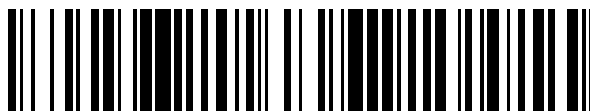


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 664 738**

51 Int. Cl.:

G01B 11/30 (2006.01)

G01N 21/956 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.02.2014 PCT/SE2014/050159**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.08.2014 WO14126526**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.02.2014 E 14751291 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.01.2018 EP 2956743**

54 Título: **Un método y un aparato para la medición cuantitativa de la precisión de la superficie de un área**

30 Prioridad:

14.02.2013 SE 1330009

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

23.04.2018

73 Titular/es:

**QSO INTERFEROMETER SYSTEMS AB (100.0%)
Montörgatan 7
302 62 Halmstad, SE**

72 Inventor/es:

BÅÅTH, LARS

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 664 738 T3

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

DESCRIPCIÓN

Un método y un aparato para la medición cuantitativa de la precisión de la superficie de un área

Campo técnico

5 Las realizaciones de esta memoria se refieren a un método para la medición cuantitativa óptica in situ de la precisión de la superficie de un área durante el proceso de pulido o pulimentación.

Antecedentes

Las modificaciones de las superficies, especialmente el pulido, son un proceso requerido en muchos sectores de la producción industrial. Éstos incluyen:

- 10 • La automoción, por ejemplo, el pulido de moldes para partes plásticas tales como tapas de maletero y cubiertas de luz y lentes.
- Partes del motor como ejes de leva.
- Implantes médicos, por ejemplo, la superficie de las articulaciones artificiales de la cadera.
- La óptica, para los moldes de inyección para gafas de seguridad y lentes de contacto.

15 Tales superficies pulidas pueden tener varios metros cuadrados de tamaño y requieren una precisión de la superficie de 1 micrón o menos. En la actualidad, la muestra es llevada desde el proceso de pulido a un laboratorio donde la superficie es medida simultáneamente sobre áreas pequeñas bajo un proceso que requiere mucho tiempo. Además, la mayor parte del pulido se realiza de forma manual, en la que el pulidor manual establece la calidad observando la herramienta/molde, mientras que el procedimiento automático con robot o láser tiene, en general, que ser controlado sacando la herramienta/molde fuera de la cámara de proceso.

20 Para verificar la precisión de la superficie, se conocen varios métodos en la técnica.

La patente de los EE.UU. US 6084671 describe un método y un aparato para el análisis de superficies que usa perfiles de haz gaussianos. Un haz gaussiano es conformado con un sistema de lente e ilumina una superficie. La luz reflejada está distorsionada por las irregularidades de la superficie. El rayo reflejado es observado seguidamente por medio de una serie de filtros espaciales que básicamente eliminan la forma original del haz gaussiano. El haz medido con la diferencia de la forma del haz residual es grabado a continuación con una cámara. Esta solución requiere que la superficie esté iluminada con una pauta de haz muy específica con una forma gaussiana. Además, la iluminación de la superficie es desigual sobre la superficie, ya que los bordes del área estudiada están iluminados menos intensamente que por el centro y, por tanto, cualquier medida estadística de la estructura de la superficie está sesgada hacia el centro.

30 La patente de los EE.UU. US 2005/0046870 describe un método para caracterizar superficies iluminándolas en ángulo para que muestren el gráfico de sombras de una estructura mayor sobre la superficie. Esta solución describe y analiza solamente reflexiones geométricas. No se refiere a la iluminación de superficies pulidas con luz monocromática. Además, la iluminación no está dirigida perpendicularmente a la superficie.

35 La patente de los EE.UU. US 2012/107971 describe un conjunto de almohadilla para pulir de un aparato de pulido mecánico químico. La almohadilla para pulir tiene una superficie de pulido y una superficie en oposición a la superficie de pulido a ser fijada a una pletina, y una ventana sólida transmisora de luz formada en la almohadilla para pulir. La ventana de transmisión de luz es más transmisora de la luz que la almohadilla para pulir. La ventana de transmisión de la luz tiene una superficie inferior que difunde la luz. Esta solución requiere una capa superior química transparente sobre la superficie que produce una interferencia con la onda reflejada en la superficie. Éste es un instrumento de medición de zona única y una técnica que mide la interferencia entre dos superficies superpuestas.

40 La patente de los EE.UU. US 4.873.434 describe un microscopio óptico de escaneo que comprende una fuente de radiación óptica y medios para enfocar la radiación desde la fuente a una zona a ser estudiada de una superficie que está siendo examinada. La zona es desviada alrededor de un punto de la superficie, y la topografía de la superficie es calculada midiendo la amplitud y/o la fase de la radiación reflejada desde la superficie en la posición de la zona. Esta técnica mide una zona a la vez. Cada zona es manejada por separado y no proporciona ningún análisis cuantitativo directo sobre un área mayor.

45 La patente de los EE.UU. US 5.917.191 describe un método para medir la topografía de una superficie caracterizada por realizar múltiples escaneos de la superficie con una unidad de escaneo láser y utilizar los múltiples escaneos para crear representaciones de la topografía de la superficie. Los datos topográficos de la superficie pueden ser usados también para calcular el esfuerzo por compresión o tensión causado por una película delgada aplicada a la superficie de una oblea semiconductor. El aparato de la solución escanea un rayo láser a través de una superficie

5 en una dirección X, y detecta los desplazamientos de una porción reflejada del rayo láser en una dirección Z. Se usa un par de fotodetectores para transformar los desplazamientos en la dirección Z del haz reflejado en señales analógicas que son digitalizadas e introducidas en un microordenador para ser analizadas. Los múltiples escaneos de la superficie son realizados de preferencia colocando la pieza de trabajo sobre un pedestal que puede ser hecho girar a varias posiciones angulares. En esta técnica se escanea punto por punto para proporcionar datos topográficos aislados. No describe ni enseña el análisis cuantitativo sobre un área extensa simultáneamente.

Compendio

10 Por tanto, un objeto de las realizaciones de la memoria presente es proporcionar un método para realizar mediciones cuantitativas de la calidad de las superficies durante los procesos de pulido, en donde el método elimina los inconvenientes de la técnica anterior.

15 Las realizaciones de esta memoria se refieren a un método y a un aparato para determinar la precisión cuantitativa de una superficie, sobre la que un haz de luz monocromática paralela es enviado perpendicularmente a la superficie de una muestra. Los parámetros cuantitativos que definen la topografía de la superficie son deducidos seguidamente registrando simultáneamente la intensidad de la luz reflejada por cada píxel de una imagen de cámara enfocada con una lente de cámara sobre el área de la superficie que está siendo investigada. Se hace a continuación una transformación de Fourier de la imagen de la intensidad del área desde las dimensiones de la abertura de la superficie a las dimensiones del ángulo de dispersión. A continuación, son calculados los parámetros de la superficie de la imagen a partir de la transformada de Fourier de la intensidad y son aplicados a los parámetros cuantitativos de la superficie.

20 Las realizaciones de la memoria presente describen un método y un aparato para la medición cuantitativa óptica in situ de la precisión de la superficie de un área durante el proceso de pulido, en el que una onda de luz monocromática es dirigida sobre un área de la superficie predefinida y la imagen de la luz reflejada es grabada con una cámara y un sistema de lente enfocado sobre el área de la superficie. La onda de luz plana es dirigida perpendicularmente o en un ángulo de menos de 6 grados hacia la superficie. Además, la cámara y el sistema de lente pueden ser situados perpendicularmente o en un ángulo inferior a 6 grados hacia la superficie. La diferencia angular entre la luz reflejada que entra en la cámara y el eje óptico de la cámara y el sistema de lente puede ser inferior a 6 grados.

30 Los parámetros de precisión de la superficie son deducidos a partir de la imagen grabada. Los parámetros de precisión de la superficie pueden ser determinados mediante una transformada de Fourier de la imagen grabada, los componentes predeterminados de Fourier están ajustados al espectro de Fourier del área de la superficie, y los parámetros de precisión de la superficie son determinados a partir de los componentes de Fourier. Dichos componentes de Fourier pueden ser determinados seguidamente a lo largo del eje mayor elongación y a través del eje de menor elongación de la transformada de Fourier como un gran componente gaussiano; el pico del espectro; un amplio componente gaussiano como base del pico; y el pico del componente fuera del máximo central.

35 Se pueden incorporar componentes adicionales a los ejes mayor y menor como la cuota para los ejes mayor y menor de los componentes gaussianos grandes; la dirección del eje mayor; y la dirección del pico del componente fuera del centro máximo. Los parámetros de precisión de la superficie pueden entonces ser deducidos, tal como el gran componente gaussiano a lo largo del eje mayor dividido por el máximo del pico central, definiendo de esta manera la calidad del pulido; el amplio componente gaussiano cerca del pico dividido por el gran componente gaussiano que define el brillo de la superficie; el gran componente gaussiano a lo largo del eje de elongación mayor dividido por el gran componente gaussiano a lo largo del eje menor que define la simetría de la superficie; la dirección del eje mayor que muestra la dirección de las líneas estructurales de la superficie y el tamaño de un pico del componente fuera del pico máximo central que indica las líneas estructurales.

45 El método y el aparato se definen por un número de longitudes de onda en lugar de por el tamaño geométrico, y no están limitados a una longitud de onda óptica específica aunque ésta sea usada como ejemplo.

El método y el aparato han sido verificados y probados para los casos en los que el área del píxel de enfoque tiene menos de 100 longitudes de onda de diámetro, y la superficie que observa el área escaneada es mayor de 4000 longitudes de onda de diámetro. Éstas no son limitaciones teóricas sino más bien prácticas debido a los límites actuales del número de píxeles de las cámaras.

50 Las realizaciones de esta memoria son especialmente útiles para determinar parámetros de la superficie sobre una gran área. Son robustas y están montadas para realizar mediciones dentro de una cámara de proceso. La distancia de trabajo es larga, 70 - 800 mm, mucho más larga que la de los sistemas objetivos de microscopio usados actualmente.

55 El uso industrial abarca desde la decisión sobre el camino del proceso y el método de pulido automático para herramientas industriales médicas y ópticas automáticas, moldes y productos; para tomar de decisiones objetivas en los procesos manuales de pulido. El aparato puede estar montado en un brazo de robot, fuera de una cámara de proceso láser o en el suelo de los talleres de pulido manual. El método consiste en tomar una sola imagen de una

gran parte, en el caso tratado a continuación de 4x4 mm, del área de la superficie y es, por tanto, rápido y mucho más insensible a las vibraciones en comparación con mediciones sobre un único punto e instrumentos de interferometría. El área total de la superficie puede ser medida también yendo sobre el área total a pasos de, en el caso que se analiza a continuación, 2 - 4 mm.

- 5 La precisión de la superficie puede ser definida como la desviación topográfica de la superficie respecto a la superficie plana en el mismo plano que la onda de luz.

Algunas ventajas específicas de algunas realizaciones de esta memoria son:

- Una larga distancia de trabajo: puede ser situado a 70 - 800 mm del área objeto;
 - Una gran superficie de forma simultánea: medición rápida;
- 10 • Datos cuantitativos sobre un área extensa como realimentación del proceso de pulido.

Descripción breve de los dibujos

Las realizaciones se describen a continuación a modo de ejemplo haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 ilustra un aparato según las realizaciones de la invención presente.

- 15 La Figura 2 ilustra una geometría del sistema según las realizaciones de la invención presente.

La Figura 3 ilustra la intensidad de la transformada de Fourier de la imagen.

Descripción detallada

La Figura 1 muestra una fuente de luz monocromática (láser o diodo láser) 1 de una longitud de onda λ que emite luz a un expansor de haz 2. Puede observarse aquí que un expansor de haz expande el rayo láser de manera que se puede considerar que el área central donde se toman las mediciones tiene la misma fase y amplitud en un plano llano, es decir, hay una onda de luz monocromática que incide sobre la superficie. La luz frontal de onda plana del expansor de haz es reflejada desde un divisor de haz 3 a una superficie objeto 4. La luz es reflejada desde la superficie a través del divisor de haz a una lente de enfoque 5 y es grabada por una cámara 6. La cámara usada en el ejemplo es una cámara CCD; que tiene una lente de cámara de 75 mm. El diámetro de la zona de enfoque de la superficie del ejemplo es de 2 micrones.

20

25

La geometría del sistema es mostrada en la Figura 2. La superficie del objeto 4 está limitada al interior de la zona del área de enfoque. La superficie tiene un plano de referencia 7 y el plano de la onda plana de entrada está representado con una línea 8. La normal 9 al plano de referencia de la superficie 7 tiene un ángulo de inclinación φ respecto a la normal 10 de la onda plana de entrada 8. La luz de entrada desde la dirección 11 en $x = x_1$, incide en la superficie objeto 4 en el punto 12 $x_1, z_1 + \Delta z_1$. Se calcula la fase de la luz 13 emitida desde el punto 12 en una dirección Θ con la normal 10 del plano de ondas luminosas de entrada 8. El centro de fase es una posición ($x = 0, z = 0$) en el sistema coordinado definida por la onda llana de entrada 8 y la normal 10 en una posición donde cruza el plano de referencia de la superficie 7.

30

La Figura 3 muestra la intensidad de la transformada de Fourier de la imagen en un corte a través del eje mayor de la distribución elíptica de ruido Gaussiano de la transformada. Las notaciones a1 - a4 son componentes que se analizan a continuación.

35

La fase de la luz entrante en $z = 0$ es cero en todos los puntos x a lo largo de la superficie objeto. El análisis a continuación se concentra en la dispersión de luz dentro de una zona de enfoque, es decir, la misma que un píxel grabado en el CCD. También asumimos que la fuente emisora en la posición ($x_1, z_1 + \Delta z_1$) es mucho más pequeña que una longitud de onda y por tanto funciona como un punto de dispersión esférica de la onda de entrada.

40

La luz que entra por $x = x_1$ y se emite con el ángulo Θ se retrasa en:

$$\Delta L = z_1 + \Delta z_1 + \Delta l$$

Donde Δz_1 es la desviación de la superficie desde un plano y

$$z_1 = x_1 \times \tan(\varphi)$$

$$45 \quad \Delta l = \frac{z_1 + \Delta z}{\cos(\Theta)}$$

Además, hay una diferencia de trayectoria geométrica Δg , entre la onda emitida desde la posición ($x = 0, z = 0$) y la onda emitida desde la superficie y que pasa por $z = 0$ en $x = x_1 + \Delta x_1$. Este camino se puede calcular como

$$\Delta g = (x_1 + \Delta x_1) \times \text{sen}(\Theta)$$

Donde

$$\Delta x_1 = (z_1 + \Delta z_1) \times \tan(\Theta)$$

- 5 La diferencia de fase entre la onda de entrada y emitida en la posición de referencia de fase ($x = 0, z = 0$) y la onda correspondiente en ($x = x_1, z = z_1 + \Delta z_1$) en la línea que pasa por la posición ($x = 0, z = 0$) perpendicular al ángulo de emisión Θ es por tanto:

$$\delta(x) = 2\pi \frac{\Delta L(x) - \Delta g(x)}{\lambda}$$

Esta función se puede extender más introduciendo una curvatura de la superficie focal $f(x)$ para convertirse en:

$$\delta(x) = 2\pi \frac{\Delta L(x) - \Delta g(x) + f(x)}{\lambda}$$

- 10 El voltaje complejo de la señal reflejada en la posición ($x = x_1, z = z_1 + \Delta z_1$) es:

$$V_1(x_1) = A_1 e^{-i\delta_1(x_1)}$$

donde A_1 es la amplitud de la señal.

- 15 Esto se extiende fácilmente a dos dimensiones (x, y). El área focal está inclinada en ángulos (ϕ_x, ϕ_y) y el desplazamiento desde un plano es la función bidimensional $\Delta z(x, y)$. El voltaje complejo de la luz reflejada desde el área de enfoque en la dirección (Θ_x, Θ_y) es entonces la suma coherente de todos los voltajes complejos como:

$$V(\text{área focal}) = \sum_x \sum_y V(x, y)$$

La intensidad emitida en la dirección (Θ_x, Θ_y) desde el área focal $S(X, Y)$ es:

$$I_{x,y}(\alpha, \beta) = \langle V(X, Y) * V(X, Y)^* \rangle_T$$

- 20 T es el tiempo promedio para la intensidad, X, Y es la posición del área focal en el plano focal sobre la muestra, α es el ángulo del cenit y β es el ángulo acimutal de la luz emitida.

De la misma manera, ahora definimos los ángulos de inclinación ϕ_x y ϕ_y como ángulos del cenit χ y acimut ξ a la normal del plano focal. También establecemos que el plano focal sea paralelo al frente de onda entrante.

- 25 Según algunas realizaciones de la invención presente, la cámara está inclinada para mirar la muestra en la misma dirección que la luz del expansor de haz, según se muestra en la Figura 1. El ángulo del cenit es entonces $\alpha = 0$ o ($\Theta_x = 0, \Theta_y = 0$). En este caso, la compensación de fase para la posición (x, y) en el plano donde el eje X en la dirección del ángulo del acimut ϕ_y se puede escribir como:

$$\delta(x, y) = 2\pi \frac{x * \tan(\phi_x) + \Delta z(x, y) + f(x, y)}{\lambda}$$

El voltaje complejo emitido desde el área focal es entonces:

$$V(\text{área focal}) = \sum_x \sum_y A(x, y) e^{-i2\pi \frac{x * \tan \phi_x + \Delta z(x, y) + f(x, y)}{\lambda}}$$

- 30 Suponiendo que el material es el mismo en cada píxel x, y , y las variaciones de superficie Δz y f son pequeñas sobre el área focal, entonces A es constante sobre el área focal y ésta se convierte en:

$$V(\text{focalarea}) = A * \sum_x \sum_y e^{-i2\pi \frac{x * \tan \phi_x + \Delta z(x, y) + f(x, y)}{\lambda}}$$

La intensidad emitida desde el área focal en la posición X, Y puede entonces escribirse como:

$$I_{X,Y} = \left\langle A^2 \sum_x \sum_y e^{-i2\pi \frac{x \cdot \tan \varphi_x + \Delta z(x,y) + f(x,y)}{\lambda}} * \sum_x \sum_y e^{i2\pi \frac{x \cdot \tan \varphi_x + \Delta z(x,y) + f(x,y)}{\lambda}} \right\rangle_T$$

5 Aquí A^2 es la intensidad reflejada por un espejo perfecto y el segundo término es la atenuación de ésta debida a la interferencia fuera de fase dependiendo del ángulo de inclinación φ_x , la variación de la superficie $\Delta z(x, y)$ y el factor de forma $f(x, y)$. Hay que tener en cuenta que la interferencia también puede ser constructiva lo que da lugar a la radiación de Speckle del área de la superficie focal.

Suponiendo que el material es el mismo en toda la muestra y que la amplitud A puede ser considerada igual en todas partes, la intensidad retornada directa para cada área focal depende solamente de la geometría de la superficie local:

- 10
1. ángulo de inclinación φ_x ,
 2. variación de la superficie $\Delta z(x, y)$, y
 3. factor de forma $f(x, y)$.

15 El área focal es la misma que la del disco Airy del objetivo de la cámara. El sistema de lente de la cámara está construido de manera que un disco Airy es escaneado en un píxel CCD. En este caso, por tanto, la imagen de intensidad observada de la muestra es una medida directa de la geometría de la superficie local relativa de las áreas focales de la muestra. Los píxeles cercanos con la misma intensidad forman la estructura de la imagen, causada, por ejemplo, por un ángulo de inclinación similar.

20 Las realizaciones de esta memoria no están limitadas al ángulo del cenit de cero grados. Es posible un pequeño ángulo entre los haces entrantes y reflejados si este ángulo es pequeño en comparación con el ángulo de difracción con la escala de tamaños que está siendo considerada. En la práctica, esto significa que la diferencia angular entre la luz monocromática iluminadora y el eje óptico del sistema de lente de la cámara debe ser inferior a 6 grados.

Ejemplo

25 Este ejemplo es el caso de una superficie de herramienta que está siendo pulimentada por una máquina o un ser humano. El proceso de pulido requiere mediciones de la superficie que representan la rugosidad de la superficie para determinar la manera de proceder con el proceso de pulido para alcanzar una uniformidad predefinida. En este caso, se estudia el objetivo en bloques de 4x4 mm con 2000x2000 píxeles a una resolución focal de 2000 nm. La luz es emitida por un diodo láser a la longitud de onda de 635 nm.

30 Una imagen del área de la superficie de 4x4 mm sobre la superficie objeto es grabada con una cámara CCD de 2000x2000 píxeles de escala de grises. La imagen en posición (i, j) en la superficie es $I_{ij}(X, Y)$ es transformada por Fourier y el valor absoluto de la transformada de Fourier se almacena como dB en una matriz:

$$S_{ij}(u, v) = 20 \cdot \log_{10}(|F(I(X, Y))|)$$

Aquí, u y v son la frecuencia espacial en las direcciones X e Y, respectivamente.

$S_{ij}(u, v)$ es un espectro espacial bidimensional de la geometría del área de la superficie. Éste se estudia a continuación y los siguientes parámetros de la estructura de superficie son extraídos como:

- 35
1. El pico central (S1) en (u = 0, v = 0) es la intensidad total reflejada del área.
 2. Hay un gran bulto (S3), que corresponde a las variaciones de intensidad distribuidas aleatoriamente.
 3. El pico S1 tiene un pedestal (S2), que corresponde a los píxeles cercanos que tienen una intensidad similar.
 4. El pico aislado (S4) corresponde a una estructura lineal a gran escala.
 5. S3 es elíptico (asimetría), lo que indica que la intensidad está más ordenada en una dirección a lo largo del ángulo de la estructura Φ .
- 40

Ahora podemos conectar estos parámetros de la estructura de la intensidad con los parámetros de la geometría de la superficie anteriores.

Un espejo perfecto con un ángulo de inclinación $\varphi_x = 0$, $\Delta z = 0$ y $f = 0$ en todas partes tiene un pico S1 único solamente.

- Las líneas rectas, es decir, causadas por el paso de pulido previo, se muestran como picos aislados S4.
- Un pulido unidireccional mostraría más características aleatorias en una dirección en comparación con el ruido distribuido elípticamente S3 con el ángulo de posición del eje mayor Φ_{gauss} .
- 5 • Una superficie rugosa tiene una gran variación de los ángulos de inclinación φ_x y muestra una gran distribución gaussiana S3.
- Una superficie donde los ángulos de inclinación φ_x son similares para la mayoría de las áreas focales muestra un S3 más pequeño y un S2 más grande. Esto parece una superficie brillante, pero no del todo especular.
- 10 • Además, el brillo puede ser más fuerte en una dirección y más parecido a un espejo en la otra a un ángulo Φ_{gauss} .
- Finalmente, cuando la geometría del área focal se vuelve plana, es decir, tanto Δz como f son pequeños ($< \lambda/10$), la superficie se convierte en un espejo.

15 Los parámetros de la superficie se reducen aún más conforme se realizan cortes a través de la transformada de Fourier $S(u, v)$ a lo largo del ángulo de posición del eje mayor Φ_{gauss} y perpendicular a éste. Los perfiles gaussianos se ajustan a las características descritas anteriormente y están indicados como:

corte del eje mayor: $a1p, a2p, a3p$ y $a4p$ (Figura 3);

corte del eje menor: $a1m, a2m, a3m$.

La intensidad máxima en el centro de la transformada S se indica como a_{max} . Téngase en cuenta que estos valores están en dB. Los parámetros estructurales se calculan seguidamente como:

- 20 1. $a_{\text{max}} - a3p$ = parte de ruido gaussiano, es decir, la cantidad de ruido de banda ancha en comparación con la intensidad retornada total.
2. $(a_{\text{max}} - a3p)/(a_{\text{max}} - a3m)$ = la asimetría del ruido gaussiano.
3. Φ_{gauss} = el ángulo de la estructura de asimetría.
4. $a4p - a3p$ = la cantidad de líneas estructurales en comparación con el ruido gaussiano.
- 25 5. $a2p - a3p$ = brillo.

A continuación, estos parámetros pueden ser mapeados sobre la superficie de la muestra, o ser usados individualmente para pruebas de zona de 4×4 mm de la muestra.

Los parámetros pueden realimentarse a continuación al proceso de pulido para determinar los pasos siguientes de pulido.

30 Para realizar las acciones del método con el aparato que determina la precisión cuantitativa de una superficie, el aparato puede en algunas realizaciones comprender o ser conectable a un conjunto de circuitos de procesamiento, que pueden ser denominados también módulo de procesamiento o procesador. El conjunto de circuitos de procesamiento puede estar configurado para ejecutar los pasos del procesamiento y análisis de la imagen de las acciones del método según se describe en las realizaciones de esta memoria.

35 Las realizaciones para determinar la precisión cuantitativa de una superficie pueden ser llevadas a cabo por medio de uno o más procesadores, como, por ejemplo, el conjunto de circuitos de procesamiento comprendido en el o conectado al aparato representado en la Figura 1, junto con el código de programación de ordenador para ejecutar las funciones y acciones de las realizaciones de esta memoria. El código de programación mencionado anteriormente puede ser proporcionado también como un producto de programa de ordenador, por ejemplo en forma de un soporte de datos que lleva un código de programación de ordenador o medios de código para llevar a cabo las realizaciones de esta memoria cuando es cargado en el conjunto de circuitos de procesamiento. El código del programa de ordenador puede, por ejemplo, ser proporcionado como código de programa puro al circuito de procesamiento o mediante un servidor que lo descarga a los circuitos de procesamiento. El portador puede ser uno de una señal electrónica, señal óptica, señal de radio o medio de almacenamiento legible por ordenador, tales como, por ejemplo, memorias electrónicas como una RAM, una ROM, una memoria Flash, una cinta magnética, un CD-ROM, un DVD, un disco Blu-ray, etc.

40 Por tanto, el aparato puede comprender o ser conectable además a una memoria, a la que puede hacer referencia o comprender uno o más módulos o unidades de memoria. La memoria puede estar dispuesta para ser usada para almacenar instrucciones ejecutables y datos para realizar los métodos descritos en este documento cuando son ejecutadas por el conjunto de circuitos de procesamiento. Los expertos en la materia apreciarán además que el

- conjunto de circuitos de procesamiento y la memoria descritos anteriormente pueden referirse a una combinación de circuitos analógicos y digitales, y/o uno o más procesadores configurados con software y/o firmware (microprograma), por ejemplo, almacenados en la memoria, que cuando son ejecutados por el uno o más procesadores, tales como el conjunto de los circuitos de procesamiento, llevan a cabo el método tal como se ha descrito anteriormente. Uno o más de estos procesadores, así como el otro hardware digital, pueden estar incluidos en un solo circuito integrado específico de la aplicación (ASIC), o varios procesadores y diversos equipos de hardware digitales pueden estar distribuidos entre varios componentes separados, ya sea empaquetados o ensamblados individualmente en un sistema-en-un-chip (SoC).
- 5
- Por tanto, un programa informático que comprende instrucciones que, cuando son ejecutadas al menos por un procesador, por ejemplo, el conjunto de circuitos de procesamiento descrito anteriormente, causa que el al menos un procesador realice el método para determinar la precisión cuantitativa de una superficie según se ha descrito anteriormente. Además, está presente un portador que contiene el programa informático, en donde el portador es uno de una señal electrónica, señal óptica, señal de radio o medio de almacenamiento legible por ordenador.
- 10
- Las realizaciones de la memoria presente no están limitadas a las realizaciones preferidas descritas anteriormente. Se pueden usar diversas alternativas, modificaciones y equivalentes. Por tanto, las realizaciones anteriores no deben ser interpretadas como limitadoras.
- 15

REIVINDICACIONES

1. Un método para la medición cuantitativa de los parámetros de precisión de la superficie de un área, comprendiendo:
- dirigir una onda de luz plana monocromática hacia un área de la superficie predefinida;
- 5 grabar una imagen de la luz reflejada con una cámara y un sistema de lente enfocados sobre dicha área de la superficie;
- deducir los parámetros de precisión de la superficie a partir de la imagen grabada;
- caracterizado por que dichos parámetros de precisión de la superficie se determinan de la siguiente manera:
- 10 se obtiene un espectro espacial bidimensional ($S_{ij}(u, v)$) de la geometría del área de la superficie mediante una transformada de Fourier de la imagen grabada;
- se ajustan los componentes predeterminados de Fourier ($a_{1p}, a_{2p}, a_{3p}, a_{4p}$) en un eje mayor cortado a lo largo del eje de mayor elongación de una distribución elíptica de ruido gaussiano (S_3) del espectro espacial bidimensional ($S_{ij}(u, v)$);
- 15 se ajustan los componentes de Fourier predeterminados (a_{1m}, a_{2m}, a_{3m}) en un eje menor cortado a través del eje de menor elongación de la distribución elíptica de ruido gaussiano (S_3) en el espectro espacial bidimensional ($S_{ij}(u, v)$);
- se determinan los parámetros de precisión de la superficie de dicha área de la superficie a partir de dichos componentes de Fourier.
- 20 2. El método de la reivindicación 1, en donde dicha onda de luz plana monocromática está dirigida perpendicularmente o en un ángulo inferior a 6 grados hacia dicha área de la superficie.
3. El método de la reivindicación 1 o 2, en donde dicho sistema de cámara y lente está dispuesto perpendicularmente o en un ángulo inferior a 6 grados hacia dicha área de la superficie.
4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 3, en donde la diferencia angular entre dicha luz reflejada y el eje óptico de dicha cámara y sistema de lente es inferior a 6 grados.
- 25 5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el área del píxel enfocado es inferior a 100 longitudes de onda de diámetro.
6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el área de la imagen de la superficie observada es mayor de 4000 longitudes de onda de diámetro.
- 30 7. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la luz tiene longitudes de onda ópticas o infrarrojas de 300 - 1500 nanómetros.
8. Un aparato para la medición cuantitativa de la precisión de la superficie de un área, comprendiendo dicho aparato:
- una fuente de luz para producir un rayo de luz de onda monocromática plana dirigido a lo largo de un camino óptico;
- un expansor de haz dispuesto a lo largo del camino óptico aguas abajo de la fuente de luz;
- medios de posicionamiento para posicionar un material en el camino óptico aguas abajo del expansor del haz;
- 35 un detector de imágenes, dispuesto a lo largo del camino óptico aguas abajo del material, para detectar el haz reflejado;
- caracterizado por que** dicho aparato comprende además un procesador configurado para determinar los parámetros de precisión de la superficie de la siguiente manera:
- 40 se obtiene un espectro espacial bidimensional ($S_{ij}(u, v)$) de la geometría del área de la superficie mediante una transformada de Fourier de la imagen grabada;
- se ajustan los componentes predeterminados de Fourier ($a_{1p}, a_{2p}, a_{3p}, a_{4p}$) en un eje mayor cortado a lo largo del eje de mayor elongación de una distribución elíptica de ruido Gaussiano (S_3) del espectro espacial bidimensional ($S_{ij}(u, v)$);
- 45 se ajustan los componentes predeterminados de Fourier (a_{1m}, a_{2m}, a_{3m}) en un eje menor cortado a través del eje de menor elongación de la distribución elíptica de ruido gaussiano (S_3) del espectro espacial bidimensional ($S_{ij}(u, v)$); y

se determinan los parámetros de precisión de la superficie de dicha área de la superficie a partir de dichos componentes de Fourier.

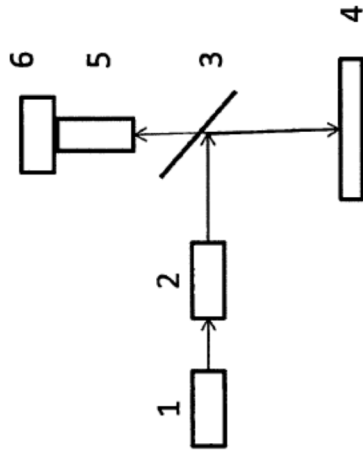


Fig. 1

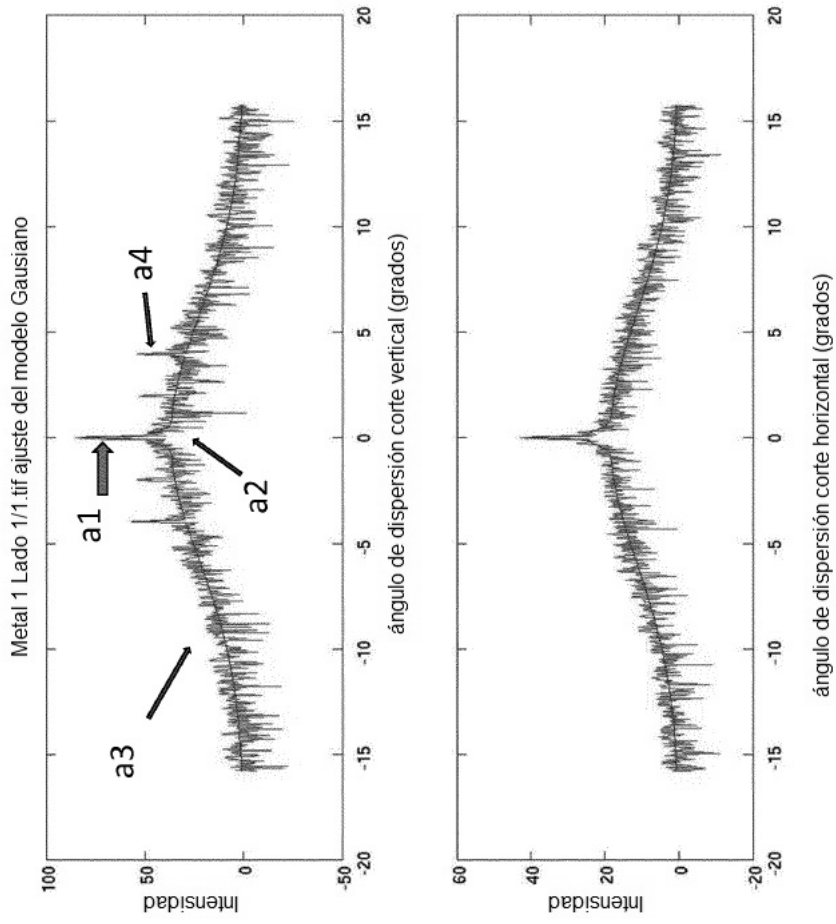


Fig. 3