad 24 puede extenderse en una dirección

longitudinal D_l y una dirección transversal D_t transversal, preferiblemente perpendicular, a la dirección longitudinal D_l .

5 Por ejemplo, la anchura w respectiva puede definirse por una extensión máxima de la zona de alta intensidad 24 en la dirección transversal D_t .

Por ejemplo, la longitud l respectiva de cada zona de alta intensidad 24 puede definirse por una extensión máxima de la zona de alta intensidad 24 en la dirección longitudinal D_l .

10 Cabe señalar que cada parámetro característico puede definirse no sólo por las características geométricas, sino también por sus combinaciones y/o por sus respectivas derivadas temporales.

15 Por ejemplo, la superficie de la zona de alta intensidad 24 puede corresponder al número de píxeles que tienen una intensidad igual o superior al umbral de intensidad determinado. Preferiblemente, la superficie puede determinarse mediante la imagen binaria correspondiente.

20 Cabe señalar que, de acuerdo con algunas realizaciones, es posible generar más de una imagen binaria de cada imagen adquirida 9, generándose cada imagen binaria teniendo en cuenta un umbral de intensidad diferente. En otras palabras, podría ser posible considerar una pluralidad de superficies como parámetros característicos que se distinguen del umbral de intensidad específico aplicado.

25 De acuerdo con algunas realizaciones preferidas, el módulo de análisis 22 también puede estar configurado para determinar una distribución probabilística respectiva (véase la Figura 4) a partir del curso temporal respectivo de cada parámetro característico y para determinar el parámetro o parámetros estadísticos a partir de la distribución probabilística respectiva.

30 Preferiblemente, los parámetros estadísticos respectivos se eligen del grupo que consiste en un valor medio respectivo, una varianza respectiva y un momento estadístico de orden superior.

35 Preferiblemente, la Figura 4 ilustra dos ejemplos esquemáticos de distribuciones probabilísticas relativas a dos condiciones de una acción de corte que se distinguen, por ejemplo, para una variación de al menos un parámetro del proceso, tal como la velocidad del

movimiento relativo entre el haz láser 5 y la pieza de trabajo 2. En función de estas distribuciones probabilísticas, es posible estimar dos rugosidades diferentes.

5 Preferiblemente, el módulo de análisis 22 puede configurarse para funcionar en modo continuo, preferiblemente en el tiempo y/o en cantidad, de manera que se determine un curso temporal de la estimación de la rugosidad.

10 Ventajosamente, el módulo de análisis 22 puede estar configurado para calcular una estimación continua en tiempo real de la rugosidad en función de cada parámetro característico, preferiblemente de cada parámetro estadístico determinado.

Más detalladamente, el módulo de análisis 22 puede estar configurado para estimar la rugosidad mediante una regresión estadística en función del parámetro o parámetros estadísticos determinados para estimar la rugosidad.

15 En particular, el modelo de regresión estadística se entrenó de acuerdo con los métodos estándar de aprendizaje automático.

20 Más específicamente, el módulo de análisis 22 puede estimar la rugosidad mediante un modelo de regresión lineal o no lineal, o una regresión de árbol de decisión, o una regresión de bosque aleatorio, o una regresión aumento extremo del gradiente, o una regresión de modelo de probabilidad lineal, o una regresión de percepción multicapa en función de cada parámetro estadístico.

25 Alternativa o adicionalmente, el módulo de análisis 22 puede estar configurado para ejecutar una clasificación en clases en función del parámetro o parámetros estadísticos determinados para estimar la rugosidad.

30 El Solicitante comprobó que todos los modelos de regresión estadística probados tienen estimaciones buenas y muy satisfactorias de la rugosidad. Además, las pruebas realizadas por el Solicitante pusieron de manifiesto que ninguno de los modelos de regresión estadística puede considerarse superior a los demás modelos de regresión estadística en la estimación de la rugosidad (teniendo en cuenta diversos factores, que pueden ser el rendimiento del modelo, su facilidad de aplicación, etc.).

35 Por ejemplo, el modelo de regresión lineal puede integrarse fácilmente, pero tiene un

rendimiento ligeramente inferior al modelo de regresión de percepción multicapa.

De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad de control 3 también puede estar configurada para recibir y/o permitir la definición y/o una modificación de una rugosidad deseada, por ejemplo, mediante una interfaz hombre-máquina de la máquina de procesamiento láser 1 y/o de la unidad de control 3. Por ejemplo, la rugosidad deseada puede expresarse en términos de un valor medio deseado de la rugosidad.

Preferiblemente, la unidad de control 3 puede estar configurada para controlar los parámetros del proceso en función de la estimación de la rugosidad y de la rugosidad deseada.

En uso, la máquina de procesamiento láser 1 ejecuta un procesamiento láser de una pieza de trabajo 2, por ejemplo, para cortar y/o taladrar y/o soldar y/o producir de forma adaptable la pieza de trabajo 2.

Ventajosamente, el método de procesamiento láser, ejecutado preferiblemente por la máquina de procesamiento láser 1, comprende al menos los siguientes pasos:

a) dirigir, preferiblemente gracias a la fuente de emisión 4 y al grupo óptico 6, el haz láser 5 sobre la pieza de trabajo 2, preferiblemente en la zona de procesamiento 7 de la pieza de trabajo 2 y/o para ejecutar un procesamiento láser, por ejemplo, para ejecutar un corte y/o un taladrado y/o una operación de soldadura y/o una fabricación aditiva, de la pieza de trabajo 2;

y
b) ejecutar, preferiblemente mediante el dispositivo de movimiento, el movimiento relativo entre el haz láser 5 y la pieza de trabajo 2, preferiblemente a una velocidad determinada, y preferiblemente para definir la forma del corte y/o del orificio.

Ventajosamente, el método también puede prever el monitoreo, preferiblemente en tiempo real y de forma continua, del procesamiento láser, preferiblemente del resultado del procesamiento láser, para estimar la rugosidad resultante del procesamiento láser.

La ejecución del método en tiempo real y de forma continua significa que el método se ejecuta durante todo el procesamiento láser (es decir, durante toda la trayectoria en el tiempo del procesamiento láser) y que es posible intervenir (si es necesario) durante el procesamiento láser y no sólo después del procesamiento láser.

En otras palabras, y como se explica con más detalle a continuación, de acuerdo con la

presente invención se obtiene una estimación de la rugosidad durante la ejecución del procesamiento láser y sustancialmente durante cada momento del procesamiento láser.

Por esta razón, el método también puede comprender los siguientes pasos (véase la Figura 5):

c) adquirir señales, preferiblemente señales ópticas, más preferiblemente una pluralidad de imágenes adquiridas 9, de la zona de procesamiento 7;

d) determinar un curso temporal (véanse, por ejemplo, las Figuras 3 y 5) de uno o varios parámetros característicos obtenidos a partir de las señales, preferiblemente de las señales ópticas, más preferiblemente de la pluralidad de imágenes adquiridas 9;

e) estimar en función de cada curso temporal de uno o más parámetros característicos una rugosidad (es decir, un valor estimado respectivo de la rugosidad) obtenida durante el procesamiento láser.

Preferiblemente, los pasos de c) a e) pueden ser ejecutados por el módulo de análisis 22.

Preferiblemente, los pasos de c) a e) pueden ejecutarse de forma continua y en tiempo real. En otras palabras, las señales ópticas, preferiblemente las imágenes adquiridas 9, pueden adquirirse y analizarse durante la ejecución del procesamiento láser y para obtener las estimaciones de la rugosidad durante el procesamiento láser.

De acuerdo con algunas realizaciones preferidas, durante el paso d) pueden determinarse los cursos temporales de al menos dos parámetros característicos, preferiblemente de al menos tres parámetros característicos, y durante el paso e) se estima la rugosidad en función de cada curso temporal determinado. En particular, durante el paso e) se determinan uno o varios parámetros estadísticos de cada curso temporal y durante el paso e) se estima la rugosidad en función de cada parámetro estadístico.

El Solicitante observó que de este modo es posible mejorar la calidad de la estimación de la rugosidad.

De acuerdo con algunas realizaciones no limitativas, durante el paso e) puede asociarse información temporal y/o espacial a cada estimación de la rugosidad (es decir, a cada valor estimado de la rugosidad).

Más específicamente, cada información espacial puede ser el resultado de la correlación entre

la información temporal de cada estimación de rugosidad y el movimiento relativo (por ejemplo, caracterizado por la velocidad y/o la dirección o direcciones de avance) entre el haz láser 5 y la pieza de trabajo 2.

- 5 En mayor detalle y con especial referencia a las Figuras 3 a 5, durante el paso e) puede determinarse al menos un parámetro estadístico respectivo a partir del curso temporal de uno o más parámetros característicos y, posteriormente, puede calcularse una estimación continua en tiempo real de la rugosidad en función del al menos un parámetro estadístico determinado.

10

Cabe señalar que el término “continuo en tiempo real” significa que la estimación de la rugosidad se ejecuta durante el procesamiento láser.

- De acuerdo con algunas variantes, durante el paso e) se puede determinar una pluralidad de parámetros estadísticos a partir del curso temporal de al menos un parámetro característico y/o de una pluralidad de parámetros característicos. Por ejemplo, es posible que dos parámetros estadísticos se determinen a partir de la evolución temporal de un primer parámetro característico, mientras que un único parámetro estadístico se determina a partir de la evolución temporal de un segundo parámetro característico.

20

De acuerdo con algunas realizaciones preferidas no limitativas, durante el paso e) puede determinarse una distribución probabilística respectiva a partir de al menos un curso temporal del parámetro o parámetros característicos.

- 25 Preferiblemente, cada parámetro estadístico puede determinarse a partir de al menos una distribución probabilística respectiva.

Por ejemplo, pueden determinarse parámetros estadísticos como un valor medio respectivo, una varianza respectiva o un momento estadístico de orden superior (de la distribución probabilística respectiva).

30

- Más detalladamente, durante el paso e) se ejecuta una regresión estadística en función del parámetro o parámetros estadísticos determinados para estimar la rugosidad. Por ejemplo, durante el paso e) es posible emplear un modelo de regresión lineal o no lineal, o una regresión de árbol de decisión, o una regresión de bosque aleatorio, o una regresión de aumento extremo del gradiente, o una regresión de modelo de probabilidad lineal en función

35

de cada parámetro estadístico para obtener una estimación de la rugosidad.

Alternativa o adicionalmente, durante el paso e) puede ejecutarse una clasificación en clases en función del parámetro o parámetros estadísticos determinados para estimar la rugosidad.

5

En particular, los algoritmos mencionados corresponden a algoritmos estándar de aprendizaje automático.

10

Como ya se ha dicho, en función de la rugosidad específica elegida (por ejemplo, R_a o R_z) los algoritmos se entrenan de acuerdo con las normas conocidas por el experto en la técnica.

15

De acuerdo con algunas realizaciones preferidas, durante el paso c) pueden adquirirse una pluralidad de imágenes adquiridas 9 de la zona de procesamiento 7, preferiblemente de forma continua y en tiempo real, preferiblemente cada imagen adquirida 9 puede adquirirse en un momento temporal diferente de las demás. En otras palabras, durante el paso c) puede determinarse una secuencia temporal de imágenes adquiridas 9.

20

Preferiblemente, el curso temporal de cada parámetro característico puede determinarse a partir de las respectivas zonas de alta intensidad 24. Además, el curso temporal de cada parámetro característico se deriva del hecho de que cada imagen adquirida 9 se adquirió en un momento temporal diferente. Además, pero no necesariamente, de acuerdo con dicha realización, también puede determinarse la información temporal y/o espacial de las estimaciones de la rugosidad.

25

Preferiblemente, cada parámetro característico puede corresponder a un parámetro geométrico de la zona de alta intensidad 24.

30

Por ejemplo, el parámetro geométrico puede elegirse del grupo que consiste en: una superficie de la zona de alta intensidad 24, un centro de masa c de la zona de alta intensidad 24, una anchura de la zona de alta intensidad, una longitud de la zona de alta intensidad, otros factores de forma de la zona de alta intensidad y/o sus combinaciones.

35

El Solicitante observó que la elección de utilizar al menos el centro de masa c de la zona de alta intensidad 24 como parámetro característico permite una estimación precisa de la rugosidad. Preferiblemente, también se eligen otro u otros parámetros característicos, tal como en particular la superficie, para obtener una mejora adicional de la estimación.

De acuerdo con algunas realizaciones preferidas no limitativas, el método comprende además un paso f) de control, durante el cual se controlan uno o más parámetros del proceso en función de la rugosidad estimada. Preferiblemente, durante el paso f) se controlan uno o más parámetros del proceso para obtener una rugosidad deseada.

Cabe señalar que la rugosidad deseada puede expresarse en términos de un valor medio deseado de la rugosidad. De acuerdo con algunas variantes posibles, la rugosidad deseada (es decir, el respectivo valor medio deseado) puede comprender un rango definido dentro del cual debe situarse la rugosidad estimada.

Cabe destacar que la rugosidad deseada puede describirse en relación con uno de los tipos de rugosidad conocidos, tales como, por ejemplo, R_a y R_z siempre que el uso durante la ejecución del método sea coherente; es decir, la rugosidad deseada puede referirse, por ejemplo, a la rugosidad R_a y, por lo tanto, también la rugosidad estimada se referirá a la rugosidad R_a estimada.

Preferiblemente, durante el paso f), la unidad de control 3 compara la rugosidad estimada con la rugosidad deseada. La unidad de control 3 mantiene constantes los parámetros del proceso si la rugosidad estimada se corresponde con la rugosidad deseada y varía uno o más parámetros del proceso si la rugosidad estimada no se corresponde con la rugosidad deseada.

De acuerdo con algunas realizaciones preferidas no limitativas, los pasos de a) a e), preferiblemente los pasos de a) a f), se ejecutan de forma continua en el tiempo, y preferiblemente para obtener una pieza de trabajo 2 deseada. En otras palabras, se obtiene un control del método durante el procesamiento láser. Además, es posible intervenir en caso de que el valor estimado de la rugosidad no se corresponda con el valor de la rugosidad deseada.

De acuerdo con algunas realizaciones preferidas no limitativas, el método comprende además un paso g) de repetición, durante el cual se repiten los pasos de a) a e), preferiblemente los pasos de a) a f), en particular para ejecutar el método de forma continua y preferiblemente en tiempo real.

De acuerdo con algunas realizaciones preferidas no limitativas, los pasos de c) a e),

preferiblemente los pasos de c) a f), se ejecutan durante la ejecución de los pasos a) y b). Esto significa que los pasos de c) a e), preferiblemente los pasos de c) a f), se ejecutan durante el procesamiento láser (y no posteriormente al mismo).

- 5 De acuerdo con algunas realizaciones preferidas no limitativas, también puede ejecutarse un paso de almacenamiento, durante el cual los valores de las estimaciones de rugosidad se almacenan, por ejemplo, en una memoria de la máquina de procesamiento láser 1. Preferiblemente, los valores de las estimaciones de la rugosidad pueden almacenarse junto con información temporal y/o espacial (es decir, cada valor puede atribuirse a un determinado momento temporal de la respectiva estimación del valor y/o de la posición relativa al procesamiento láser).

Preferiblemente, el paso de almacenamiento puede ser ejecutado automáticamente por el módulo de análisis 22.

- 15 De acuerdo con algunas realizaciones preferidas no limitativas, también puede ejecutarse un paso de generación, durante el cual se genera una documentación a partir de los valores de las estimaciones de rugosidad, preferiblemente a partir de los valores de las estimaciones de rugosidad almacenados durante el paso de almacenamiento.

- 20 Preferiblemente, la documentación puede utilizarse con fines de certificación del procesamiento láser. Por ejemplo, mediante la documentación se puede demostrar que la rugosidad obtenida durante el procesamiento láser corresponde a los valores deseados de acuerdo con las normas cualitativas definidas.

- 25 Preferiblemente, el paso de generación puede ser ejecutado automáticamente por el módulo de análisis 22.

- 30 De acuerdo con algunas realizaciones preferidas, durante el paso d), el curso temporal de cada parámetro característico puede determinarse para un tiempo definido, en particular definido y constante (en otras palabras, el número de imágenes adquiridas 9 que pueden utilizarse para determinar cada parámetro característico es constante y predefinido).

- 35 Por lo tanto, cada estimación de la rugosidad se basa en el análisis de un número definido de imágenes adquiridas 9.

Más detalladamente, cada imagen adquirida 9 se adquiere en un tiempo t específico. En consecuencia, es posible extraer el parámetro característico elegido y asociar el tiempo t respectivo a cada parámetro característico. Posteriormente, es posible obtener un curso temporal del parámetro característico, como se ilustra en la Figura 3. El análisis estadístico de este curso temporal permite determinar el parámetro o parámetros estadísticos respectivos.

Más en detalle, durante el paso c), el módulo de análisis 22 puede funcionar en modo continuo, preferiblemente tanto en tiempo como en cantidad, para determinar el curso temporal del parámetro o parámetros característicos.

Más específicamente, durante el paso d) el módulo de análisis 22 analiza para cada parámetro característico una pluralidad de imágenes adquiridas 9, adquiridas sucesivamente entre sí y durante el tiempo definido. Estas imágenes adquiridas 9 permiten entonces estimar la rugosidad y para diferentes momentos temporales.

Por ejemplo, el módulo de análisis 22 analiza una primera pluralidad de imágenes adquiridas 9 y una segunda pluralidad de imágenes adquiridas 9 para determinar respectivamente una primera estimación de la rugosidad y una segunda estimación de la rugosidad posterior en el tiempo a la primera estimación de la rugosidad. Además, el análisis puede prever que la primera pluralidad de imágenes adquiridas 9 y la segunda pluralidad de imágenes adquiridas 9 se superpongan parcialmente para obtener las respectivas estimaciones de la rugosidad.

Preferiblemente, la segunda pluralidad de imágenes adquiridas 9 comprende el mismo número de imágenes adquiridas 9 de la primera pluralidad de imágenes adquiridas 9. La segunda pluralidad de imágenes adquiridas 9 comprende un número definido de imágenes adquiridas 9 adicionales que se adquirieron (en relación con el curso temporal) después de las imágenes adquiridas 9 de la primera pluralidad de imágenes adquiridas 9 (en otras palabras, el número definido de imágenes adquiridas 9 sigue, en relación con el curso temporal, a la última imagen adquirida 9 de la primera pluralidad de imágenes adquiridas 9).

En otras palabras, la primera pluralidad de imágenes adquiridas 9 y la segunda pluralidad de imágenes adquiridas 9 cubren un periodo de tiempo idéntico, en particular igual al tiempo definido. Mientras que la secuencia de la primera pluralidad de imágenes adquiridas 9 comprende imágenes adquiridas 9 que se adquirieron antes que todas las demás, la segunda pluralidad de imágenes adquiridas 9 comprende una secuencia de imágenes adquiridas 9 de

las que al menos una imagen adquirida 9 se adquirió después que todas las demás de la primera pluralidad.

Este proceso se repite y la segunda pluralidad de imágenes adquiridas 9 asume el papel de la primera pluralidad de imágenes adquiridas 9.

Preferiblemente, durante el paso d), puede ejecutarse un subpaso de transformación, durante el cual cada imagen adquirida 9 se transforma en una imagen transformada 23 respectiva. Tras lo cual, cada parámetro característico puede obtenerse a partir de la imagen transformada 23.

En particular, el subpaso de transformación puede definir y/o ser un subpaso de “umbralización” durante el cual cada imagen adquirida 9 se segmenta para obtener una imagen binaria respectiva (imagen transformada 23).

Preferiblemente y con especial referencia a la Figura 2b, durante el subpaso de “umbralización” pueden asociarse: el primer color (por ejemplo, blanco) con zonas respectivas de cada imagen transformada 23 (imagen binaria) que correspondan a zonas respectivas de la respectiva imagen adquirida 9 que tengan intensidades iguales o superiores al umbral de intensidad determinado; y el segundo color (por ejemplo, negro) con zonas respectivas de cada imagen transformada 23 (imagen binaria) que correspondan a zonas respectivas de la respectiva imagen adquirida 9 que tengan intensidades inferiores al umbral de intensidad determinado.

Más detalladamente, durante el subpaso de “umbralización”, cada píxel de la respectiva imagen adquirida 9 puede asociarse al primer color o al segundo color para obtener la respectiva imagen transformada 23 basándose en el umbral de intensidad determinado. El primer color puede asociarse a los píxeles que tienen una intensidad igual o superior al umbral de intensidad determinado y el segundo color puede asociarse a los píxeles que tienen una intensidad inferior al umbral de intensidad determinado.

Examinando las características de la máquina de procesamiento láser 1 y del método de acuerdo con la presente invención, resultan evidentes las ventajas que permiten obtener.

En particular, es posible obtener una estimación de la rugosidad durante el procesamiento láser y no sólo después.

Además, es posible estimar la rugosidad de forma continua en el tiempo y durante el procesamiento láser.

- 5 También es posible controlar los parámetros del proceso a fin de modificarlos para obtener una rugosidad deseada. Esto permite evitar la necesidad de un reprocesamiento de la pieza de trabajo acabada 2 y/o obtener una optimización de la productividad del procesamiento láser.
- 10 Por último, es evidente que se pueden introducir modificaciones y variaciones en la máquina de procesamiento láser 1 y en el método descrito e ilustrado en la presente que no se aparten del alcance de protección definido por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1.- Un método de procesamiento láser de una pieza de trabajo (2) de un material metálico para cortar y/o taladrar, que comprende al menos los siguientes pasos:

- 5 a) dirigir un haz láser (5) sobre la pieza de trabajo (2) en una zona de procesamiento (7) de la pieza de trabajo (2) para ejecutar un procesamiento láser;
- b) ejecutar un movimiento relativo entre el haz láser (5) y la pieza de trabajo (2);
- c) adquirir una pluralidad de imágenes adquiridas (9), de la zona de procesamiento (7), en donde cada imagen adquirida (9) comprende una zona de alta intensidad (24);
- 10 d) determinar a partir de las respectivas zonas de alta intensidad (24) de la pluralidad de imágenes adquiridas (9) un curso temporal de uno o más parámetros característicos; y
- e) estimar en función de cada curso temporal de uno o más parámetros característicos una rugosidad obtenida durante el tratamiento por láser;
- 15 en donde durante el paso e) se determina al menos un parámetro estadístico respectivo a partir del curso temporal de uno o más parámetros característicos y la rugosidad se estima en función de al menos un parámetro estadístico.

2.- Método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde se determina un curso temporal de la estimación de la rugosidad en función del al menos un parámetro estadístico determinado;

- 20 y/o
- una estimación continua en tiempo real de la rugosidad en función de cada parámetro estadístico determinado.

3.- Método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde durante el paso e) se determina al menos una distribución probabilística respectiva a partir de uno o más cursos temporales de uno o más parámetros característicos.

- 25

4.- Método de acuerdo con la reivindicación 1, 2 o 3, en donde durante el paso e) se ejecuta una regresión estadística y/o una clasificación en clases en función del parámetro o parámetros estadísticos determinados para estimar la rugosidad.

- 30

5.- Método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde durante el paso e) se emplea un modelo de regresión lineal o no lineal, o una regresión de árbol de decisión, o una regresión de bosque aleatorio, o una regresión de aumento extremo del gradiente, o una regresión de modelo de probabilidad lineal, o una regresión de perceptrón multicapa en función de cada parámetro estadístico para obtener una estimación de la rugosidad.

- 35

6.- Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada parámetro característico corresponde a un parámetro geométrico de la zona de alta intensidad (24).

5

7.- Método de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el parámetro geométrico se elige del grupo que consiste en: un área de superficie de la zona de alta intensidad (24), un centro de masa de la zona de alta intensidad (24), una anchura de la zona de alta intensidad (24), una longitud de la zona de alta intensidad (24), otros factores de forma de la zona de alta intensidad (24) y/o sus combinaciones.

10

8.- Método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde durante el paso e) se determina al menos una distribución probabilística respectiva a partir de uno o más cursos temporales de uno o más parámetros característicos y cada parámetro estadístico se elige del grupo que consiste en un valor medio respectivo, una varianza respectiva y un momento estadístico de orden superior de la distribución probabilística respectiva.

15

9.- Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada zona de alta intensidad (24) se define a partir de las zonas de la respectiva imagen adquirida (9) que tienen intensidades superiores o iguales a un umbral de intensidad determinado.

20

10.- Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde durante el paso d) se determinan los cursos temporales de al menos dos parámetros característicos, preferiblemente de al menos tres parámetros característicos, y durante el paso e) se determinan uno o más parámetros estadísticos a partir de cada curso temporal determinado y se estima la rugosidad en función de cada parámetro estadístico.

25

11.- Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los pasos de a) a e) se ejecutan de forma continua y/o en donde los pasos de c) a e) se ejecutan durante la ejecución de los pasos a) y b).

30

12.- Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un paso de control, durante el cual se controlan uno o varios parámetros del proceso en función de la rugosidad estimada.

35

13.- Método de acuerdo con la reivindicación 12, en donde durante el paso de control, el

parámetro o los parámetros del proceso se controlan de forma que se obtenga una rugosidad deseada.

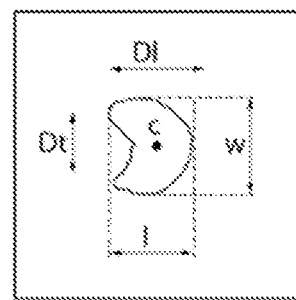
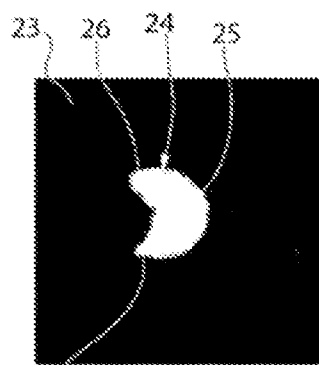
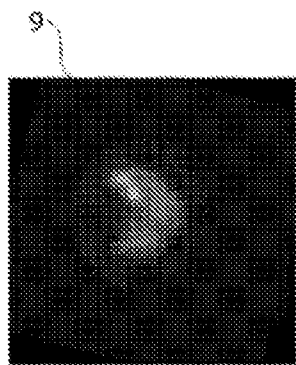
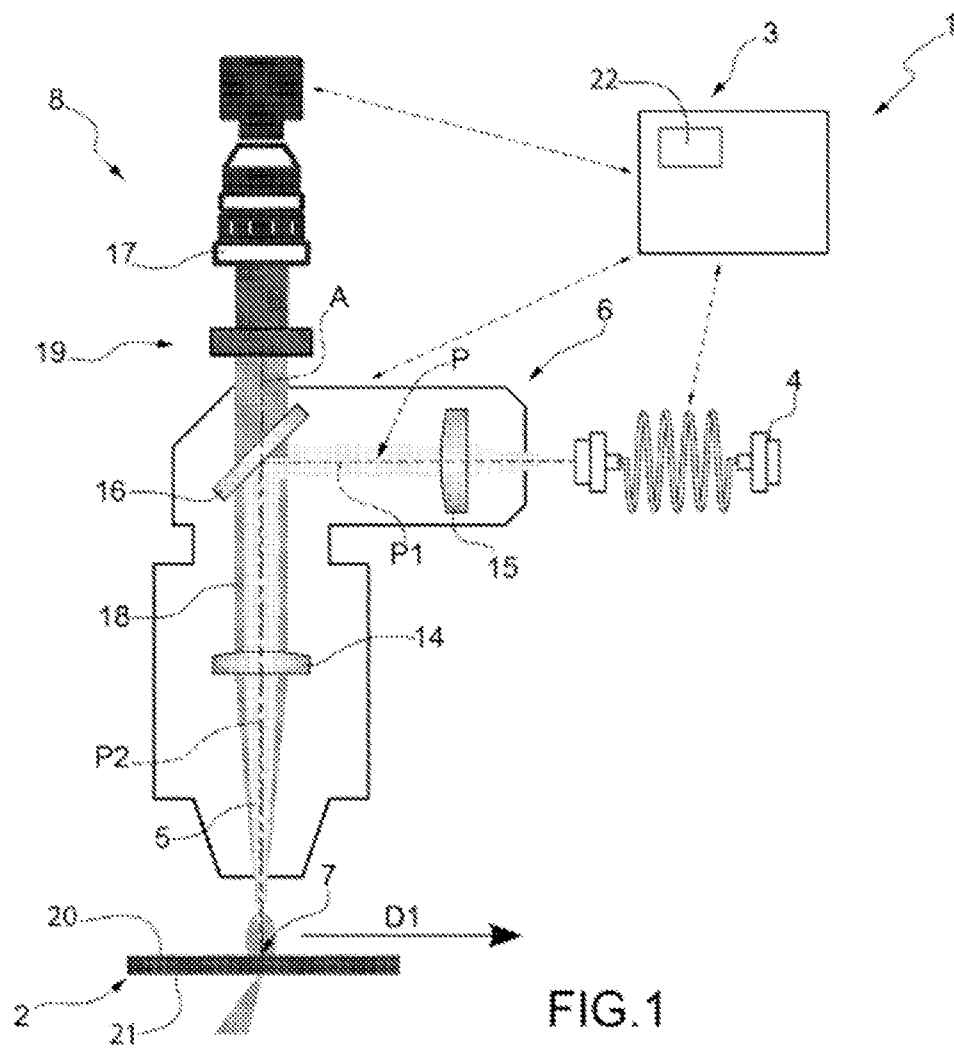
5 14.- Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un paso de generación, durante el cual se genera una documentación, preferiblemente una documentación con fines de certificación, a partir de los valores de las estimaciones de rugosidad.

10 15.- Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde durante el paso d), el curso temporal se determina para un tiempo definido, siendo preferiblemente el tiempo definido constante.

16. Máquina de procesamiento láser (1) que comprende:

- 15 - una unidad de control (3) para controlar el funcionamiento de la máquina de procesamiento láser (1);
- una fuente de emisión (4) conectada operativamente a la unidad de control (3) y configurada para emitir un haz láser (5);
- un grupo óptico (6) para controlar el haz láser (5); y
- 20 - un dispositivo de movimiento conectado operativamente a la unidad de control (3) y configurado para ejecutar un movimiento relativo entre el haz láser (5) y la pieza de trabajo (2);

en donde la unidad de control (3) está configurada y/o programada para controlar la fuente de emisión (4) y/o el grupo óptico (6) y/o el dispositivo de movimiento de tal manera que se ejecute un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.



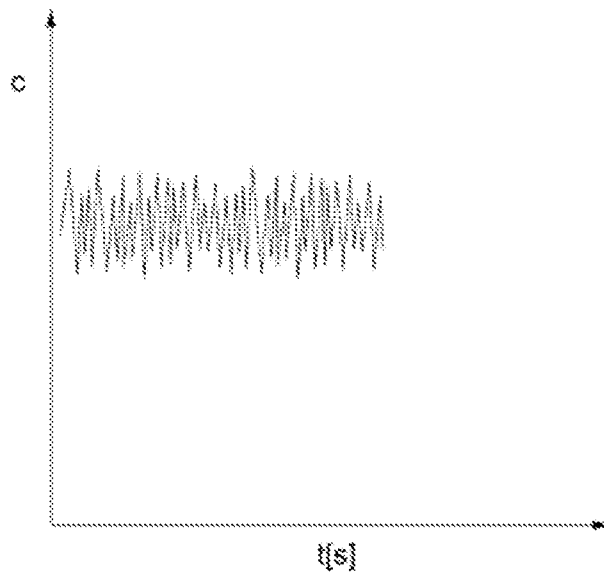


FIG.3

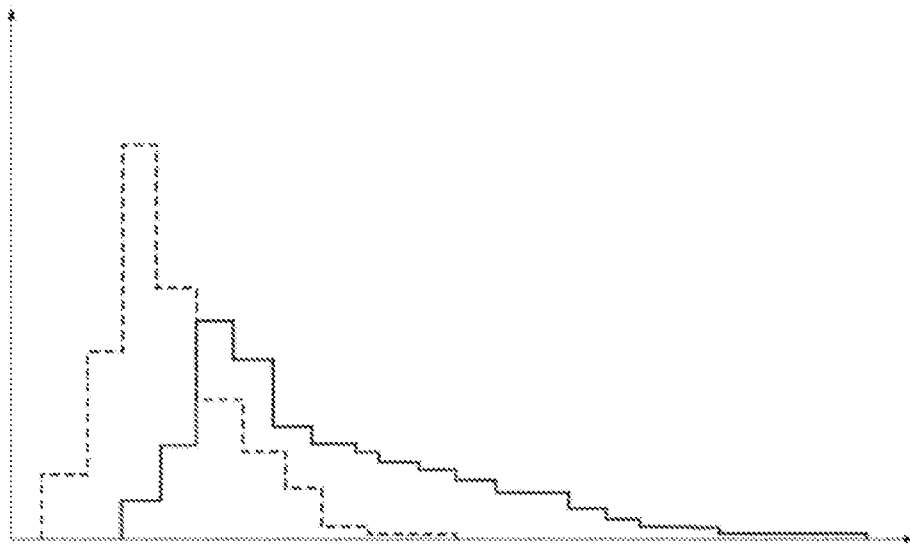


FIG.4

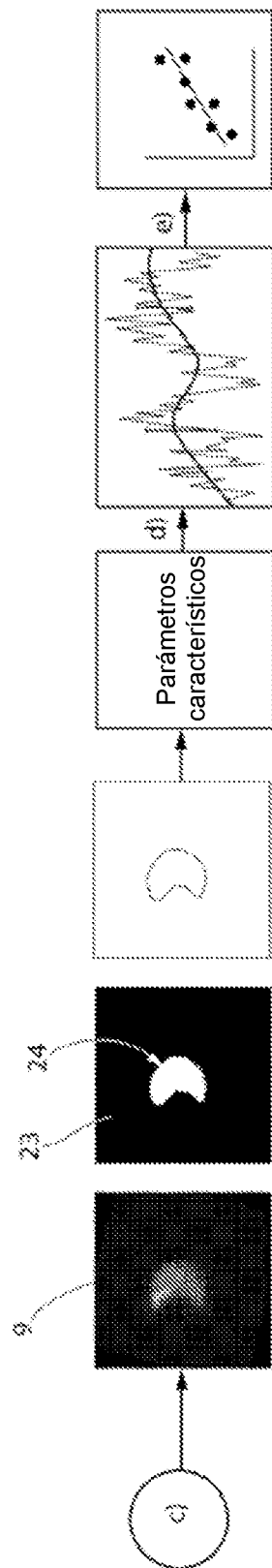


FIG.5