

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 525 792**

51 Int. Cl.:

G01B 11/24 (2006.01)

G01B 11/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.05.2007 E 07725688 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.10.2014 EP 2027434**

54 Título: **Método y dispositivo para fijar errores de forma y de ondulaciones en superficies de forma libre continuas**

30 Prioridad:

02.06.2006 DE 102006027107

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

30.12.2014

73 Titular/es:

**INNOVENT E.V. (100.0%)
PRÜSSINGSTRASSE 27B
07745 JENA, DE**

72 Inventor/es:

**GROSSMANN, MARCO;
HEHL, KARL;
HERTZSCH, ALBRECHT y
KRÖGER, KNUT**

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 525 792 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

Método y dispositivo para fijar errores de forma y de ondulaciones en superficies de forma libre continuas

- 5 [0001] La invención se refiere a un método y a un dispositivo básico para la fijación de errores de forma y de ondulaciones en superficies de forma libre continuas, entre las cuales se debe entender la medición de estructuras de onda larga sobre superficies curvadas como por ejemplo asferas, segmentos de cilindro o planos deformados de onda larga.
- 10 [0002] Mediciones de la distancia palpables ópticamente y mecánicamente para la obtención de la forma de perfil y de la microgeometría de superficies tienen la desventaja, de que errores de medición como por ejemplo errores de guía del cabezal de medición o del comprobador en el registro así como en oscilaciones del cabezal de medición o del comprobador influyen fuertemente en los resultados de medición. Por consiguiente se deben garantizar condiciones de medición que se deben lograr para mediciones de alta precisión sólo en el laboratorio con velocidad de medición baja.
- 15 Otra desventaja de las mediciones de la distancia es la coherencia lineal de la zona de medición y del poder de resolución vertical. Si las superficies de forma libre se deben caracterizar con respecto a su error de forma y ondulado, se deben utilizar métodos de zoom costosos para combinar mediciones de perfil con una zona de medición diferente y poder de resolución respecto a un perfil completo. Para la medición sin contacto de superficies de forma libre ópticamente lisas, es decir, las amplitudes de rugosidad de la microestructura de la superficie del comprobador son esencialmente menores que la longitud de onda del haz de luz de medición, por eso se utilizan métodos interferométricos prioritariamente como procedimiento de control. Usan la longitud de onda de la luz como escala de calibración y miden diferencias de longitud de recorrido ópticas con alta precisión. En este caso se solapa una onda de referencia conocida con la onda habitualmente deformada de la pieza de prueba, la cual lleva a la aparición de interferencias. Mediante los máximos y mínimos de interferencia reproducidos se pueden determinar errores del comprobador de la forma estimativa. Es una condición que la onda de control y de referencia no se puedan apartar fuertemente la una de la otra, porque, de lo contrario, surge una multiplicidad de franjas de interferencia que ya no son solucionables en una reproducción. Para medir exactamente formas complejas se fabrican referencias de forma, llamadas lentes de nulidad. Sin embargo, la fabricación de tales lentes de nulidad es cara y requiere para cada forma de lentes nueva una referencia realizada. De tal modo, el procedimiento de control es idóneo sólo en la producción masiva de componentes ópticos. Una aplicación flexible de la interferometría en la prueba de asferas permite la utilización de compensadores de nulidad difractivos (hologramas generados por ordenador CHG [cf. por ejemplo Reichelt, S., Pruss, C., Tiziani, H.J.: Absolute interferometric test of aspheres by use of twin computer-generated holograms, Appl. Optics Vol. 42(22), p. 4468-4479, 2003]).
- 20 La fabricación de tales CHGs es sin embargo igualmente costoso y conlleva mucho tiempo. Además estos métodos interferométricos se delimitan sobre superficies ópticamente lisas.
- 25 [0003] Métodos métricos de perfil están caracterizados frecuentemente por el hecho de que la señal de medición se compone a partir del valor de altura local y de la inclinación superficial local. Para minimizar la influencia de la señal de inclinación sobre la señal de altura, se describen métodos diferentes, que incluyen la señal de inclinación mediante la reflexión de un haz de medición y la utilizan para la corrección de las señales de altura. Así en la US 5,424,834 se describe un sensor de distancia óptico que con ayuda un sensor de flexión de haz único registra la inclinación local de la superficie y con ayuda de esta señal corrige la señal de altura. En la solicitud de la patente WO 03/056305 A1 es descrito un medidor de perfil óptico, el cual, con ayuda de dos haces de luz irradiados oblicuamente respecto a las normales de superficie de ángulos de incidencia diferentes determina un perfil de altura.
- 30 En este caso, la pieza de prueba es iluminada preferiblemente bajo ángulos de incidencia que tienen el mismo total pero un signo diferente, donde la separación de luz incidente y reflejada en la superficie de muestra es realizada a través de la utilización de condiciones de polarización definidas con ayuda de elementos separadores de haz. Otra realización técnica propuesta allí es la medición en dos planos de incidencia diferentes, donde las señales a través de la proyección en el plano de referencia son divididas en una proporción paralela y vertical. En ambas formas de realización, la información de inclinación se separa de la información de altura a través de la formación adecuada de suma o de diferencia y el perfil es reconstruido exclusivamente con la señal de altura o la señal de inclinación. En el uso de la señal de altura, perturbaciones mecánicas y ruido óptico a través de la formación de suma de las señales conducen a fuentes de error. Además, una ponderación de las señales es causada a través del ángulo de incidencia.
- 35 Si el ángulo de incidencia es alto, se miden reforzadamente desniveles del perfil, mientras que en ángulos de incidencia más pequeños la inclinación del perfil se reproduce de manera reforzada en la señal. A través de la proyección en los dos planos de referencia, las señales de ambos haces de medición se unen entre sí con sensibilidad diferente en relación a la señal de inclinación y de altura y, por lo tanto, los valores registrados dependen de la señal con la sensibilidad más baja. Mediciones de error de forma y fijaciones de la ondulación muy precisas son, por consiguiente, imposibles.
- 40 [0004] Una medición ultraprecisa de la inclinación local de superficie y topografía de superficies ligeramente arqueadas permite la medición "Extended Shear Angle Difference" (por ejemplo DE 198 42 190 C1, DE 198 33 269 C1). Este procedimiento se basa en la medición de deflexión, donde inclinaciones locales de superficie son iniciadas en dos puntos de la vía táctil con compensación lateral. Algoritmos matemáticos (Elster, C., Weingärtner, I. Solution to the shearing problem, Applied Optics Vol. 38 (1999), No. 23, S. 5024-5031) permiten la reconstrucción de las inclinaciones locales de superficies a partir de dos frases de datos angulares de diferencia.
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

La topografía se determina con un procedimiento de integración. Esta medición muy precisa, sin embargo, está limitada a superficies ligeramente arqueadas, puesto que ambos haces de medición son registrados solo dentro de aperturas pequeñas, o deben ser compensados con un viraje del cabezal de medición, que lleva a un desplazamiento desconocido de los puntos de medición con respecto a una cuadrícula de muestreo equidistante. Además con esta disposición solo se pueden medir superficies altamente reflectantes. Para determinar un curso de perfil con los procedimientos de medición de inclinación descritos arriba, se debe integrar sobre los datos de medición de inclinación locales, lo cual lleva en caso de un ruido de los resultados de medición a desviaciones en la forma de onda larga (véase: Knauer, M.C., Bothe, T., Lowitzsch, S., Jüptner, W., Häusler, G. Höhe, Neigung oder Krümmung? DgaO-Proceedings 107, 2006).

[0005] Es tarea de la presente invención indicar un método y un dispositivo adecuado para el mismo, que permite la determinación sin contacto y rápida y la medición de errores en la forma y ondulaciones de tal manera en superficies de forma libre continuas, que logra una precisión alta en la zona nm, que solamente se puede delimitar de lo contrario por ejemplo con método interferométrico y, además, se puede alcanzar para la aplicación de dispositivos.

[0006] La tarea se soluciona a través de las características de las reivindicaciones independientes 1 y 3, donde configuraciones ventajosas son objeto de las respectivas reivindicaciones secundarias. Dentro del marco de la invención es iluminada la superficie a examinar con dos haces de luz de medición bajo ángulos de incidencia definidos pero diferentes $\Theta_{i,1}$ y $\Theta_{i,2}$ y los centros de gravedad del haz de luz reflejado de la superficie son medidos con ayuda de uno o varios sensores optoelectrónicos sensibles a la posición, donde se registran errores angulares de inclinación locales de los reflejos de dos haces de luz, los cuales se irradian uno en el otro en el total y/o en signos de ángulos diferentes y oblicuamente respecto a las normales de superficie de las superficies de forma libre medida, son registrados y están sujetos a un algoritmo de evaluación matemático en cuyo resultado a través de integración de las desviaciones angulares de inclinación locales medidas se procura el perfil de superficie preciso. Un modelo de facetas generable a partir de errores de valor de ángulo de inclinación medidos de los dos haces de luz diversamente reflejados para la reproducción del perfil de superficies de forma libre real está basado en el algoritmo de evaluación matemático, en el cual, a través de una aproximación sucesiva teóricamente de errores angulares de inclinación y de una comparación simple a múltiple, se efectúa una aproximación y reajuste del modelo de facetas con los errores angulares de inclinación mientras que exista una identidad o tolerancia admitida de los valores teóricos y reales.

[0007] El método según la invención está caracterizado además detalladamente a través de los pasos siguientes por el hecho de que

- a) es fijada una de las vías táctiles (F_0) adaptada al macroperfil de superficies de forma libre medidas (F_r)
- b) a lo largo de la vía táctil (F_0) en etapas táctiles prefijables, cada punto de la superficie medida (F_r) es registrado con dos haces de luz diferentes al ángulo único simultáneamente o sucesivamente.
- c) las desviaciones respectivas de los haces reflejados del primer y segundo haz de luz de la superficie (F_r) simultáneamente o sucesivamente se clasifican respectivamente con referencia al punto correspondiente idénticamente de la vía táctil (F_0) y se memorizan en una unidad de almacenamiento electrónica,
- d) de manera aritmética se forman facetas a partir de dos puntos de rebote de haces reales que se producen respecto a un punto de referencia de la pista de guía (F_0) en comparación con una superficie real (F_r), cuya inclinación es determinada,
- e) las inclinaciones de las facetas obtenidas así se integran de manera aritmética sucesivamente en referencia a los puntos de vía táctil de la vía táctil (F_0), a partir de la cual se forma un curso de perfil teórico de las superficies de forma libre,
- f) a continuación en el marco de una simulación hacia adelante se ilumina de manera simulada el curso de perfil teórico con ambos ángulos de haz único idénticos según b) y se calculan las desviaciones teóricas correspondientes respectivas de los haces reflejados sobre la(s) unidad(es) de receptor,
- g) a continuación se efectúa una comparación de las desviaciones determinadas según f) y c), donde en caso de identidad de los conjuntos de datos, respectivamente en descensos a un nivel inferior de una medida de calidad prefijable regulable a voluntad, el curso de perfil teórico obtenido según e) se corresponde al curso de perfil de la superficie real (F_r), sin embargo esto no sucede en ausencia de la identidad solicitada,
- h) comenzando con el ángulo de incidencia del primer haz de luz, punto por punto de la vía táctil (F_0) siguiente, a partir del curso de perfil teórico formado según e) se calculan las desviaciones respectivas, donde en el error de esta desviación de haz calculada respecto a la desviación de haz medida en efecto según c) se corrige la inclinación del perfil teórica respectiva en este punto y
- i) un reajuste idéntico según h) se realiza igualmente para el segundo haz de luz,
- j) a continuación a partir de las curvas teóricas obtenidas según h) e i), siguiente a los retículos de punto táctil, a partir de estos dos valores, que representan las inclinaciones correspondientes de los elementos de superficie respectivos, respectivamente se forma el medio de las inclinaciones y a través de integración ascendente de estos valores nuevamente se forma un perfil de superficie teórico, donde con este perfil de superficie teórico obtenido es recorrido el procedimiento nuevamente entretanto, comenzando en el paso e), hasta que existe el perfil de superficie real según g).

[0008] La solución propuesta según la invención permite además incluir errores de las superficies de muestra de una vía táctil prefijada automáticamente, donde según la invención el perfil de la superficie de muestra con ayuda de un modelo

de facetas se genera a través de integración del ángulo de inclinación de facetas local y los errores de vía medidas como tamaños de corrección locales para la adaptación mejorada se incluyen en el cálculo de forma de perfil o como tamaño de ajuste en el transcurso de medición puede ser usado para la corrección de vía.

5 [0009] La ley de reflexión vectorial que sirve de base para el dispositivo se da como sigue:

$$\vec{e}_r = \vec{e}_i - 2(\vec{n}_n \vec{e}_i) \vec{n}_n, \quad (1)$$

donde \vec{e}_r es el vector direccional del haz de luz reflejado, \vec{e}_i es el vector direccional del haz de luz de medición incidente y \vec{n}_n es la normal de superficie iluminada local del comprobador. La tarea de medición convencional de la goniometría consiste en determinar la alineación del vector normal \vec{n}_n con ayuda de la desviación del haz de luz reflejado \vec{e}_r . Para la medición del perfil en el caso unidimensional se describe la alineación del haz de luz reflejado \vec{e}_r a través del ángulo de reflexión Θ_r , que se deja incluir como diferencia del recorrido X sobre una superficie sensible a la posición S, con distancia conocida R_0 entre la vía táctil ideal F_0 y el plano de detección S (cf. Fig. 1). En este caso la diferencia de ángulo $\Delta\Theta_{r,n} = (|\Theta_i| + |\Theta_r|) - (|\Theta_{i,n}| + |\Theta_{r,n}|)$ entre el vector de reflexión ideal $\vec{e}_{r,0}$ (el gradiente de superficie \vec{n}_0 sobresale verticalmente respecto a la vía táctil) y vector de reflexión local \vec{e}_r .
 15 Según la ley de reflexión unidimensional

$$\Theta_{r,n} = \Theta_i + 2(d\phi_n - \Theta_i), \quad (2)$$

se pueden calcular por consiguiente los ángulos de inclinación de superficie locales $d\phi_n$. Errores de altura de la superficie real F_r respecto a la vía táctil F_0 no se pueden registrar con ello. En la medición de superficies de forma libre se puede adaptar la vía táctil a menudo condicionando sólo la forma macrogeométrica del comprobador, de modo que los errores de la superficie de la vía táctil se deben considerar como tamaños de medición. La desviación del haz reflejado X sobre la superficie del receptor S resulta ahora de la suma del vector direccional local del haz de luz reflejado \vec{e}_r y del vector de lugar de del error de vía \vec{r}_i (cf. Fig. 2). El vector \vec{R}_d que define el recorrido entre el punto de encuentro ideal sobre la vía táctil y el punto de encuentro del haz de luz reflejado sobre el detector, resulta de
 25

$$\vec{R}_d = \vec{r}_i + R_n \vec{e}_r, \quad (3)$$

donde R_n es la distancia entre el punto de encuentro superficial real y el punto de encuentro sobre el detector. Esta distancia se calcula como sigue

30

$$R_n = \frac{R_0 - \vec{r}_i \vec{e}_{r,0}}{(\vec{e}_{r,0} \vec{e}_r)} = \frac{R_0 - r_i (\vec{e}_i \vec{e}_{r,0})}{(\vec{e}_{r,0} \vec{e}_r)}. \quad (4)$$

[0010] Para calcular la desviación X del haz de luz reflejado sobre la superficie de detector S, el producto de escala se forma

35

$$X = \vec{R}_d \vec{e}_x = r_i (\vec{e}_i \vec{e}_x) + \frac{R_0 - r_i (\vec{e}_i \vec{e}_{r,0})}{(\vec{e}_{r,0} \vec{e}_r)} (\vec{e}_r \vec{e}_x). \quad (5)$$

Soltando los productos de escala se obtiene en la ecuación (5)

Se reconoce en la ecuación (6), que la desviación X sobre el detector depende tanto del ángulo de inclinación local $d\phi_n$ de la superficie como también de la distancia r_i de la vía táctil y ambos tamaños no se dejan determinar por consiguiente con ajuste fijo de \vec{e}_i en un punto táctil.

- 5 Para poder determinar ambos tamaños se incluye según la invención un segundo haz de luz de medición. La figura 3 muestra un ejemplo posible para la extensión de información de una goniometría en una superficie de forma libre a

$$X = r_i \sin(2\Theta_i) + \frac{R_0 + r_i \cos(2\Theta_i)}{\cos(2d\phi_n)} \sin(2d\phi_n). \quad (6)$$

través del cambio de dirección de observación y de luz. El perfil es iluminado ahora desde dos direcciones y provee respectivamente una señal de medición, que según la dirección de luz es señalizado con X+ y X-. Puesto que la

- 10 inversión de la dirección se refiere a la vía táctil F_0 como prefijada aquí ahora mismo (el eje de rotación Y-Y corresponde a las normales superficiales ideales \vec{n}_0), según el ángulo de incidencia y el desplazamiento de la vía táctil h, los puntos de encuentro iluminados están en posiciones diferentes del perfil superficial investigado. Si se presupone un perfil de superficie que transcurre continuamente, el perfil de superficie se puede aproximar mediante una secante F_c entre ambos puntos superficiales iluminados (cf. Fig. 4). Esta faceta superficial formada con ello describe el perfil para una posición de vía táctil definida mediante una normal de faceta intermedia \vec{n} y una distancia de vía táctil perpendicular h.
- 15 Bajo aplicación de la ecuación (6) y de la determinación de r_i de la faceta iluminada teórica F_c a través de la distancia perpendicular h según la ecuación

$$r_i = h \frac{(\vec{n}\vec{n}_0)}{-(\vec{e}_i\vec{n})} = -h \frac{\cos(d\phi_n)}{\cos(\Theta_i + d\phi_n)} \quad (7)$$

- 20 resultan las siguientes ecuaciones para las desviaciones de detector X+ y X-

$$\begin{aligned} X+ &= -h \frac{\cos(d\phi_n) \sin(2\Theta_{i,1})}{\cos(d\phi_n + \Theta_{i,1})} + \left(R_0 - h \frac{\cos(d\phi_n) \cos(2\Theta_{i,1})}{\cos(d\phi_n + \Theta_{i,1})} \right) \tan(2d\phi_n) \\ X- &= -h \frac{\cos(d\phi_n) \sin(2\Theta_{i,2})}{\cos(d\phi_n + \Theta_{i,2})} + \left(R_0 - h \frac{\cos(d\phi_n) \cos(2\Theta_{i,2})}{\cos(d\phi_n + \Theta_{i,2})} \right) \tan(2d\phi_n) \end{aligned} \quad (8)$$

Para el caso sencillo del cambio direccional entre la dirección de detección del estrecho de luz, donde

$$\Theta_{i,2} = -\Theta_{i,1} = \Theta_i. \quad (9)$$

- 25 se pueden formar con ayuda de formación de diferencia y de suma de X+ y X- las ecuaciones siguientes:

$$\begin{aligned} a &= X^+ + X^- \\ &= \frac{-4h \cos d\phi_n}{\cos(2d\phi_n) + \cos(2\Theta_i)} * \\ &\quad (\sin(2\Theta_i) \cos d\phi_n \cos \Theta_i + \cos(2\Theta_i) \sin d\phi_n \sin \Theta_i) \tan(2d\phi_n) \\ A &= X^+ - X^- \\ &= 2R_0 \tan(2d\phi_n) - \\ &\quad \frac{-4h \cos d\phi_n}{\cos(2d\phi_n) + \cos(2\Theta_i)} (\sin(2\Theta_i) \sin d\phi_n \sin \Theta_i + \cos(2\Theta_i) \cos d\phi_n \cos \Theta_i) \tan(2d\phi_n). \end{aligned} \quad (10)$$

Mediante introducción de variables auxiliares

$$\begin{aligned} a_r &\equiv \frac{a}{2R_0}, \\ A_r &\equiv \frac{A}{2R_0}, \\ H &\equiv \frac{-4h \cos d\phi_n}{2R_0 (\cos(2\Theta_i) + \cos(2d\phi_n))} \end{aligned} \quad (11)$$

se pueden formar las ecuaciones siguientes según (10), que muestran respectivamente las dependencias de h y $d\phi_n$ preferiblemente de forma desacoplada

5

$$\begin{aligned} H &= \frac{a_r}{\cos(\Theta_i) \cos(d\phi_n) \sin(2\Theta_i) + \sin(\Theta_i) \sin(d\phi_n) \sin(2\Theta_i) \tan(2d\phi_n)}, \\ \tan(2d\phi_n) &= \frac{A_r - H \sin(\Theta_i) \sin(d\phi_n) \sin(2\Theta_i)}{1 + H \cos(\Theta_i) \cos(d\phi_n) \cos(2\Theta_i)} \end{aligned} \quad (12)$$

[0011] El sistema de ecuación no lineal en la ecuación (12) es desmontable de manera reiterativa con un método numérico en pocas etapas, puesto que la segunda ecuación trascendente en (12) es del tipo $x = f(x)$ para $\tan(2d\phi_n)$. Para este tipo de ecuación es conocido que en el arranque con un valor x_0 la secuencia

10

$$\begin{aligned} x_1 &= f(x_0) \\ x_2 &= f(x_1) \\ &\downarrow \\ x_{n+1} &= f(x_n) \end{aligned} \quad (13)$$

15 converge contra el punto cero próximo, en caso de que $|f'(x)| < 1$ sea válido. Esta condición se cumple con el sistema de ecuación (12). Así se obtiene de la segunda ecuación de (12) con un valor de arranque $H=0$ tras pocas etapas de iteración el ángulo de inclinación $d\phi_n$ y con ayuda de variables auxiliares H de la ecuación (11) tras el cambio de la distancia de vía táctil h para un punto de vía táctil dado x. Mediante la exploración del perfil de superficie F_r a lo largo de una vía táctil prefijada F_0 se pueden calcular las inclinaciones de perfil locales $d\phi_n(x)$ y los errores de vía táctil locales $h(x)$ para una sección de perfil medida según el modelo de facetas descrito arriba. Para determinar un perfil $z_n(x)$ a partir de los ángulos de inclinación $d\phi_n(x)$, los valores de inclinación discretos se suman como sigue:

20

$$z_n = \sum_{j=1}^n \tan(d\phi_j) \cdot dx, \quad (14)$$

25

donde dx es el ancho de paso de trayectoria resistente de la vía táctil F_0 . Si el perfil superficial calculado $z_n(x)$ es palpado bajo las mismas direcciones de luz como con la medición con ayuda de una simulación hacia adelante, se pueden determinar para cada punto táctil las desviaciones de detector X_{theor}^{\pm} .

Con una factura de compensación se puede determinar entonces con que precisión el perfil de facetas calculado se aproxima al perfil de superficie real:

$$\chi^2 = \frac{\sum (X_{exp}^{\pm} - X_{theo}^{\pm})^2}{\sum [(X_{exp}^{\pm})^2 + (X_{theo}^{\pm})^2]}, \quad (15)$$

donde X_{exp}^{\pm} son en efecto las desviaciones de detector medidas.

5 Por medio de valores prefijados para la inclinación de perfil más pequeña a registrar $\Delta\phi_{min}$ así como para el error típico de la inclinación de perfil ϕ_{stand} pueden calcularse según la ecuación (8) un error de detector intermedio más pequeño $X^{\pm}(\Delta\phi_{min})$ y un error típico intermedio $X^{\pm}(\phi_{stand})$.

De estos valores se puede derivar según la ecuación (15) el valor umbral para χ^2 con respecto a la calidad de la aproximación de perfil de superficie:

10

$$\chi_{schwell}^2 = \frac{X^{\pm}(\Delta\phi_{min})^2}{X^{\pm}(\phi_{stand})^2}. \quad (16)$$

Si el valor umbral se supera a través de la aproximación de modelo de facetas, puede seguir para la determinación de perfil mejorada un algoritmo de iteración. Para ambas direcciones de luz se calculan respectivamente los puntos de encuentro del perfil de facetas y se corrigen las inclinaciones locales del punto de encuentro de manera que las desviaciones de detector teóricas y experimentales son iguales. Con los valores de subida corregidos así se obtienen dos perfiles de subida a través de la evaluación separada de las direcciones de luz. Tras una interpolación de los perfiles de subida con una cuadrícula de muestreo equidistante se genera el perfil de subida intermedio a través del promedio sobre ambas curvas. Según la ecuación (14) se puede calcular ahora un perfil corregido intermedio. Para la comprobación de la calidad de perfil se calculan nuevamente las desviaciones de detector teóricas X_{theo}^{\pm} y se comprueba el criterio de calidad según la ecuación (15). Este procedimiento se repite hasta que el valor χ^2 queda por debajo del valor umbral prefijado. Esta iteración es exitosa en general en pocos ciclos. El método descrito con signo diferente para los ángulos de incidencia iguales es empleable para una multiplicidad de combinaciones de ángulo de incidencia $[\Theta_{i,1}, \Theta_{i,2}]$. Los ángulos de incidencia pueden poseer valores angulares diversos con signo igual o contrario. Igualmente se pueden realizar con signo diferente del ángulo de incidencia direcciones de observación y de luz fuera el plano de perfil.

20

25

En todos los casos el sistema de ecuación no lineal según la ecuación (12) adopta una forma compleja, no obstante, las dependencias mostradas se mantienen.

[0012] La invención debe ser explicada adicionalmente a continuación por medio de ejemplos de realización y de dibujos esquemáticos.

30

Muestran:

- Fig. 1 esquemáticamente una medición del ángulo diferencial según el estado de la técnica;
- Fig. 2 esquemáticamente las condiciones efectivas de una medición del ángulo diferencial en una superficie de forma libre;
- Fig. 3 esquemáticamente una medición del ángulo diferencial de dos ejes a través de la inversión de dirección de detección y de luz;
- Fig. 4 para la aclaración, un modelo de facetas para la aproximación de un perfil en una medición del ángulo diferencial de dos ejes;
- Fig. 5 esquemáticamente una representación de una primera posibilidad de una forma de realización de un dispositivo según la invención;
- Fig. 6 la zona de aceptación posible (zona de trabajo) de una unidad de sensor giratoria típica para la prueba de esferas, creada con una forma de realización según el dispositivo según la Fig. 5;
- Fig. 7 esquemáticamente una representación de una segunda posibilidad de una forma de realización de un dispositivo según la invención con disposición fija de los componentes individuales;
- Fig. 8 una representación detallada de un dispositivo según la Fig. 7 en sección lateral;
- Fig. 9 la zona de aceptación posible (zona de trabajo) de una forma de realización según la invención según la Fig. 7, respectivamente a 8;
- Fig. 10 un ejemplo para desviaciones de detector prácticamente obtenidas;
- Fig. 11 a modo de ejemplo un perfil de una superficie medida en comparación a los valores obtenidos mediante una medición de paso táctil.

[0013] La estructura principal del dispositivo medidor según la invención y simultáneamente una primera variante de

ejecución posible de un dispositivo está representada en la Fig. 5.

Un diodo láser 1 emite un haz de luz 2, que ilumina la superficie de muestra 3a bajo un ángulo de incidencia definido.

El haz de luz 5a reflejado en la superficie de muestra se recoge con ayuda de un receptor 6a sensible a la posición.

5 La unidad de sensor total (láser 1 y receptor 6a) se fija en este ejemplo sobre una mesa de rotación 7a, de modo que el punto de luz de la superficie se encuentra sobre el eje de rotación Y-Y de la mesa de rotación 7a.

Mediante rotación de la mesa de rotación 7a de 180° son cambiables la dirección de luz y la dirección de observación (cf. para ello la Fig. 3), donde en el marco del procedimiento según la invención son realizables dos ángulos de haz único diferentes necesarios.

10 La pieza de prueba con su superficie 3a se fija sobre una mesa de transferencia 4a, que en incrementos definidamente prefijables, a lo largo de una doble flecha representada en la Fig. 5, permite un escaneo de la superficie de muestra 3a.

Mediante variación de la distancia de receptor L y/o a través de la elección de la expansión de receptor sensitiva D se pueden ajustar sensibilidades diversas del sistema de medida o rangos de medición de ángulo diversos.

15 Si se han de efectuar mediciones de planitud muy precisas, la distancia de receptor es elegida de forma grande L, para poder reducir modificaciones angulares más pequeñas en el intervalo de segundos de curva con el sistema de medida.

Igualmente con comprobadores cilíndricos, en los que se han de reducir errores en la forma de pocos nanómetros y la excentricidad de la superficie de control es pequeña, se pueden insertar sistemas de medición según la invención con distancia de receptor grande L.

20 Sin embargo, si las piezas de prueba presentan errores grandes del perfil de superficie respecto a la vía táctil, se han de elegir sistemas de medición con distancia de receptor pequeña L y expansión de receptor más grande.

De esta manera, por ejemplo asferas u otras superficies de forma libre continuas pueden presentar hasta $\pm 20^\circ$ de error angular de inclinación respecto a la vía táctil y, no obstante, son medibles con ayuda de la solución según la invención.

Para una configuración de receptor típica con unidad de receptor y de luz giratoria se representa la zona de aceptación (zona de trabajo) en la figura 6.

25 Se ve allí que con un ángulo de incidencia adoptado de 20° , con una eliminación de receptor $L = 33\text{mm}$ y con una expansión de receptor sensitiva $D = 30\text{mm}$ son detectables errores angulares de inclinación respecto a la vía táctil de máximo $\pm 12^\circ$ y distancias de vía táctil de máximo $\pm 22\text{mm}$.

Con estos parámetros se pueden probar asferas sobre una zona de curvatura grande de alta resolución sobre error de forma.

30 Con el registro de valor de medición son recogidos en primer lugar los ángulos de inclinación locales $d\phi_n$ para una dirección de luz resistente.

A continuación, el sistema de medida es girado de forma acimutal 180° y el perfil con luz opuesta nuevamente es medido en el mismo paso táctil.

La evaluación de los datos de medición se realiza según el método descrito según la invención.

35 Para evitar el giro técnicamente posible, pero sólo realizable con alto gasto, muy preciso descrito anteriormente del sistema de sensor, fue desarrollada una segunda forma de realización del dispositivo según la invención, que debe ser detalladamente descrita con ayuda de las figuras 7 y 8.

Las figuras 7 y 8 muestran un diodo láser 1, que emite un haz de luz 2, que se desvía con ayuda de un espejo 3.

Un cubo separador de haz 4 escinde el haz de luz 2 en dos haces de luz parciales 2a y 2b de la misma intensidad.

40 Un espejo 5 desvía el haz de luz 2a de manera que este se extienda paralelamente al haz 2b y ambos haces de luz verticales respecto a la superficie principal 8a de un prisma 8.

Lentes 6 y 7 focalizan los haces de luz parciales sobre la superficie de muestra 11.

45 Las ópticas de enfoque son para medir superficies rugosas o favorablemente lentes cilíndricas, puesto que se puede promediar a consecuencia de la luz de líneas en anchos de líneas pequeños en dirección de captador sobre la estructura de moteado de haces de luz reflejados con ayuda de las superficies del receptor de los receptores optoelectrónicos sensibles a la posición 9 y 10.

Esto conduce a una determinación de centro de gravedad mejorada del haz de luz reflejado con ruido coherente y permite por consiguiente la medición del ángulo diferencial en superficies de muestra ásperas.

50 El componente óptico central en la trayectoria de haz es el prisma 8 conformado según la invención, que desvía los haces de luz incidentes 2a y 2b a través de los ángulos de prismas fabricados precisos α_1 , α_3 según la ley de refracción y dirige con ángulos de incidencia definidos sobre la superficie de muestra 11, de manera que los haces de luz se cortan en el punto de enfoque.

Este punto de intersección define simultáneamente la capa de la vía táctil ideal F_0 , cuya distancia se da respecto al prisma a través del punto de intersección del haz de luz y paralelamente se orienta a la superficie principal de prismas 8a.

55 El ángulo de incidencia de los haces de luz 2a y 2b sobre la superficie de muestra 11 son elegidos de manera que los haces de luz reflejados en la superficie 11 caen con ayuda de una desviación nueva a través del prisma 8 sobre los detectores 9 y 10 optoelectrónicos sensibles a la posición y con alineación ideal de la superficie de muestra 11 iluminan las superficies de detector sensitivas en la posición cero.

60 Las superficies de prismas que sirven preferentemente al mismo tiempo como superficie de contacto para los detectores 9 y 10, poseen preferiblemente dichos ángulos, que los detectores en la posición cero de la disposición de cabezal de medición son iluminados de forma vertical a través de los haces de luz reflejados.

De esta manera es realizada una dependencia aproximadamente lineal de la desviación X sobre la superficie de detector del ángulo de inclinación de la faceta superficial iluminada localmente.

65 A consecuencia de esta desviación angular mediante el prisma 8 se puede lograr una construcción compacta del cabezal sensor, en la zona de medición grande al mismo tiempo suficiente del ángulo de diferencia determinante.

El procedimiento de ajuste de la óptica se simplifica frente a la forma de realización descrita por encima puesto que el

prisma 8 puede servir como sistema de referencia angular.

Las superficies de prismas, que incluyen ángulos de prismas precisos, son superficies de referencia para los receptores optoeléctricos 9 y 10 y la óptica de luz con diodo láser 1, espejos 3 y 5, separador de haces 4 y lentes de enfoque 6 y 7. Para los receptores 9 y 10, las superficies de prismas sirven como superficies de adherencia directas.

5 En la óptica de luz se pueden utilizar los reflejos directos en las primeras superficies de prismas rompientes en la trayectoria de haces incidente al ajuste y alineación precisa del eje óptico del sistema de luz.

Por consiguiente resultan posibilidades de ajuste precisas del ángulo para el haz de luz incidente y reflejado, que son clasificadas a través del prisma para un sistema de referencia fijo.

10 Aprovechando la reflexión total en la superficie de apoyo entre el prisma 8 y los receptores 9 y 10 son delimitables los ángulos de visión respectivos del receptor, lo que puede ser utilizado respecto a una opresión suplementaria de luz de disturbio del ambiente.

Cada dispositivo medidor de haz doble, creado según la invención presente, presenta una zona de aceptación típica para ella, dentro de la cual puede realizarse una medición.

15 Prefijados a través de los ángulos de incidencia del haz de luz de medición, de la distancia de trabajo entre la superficie de muestra y la superficie inferior de prismas así como la expansión del receptor sensible a la posición surge en el plano de parámetro de medición $[h, \phi_n]$ una zona de valores cerrada, dentro de la cual son posibles sólo mediciones.

Para el dispositivo descrito anteriormente según las figuras 7 y 8 es representada la zona de aceptación denominada en la Fig. 9.

20 Para una vía táctil cualquiera el cabezal de medición de deflexión puede retomar datos de medición en el interior de este campo de valores.

Por consiguiente, es necesario para una tarea de medición dada elegir la zona de aceptación del cabezal de medición, de manera que una vía táctil sencilla (modulación por desplazamiento lineal o modulación por desplazamiento orbital) se aproxime a la macrogeometría medida de la superficie, de manera que los ángulos de inclinación locales de la superficie así como las distancias de vía táctil de la superficie están dentro de la zona de aceptación del cabezal de medición.

25 En el registro de valor de medición se puede desplazar la superficie de muestra 11 lateralmente con un paso definido o en superficies fuertemente curvadas en una curvatura de superficies próxima a la órbita con una extensión del ángulo conocida son giradas en el eje de rotación, que debería estar próximo al centro de pista circular del comprobador 11 y se orienta verticalmente respecto a la dirección táctil.

30 Para cada punto de vía palpado de la superficie de muestra se realiza la lectura de los receptores optoeléctricos 9 y 10 y la memorización del ángulo de deflexión mediante un PC o un sistema de memoria equivalente.

El cálculo según la invención del ángulo de inclinación local y de la distancia de vía táctil puede ocurrir directamente después del registro de valor de medición para una posición de vía introducida, donde la distancia de vía táctil calculada en caso de sobrepasar una zona límite prefijada se puede utilizar para la corrección de vía activa del receptor o del comprobador.

35 La solución según la invención es descrita en lo sucesivo por medio del ejemplo de realización según las Fig. 7 y 8.

Como ejemplo debe ser examinada una superficie de vidrio lustrada plana sobre error de forma y estrías de lustre.

La pieza de prueba de vidrio se sujeta sobre una mesa xy, que puede ser tratada en incrementos de $1\mu\text{m}$ tanto en dirección x como y.

La superficie de muestra es orientada paralelamente al plano táctil xy.

40 Mediante el procedimiento de la mesa (no representado en las Fig.7 y 8) en dirección x se registra una sección de perfil del comprobador con ayuda de un cabezal de medición según la invención según la Fig. 8.

En este caso se realiza el registro de valor de medición en dependencia de la posición de mesa a través de un método handshaking.

45 El cabezal de medición óptico según la invención consiste en este juego de realización preferido en un pentaprisma, cuya superficie principal en el ejemplo posee una expansión de $d=72,2\text{mm}$.

Los ángulos de prismas $\alpha_1=16^\circ 47'$ y $\alpha_2=7^\circ 44'$ son elegidos de manera que en un ángulo de incidencia de $\Theta_1=-14^\circ 17'$ y $\Theta_2=32^\circ$ las superficies del receptor de los fotodiodos sensibles a la posición son iluminados de forma vertical en la superficie ideal llana situada en el plano táctil a través de haces de luz reflejados y rotos.

Los fotodiodos sensibles a la posición (PSD) poseen en el ejemplo una longitud de medición efectiva de 10mm.

50 La distancia de trabajo óptima entre superficie principal de prismas 8a y superficie de muestra 11 se da con 44,5mm.

Las superficies de techo del pentaprisma poseen respecto a la superficie principal d las expansiones $d_1=35,5\text{mm}$, $d_2=5,4\text{mm}$, $d_3=19,8\text{mm}$ y $d_4=11,5\text{mm}$.

Esto da como resultado por consiguiente una zona de aceptación del cabezal de medición, que permite ángulos de inclinación de perfil máximos $d\phi_n = \pm 2.3^\circ$ y distancias de vía táctil máximas de $h = \pm 6\text{mm}$ (cf. con la Fig.9).

55 Al principio de la medición se suministra el cabezal de medición verticalmente respecto a la superficie de muestra, hasta que ha alcanzado el punto de trabajo óptimo.

Esta posición puede ser puesta en marcha automáticamente a través de obtención de las señales de las unidades de detector, puesto que en la distancia de trabajo óptima del cabezal de medición los haces de luz reflejados en la superficie de muestra iluminan los detectores en la posición cero respectiva.

60 Si la distancia de trabajo óptima del cabezal de medición es ajustada a la superficie de muestra, se realiza el registro de valor de medición.

La mesa de transferencia desplaza con paso fijo la superficie de muestra y en cada posición de lugar de medición se realiza la lectura de las señales de desviación X+ y X- sobre ambos detectores 9, 10 sensibles a la posición.

La figura 10 muestra en el ejemplo las señales de desviación para ambas direcciones.

65 Con el método según la invención se realiza a continuación el cálculo del perfil.

La figura 11 muestra el resultado.

En comparación se representa de manera solapada una medición de sección táctil del perfil en una posición parecida.

A pesar de la dificultad, que no garantiza siempre asignación segura de lugares de medición idénticos en la realización de procedimientos de medición diferentes, lo que muestra ciertos errores de ambas extensiones de perfil comparadas, sin embargo no hay que reconocer de manera notable el parecido de ambos perfiles y concordancia muy precisa de los errores de configuración.

Con el método según la invención y el dispositivo es posible incluir en una zona de aceptación flexible en la tarea de medición respectiva de la medición de valores de inclinación de perfil locales y distancias de vía táctil.

A través de la ventaja del parámetro de prismas se puede adaptar de manera intencionada una tarea de medición.

Con ayuda de un modelo de facetas se puede calcular a partir de los valores de inclinación del perfil un perfil superficial y corregir este perfil con ayuda de las distancias de vía táctil en un algoritmo de iteración.

El método se puede utilizar para cualquier extensión de vía táctil y permite, por consiguiente, la medición de superficies de forma libre en un espectro relativamente grande de planos puros hasta asferas.

[0014] La ventaja principal de la presente invención consiste en que, puesto que el perfil se determina a través de integración de los valores de inclinación locales medidos, el procedimiento de medición es insensible a errores de vía táctil indeseados pequeños, como oscilaciones del cabezal de medición o comprobador o vibraciones de alojamiento con rotación o transferencia de comprobador.

Por consiguiente, errores en la forma y ondulaciones de la superficie de muestra son medibles en la gama nanométrica, incluso cuando las perturbaciones causan errores de vía táctil en la zona micrométrica.

Con tales perturbaciones indeseadas, que son generalmente inevitables en la aplicación práctica, fallan los métodos comparables, como, por ejemplo, interferométricos.

Lista de referencias

25

[0015]

1	- equipo de luz / diodo láser
2, 2a, 2b	- haz de luz
3, 5	- espejos
3a, 11	- superficie de muestra
4	- cubo separador de haz
5 ^a	- haz de luz reflejado
6, 7	- lentes
6a, 9, 10	- receptor sensible a la posición
7a	- mesa de rotación
8	- prisma, pentaprisma
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	- ángulo de prismas
$\Theta_{in}, \Theta_1, \Theta_2$	- ángulo de haz único
Θ_m'	- ángulo de haz reflejo
e_r	- vector de reflexión local
$d\phi_n$	- ángulo local de inclinación de superficie
d	- expansión de la superficie de base de prismas
d1, d2, d2, d3, d4	- expansiones de las superficies de techo de prismas
D	- superficie de receptor sensitiva
F_0	- vía táctil
F_r	- superficie real
F_c	- faceta teórica
h	- distancia de vía táctil
\underline{L}	- distancia de receptor
n_0	- normal de superficies
S_0	- punto cero del plano de detección
S	- plano de detección
X	- desviación del haz reflejado sobre el detector

REIVINDICACIONES

1. Método para la determinación de errores de forma y de ondulaciones en superficies de forma libre continuas, **caracterizado por el hecho de que** errores locales del ángulo de inclinación de reflejos de dos haces de luz, que se irradian en ángulos diferentes entre sí en valor y señal y oblicuamente respecto a las normales ideales de la superficie de la forma libre por medir, son registrados y están sometidos a un algoritmo de evaluación matemático, de tal manera que está basado en un modelo de facetas a partir de los errores de valor del ángulo de inclinación medidos de los dos haces de luz diversamente reflejados para la formación del perfil de superficie de forma libre real, en el que a través de aproximación sucesiva de errores angulares de inclinación determinados teóricamente y de una comparación simple hasta múltiple con los errores angulares de inclinación medidos realmente se efectúa una aproximación y reajuste del modelo de facetas, hasta que existe una identidad o tolerancia admitida de los valores registrados teóricos y reales en cuyo resultado a través de integración de los errores angulares de inclinación locales medidos se determinan la ondulación y el error de forma por determinar.
2. Método para la determinación de errores de forma y de ondulaciones en superficies de forma libre continuas según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que**
- a) es fijada una de las vías táctiles (F_0) adaptada al macroperfil de superficie de forma libre por medir (F_r)
 - b) a lo largo de la vía táctil (F_0) en etapas táctiles prefijables, cada punto de la superficie por medir (F_r) es registrado con dos haces de luz de diferente ángulo único simultánea o sucesivamente.
 - c) las desviaciones respectivas de los haces reflejados por el primer y segundo haz de luz de la superficie (F_r) se asignan simultánea o sucesivamente respectivamente al punto correspondiente idéntico de la vía táctil (F_0) y se memorizan en una unidad de almacenamiento electrónica,
 - d) de manera aritmética se forman facetas a partir de dos puntos de rebote de haces reales que se producen respecto a un punto de referencia de la pista de guía (F_0) en comparación con una superficie real (F_r), cuya inclinación es determinada,
 - e) las inclinaciones de las facetas obtenidas así se integran de manera aritmética sucesivamente en referencia a los puntos de vía táctil de la vía táctil (F_0), a partir de la cual se forma un curso de perfil teórico de las superficies de forma libre,
 - f) a continuación en el marco de una simulación hacia adelante se ilumina de manera simulada el curso de perfil teórico con ambos ángulos de haz único idénticos según b) y se calculan las desviaciones teóricas correspondientes respectivas de los haces reflejados sobre la(s) unidad(es) de receptor,
 - g) a continuación se efectúa una comparación de las desviaciones determinadas según f) y c), donde en caso de identidad de los conjuntos de datos, respectivamente en descensos a un nivel inferior de una medida de calidad prefijable regulable a voluntad, el curso de perfil teórico obtenido según e) se corresponde al curso de perfil de la superficie real (F_r), sin embargo esto no sucede en ausencia de la identidad requerida,
 - h) comenzando con el ángulo de incidencia del primer haz de luz, siguiendo cada punto de la vía táctil (F_0), se calculan a partir del curso de perfil teórico formado según e) las desviaciones respectivas, donde en caso de error de esta desviación de haz calculada respecto a la desviación de haz medida en efecto según c) se corrige la inclinación del perfil teórica respectiva en este punto y
 - i) un reajuste idéntico según h) se realiza igualmente para el segundo haz de luz,
 - j) a continuación a partir de las curvas teóricas obtenidas según h) e i), siguiendo el retículo del punto táctil, a partir de estos dos valores, que representan las inclinaciones correspondientes de los elementos de superficie respectivos, respectivamente se forma el medio de las inclinaciones y a través de integración ascendente de estos valores nuevamente se forma un perfil de superficie teórico, donde con este perfil de superficie teórico obtenido es recorrido el procedimiento nuevamente entretanto, comenzando en el paso e), hasta que existe el perfil de superficie real según g).
3. Dispositivo para la determinación de errores de forma y de ondulaciones en superficies de forma libre continuas, **caracterizado por el hecho de que** están previstos medios de translación y/o de rotación (4a) para la toma y relativamente a una vía táctil adaptada (F_0) a la superficie de forma libre (F_r) por medir en el perfil macro un movimiento por delante de la superficie de forma libre medidas en pasos táctiles prefijados, de forma que está previsto un equipo de luz (1) para generar dos haces de luz (2; 2a, 2b), 2b) a través de medios ópticos adecuados (7a; 3, 4, 5 y 8) de modo que los haces de luz son radiables en un ángulo (Θ_1 ; Θ_2) diferente en valor y/o signo oblicuamente respecto a las normales ideales de superficie (\vec{n}_0) sobre la superficie de forma libre por medir (F_r), y por que existen receptores sensibles a la posición adecuados (6a; 9, 10) para realizar por separado el registro punto por punto que sigue al palpamiento translatario y/o giratorio y el almacenamiento electrónico del ángulo de inclinación de los haces reflejados de la superficie de forma libre (F_r), y por que el dispositivo se configura para someter un algoritmo de evaluación matemático de los errores angulares de inclinación locales los reflejos de dos haces de luz, que se irradian en un ángulo diferente uno en el otro en el valor y/o el signo diferente al ángulo y oblicuamente respecto a las normales de la superficie de las superficie de forma libre por medir, de tal manera que un modelo de facetas generable a partir de errores de valor de ángulo de inclinación medidos de dos haces de luz diferentes se puede basar en él para la formación del perfil real de superficie de forma libre, en el cual a través de aproximación sucesiva de errores angulares de inclinación determinados teóricamente y de una comparación simple hasta múltiple con los errores angulares de inclinación medidos realmente es realizable una aproximación y reajuste del modelo de facetas hasta que existe una

identidad o tolerancia admitida de los valores registrados teóricos y reales en cuyo resultado a través de integración de los errores angulares de inclinación locales medidos son determinables el error de forma preciso y la ondulación.

5 4. Dispositivo según la reivindicación 3, **caracterizado por el hecho de que** el equipo de luz se forma mediante un láser (1), que es dispuesto espacialmente distanciado y separado mediante un eje de rotación (Y-Y) de un receptor (6a) sensible a la posición sobre una mesa de rotación (7a), de manera que el haz de luz (2) que sale del láser (1) bajo un ángulo llega sobre la superficie (3a) de la superficies de forma libre por medir (F_r) y el haz reflejado (5a) desde ahí es registrable por una superficie de receptor sensitiva (D) de un receptor (6a) sensible a la posición, con lo cual a través del giro de la mesa de rotación (7a) 180° es generable el segundo haz de luz deseado con otro signo para el mismo punto táctil, con respecto a la vía táctil prefijada (F_0).
10

15 5. Dispositivo según la reivindicación 4, **caracterizado por el hecho de que**, en dependencia de la tarea de medición y/o precisión deseada, el tamaño de la superficie del receptor sensitiva (D) y/o su distancia (L) son ajustables o prefijables de forma variable por la superficie de forma libre por medir.

20 6. Dispositivo según la reivindicación 3, **caracterizado por el hecho de que** los dos haces de luz (2a, 2b) están orientados a través de unidades de desviación (3, 4, 5) adecuadas correspondientes de forma separada en superficies oblicuas diferentes del prisma (8), de manera que topan verticalmente respecto a la superficie principal (8a) del prisma (8) y en un punto común topan sobre la superficie de muestra suministrable (11), donde los haces reflejados desde allí separadamente de receptores (9, 10) sensibles a la posición, son registrables y asignables a las superficies de primas opuestas a la superficie principal (8a) del prisma (8).

25 7. Dispositivo según la reivindicación 6, **caracterizado por el hecho de que** el prisma insertado (8) es formado mediante un pentaprisma, cuyo primer y tercer ángulo de prisma (α_1 , α_3) son elegidos de manera que los haces de luz salientes de la superficie principal (8a) se encuentran en un punto suministrable común de la superficie de muestra, donde el primer y segundo ángulo de prismas (α_1 , α_2), que caracterizan las superficies de prismas, sobre las que están dispuestos los receptores (9, 10) sensibles a la posición, además son elegidos de modo que en los ángulos de incidencia que surgen (0_1 y 0_2) de los haces de luz (2a, 2b), las superficies receptoras de los receptores sensibles a la posición (9,10) del receptor sensible a la posición se iluminan a través de los haces de luz reflejados y rotos de forma vertical en una superficie ideal plana que se encuentra en el plano táctil, donde las superficies receptoras (9, 10) están dispuestas sobre las superficies de prismas inclinadas de manera que en las condiciones citadas los haces reflejados inciden en su posición cero.
30

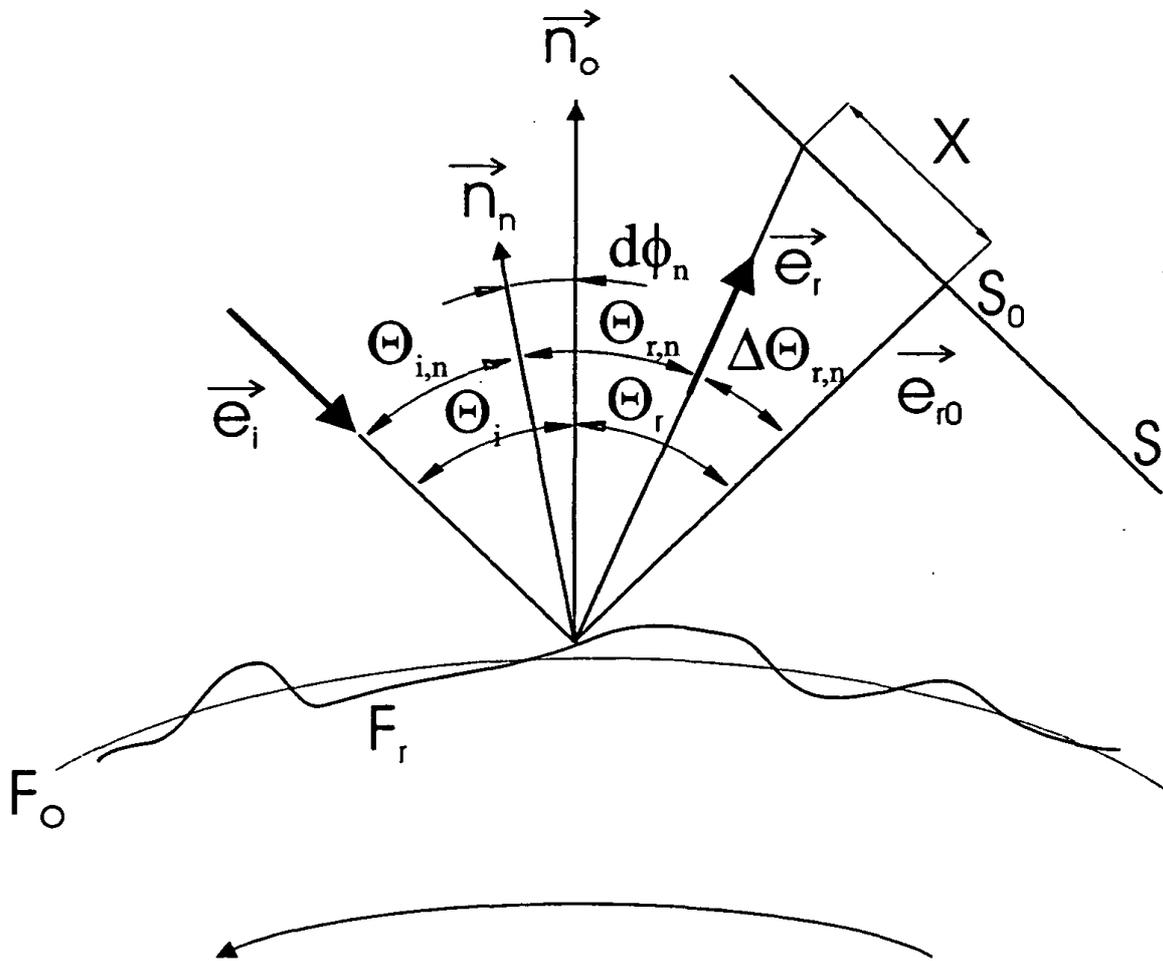


Fig. 1

Estado de la técnica

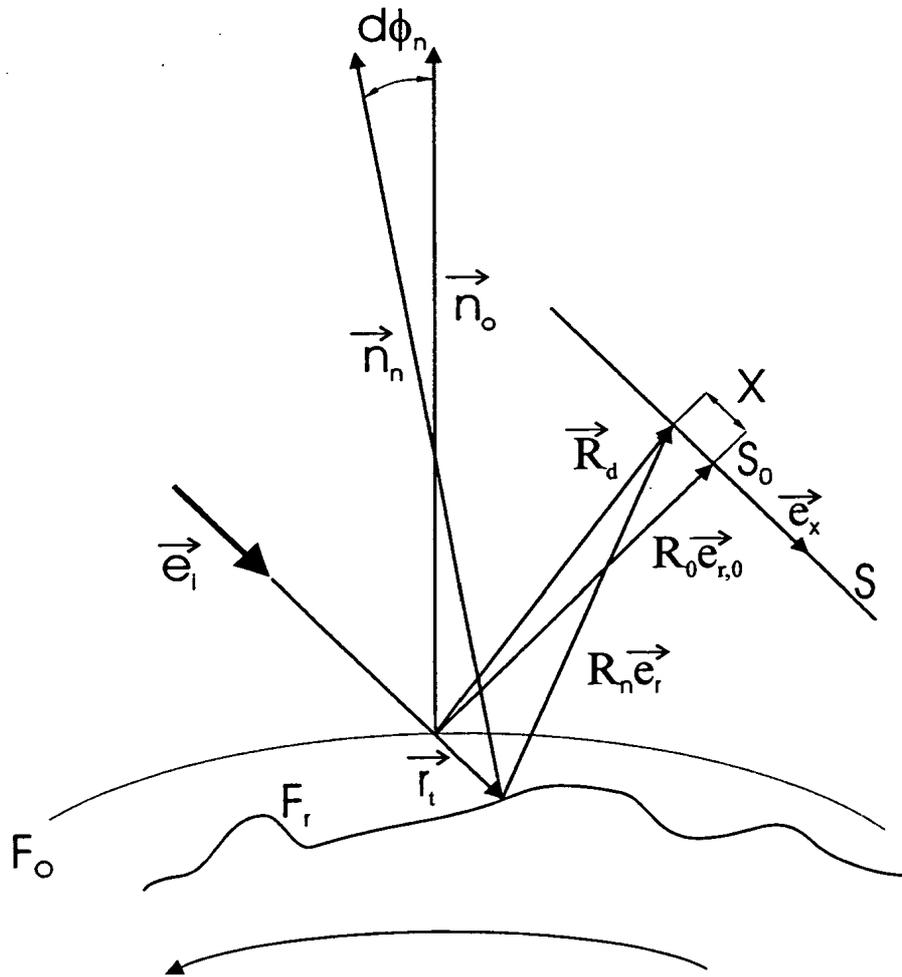


Fig. 2

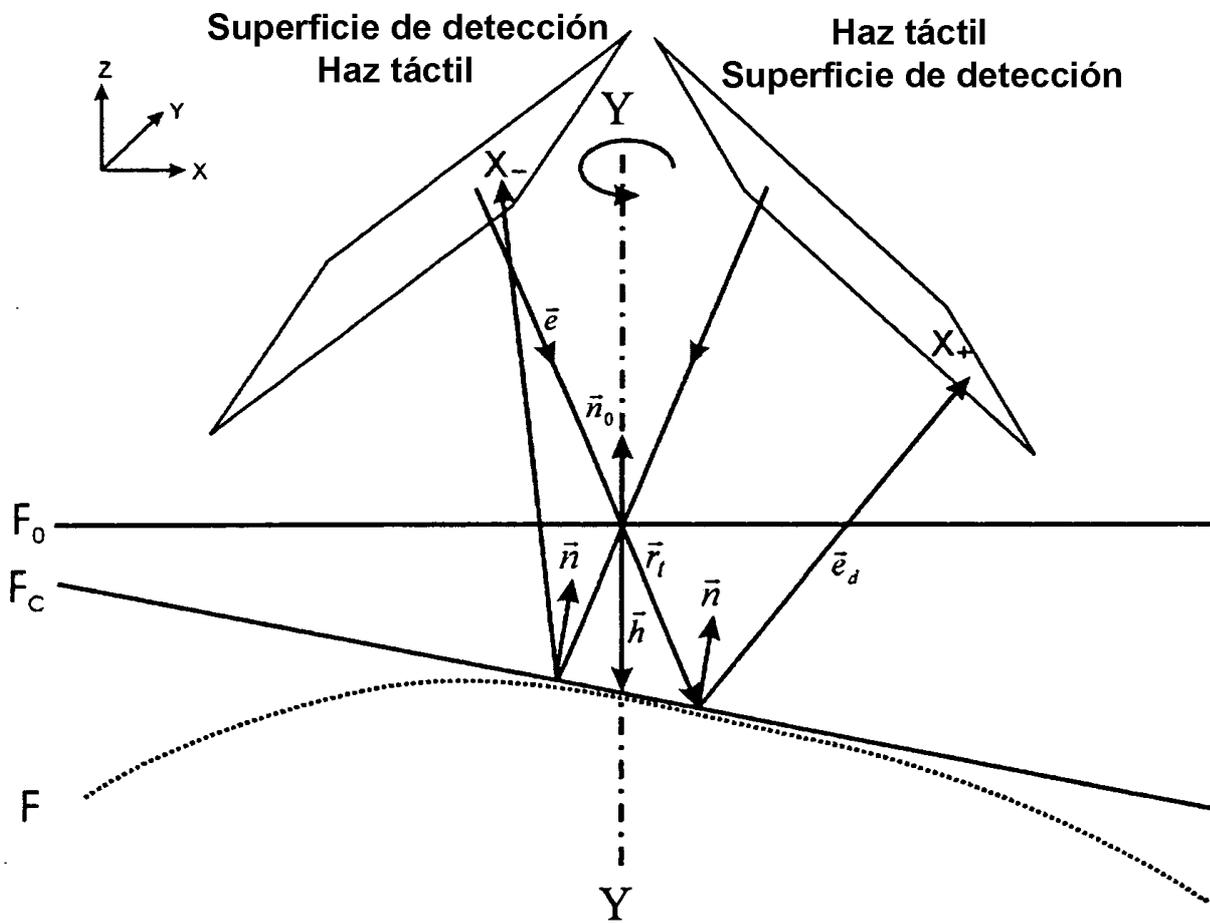


Fig. 3

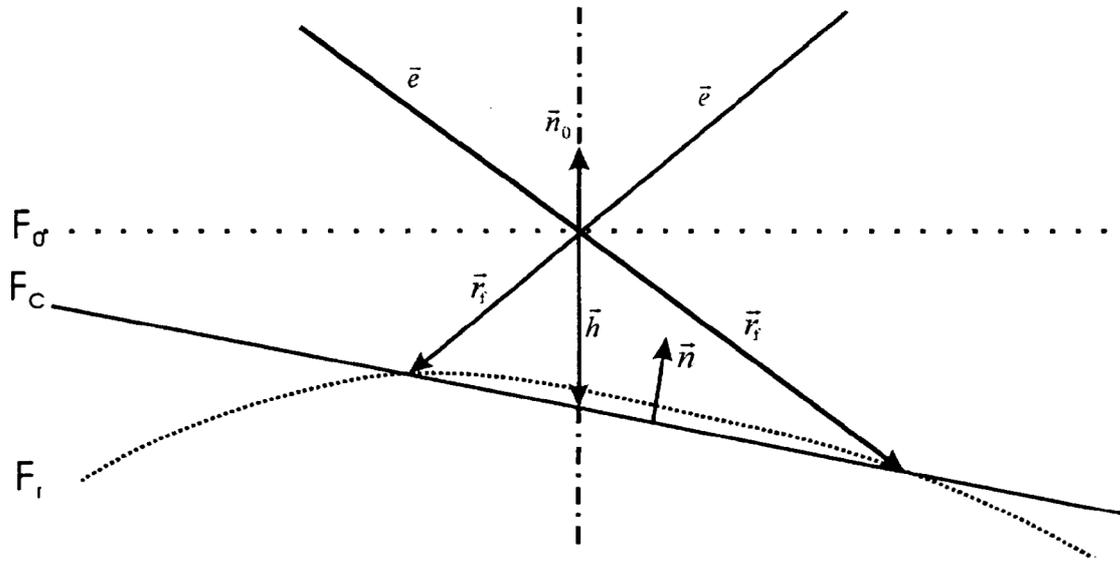


Fig. 4

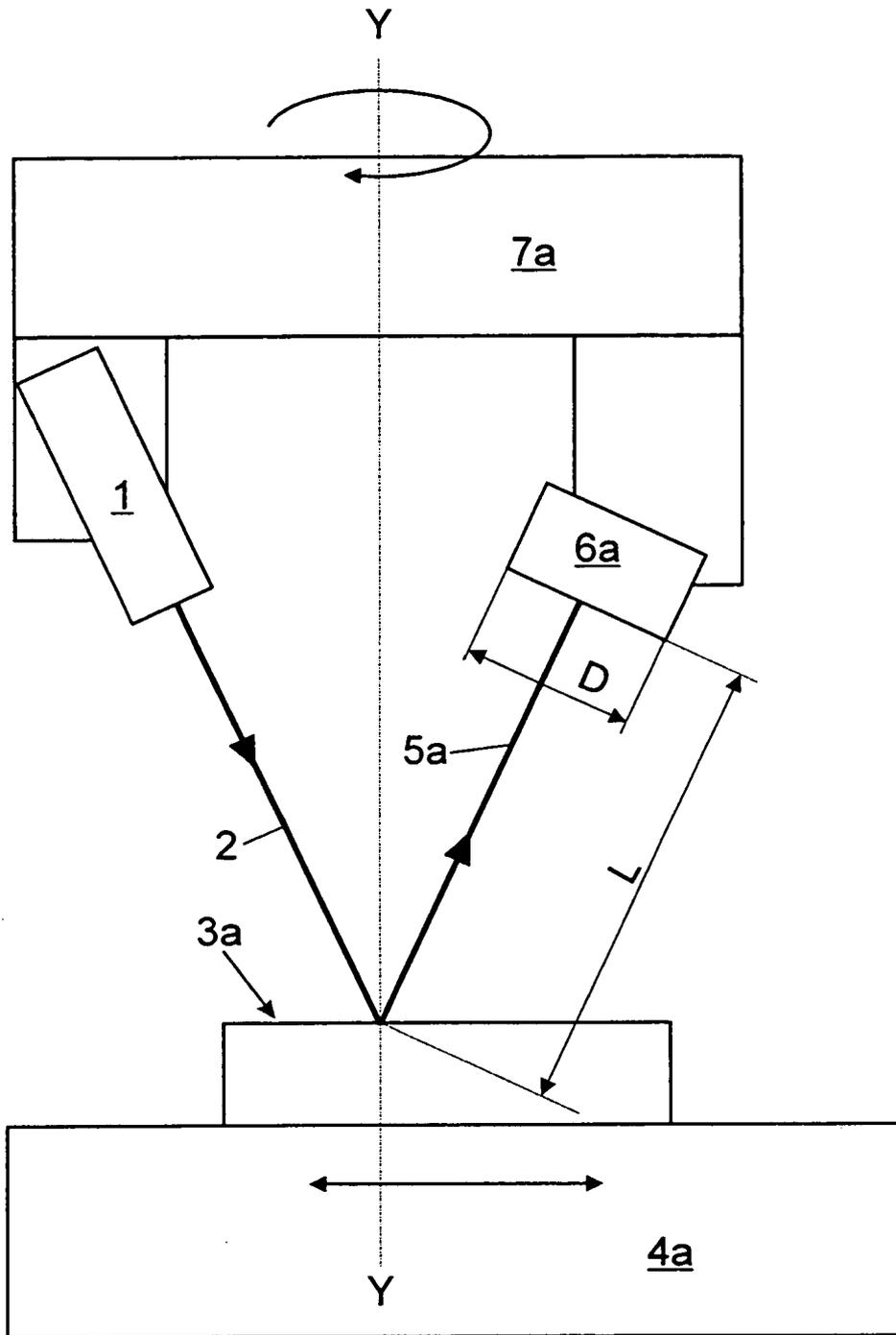


Fig. 5

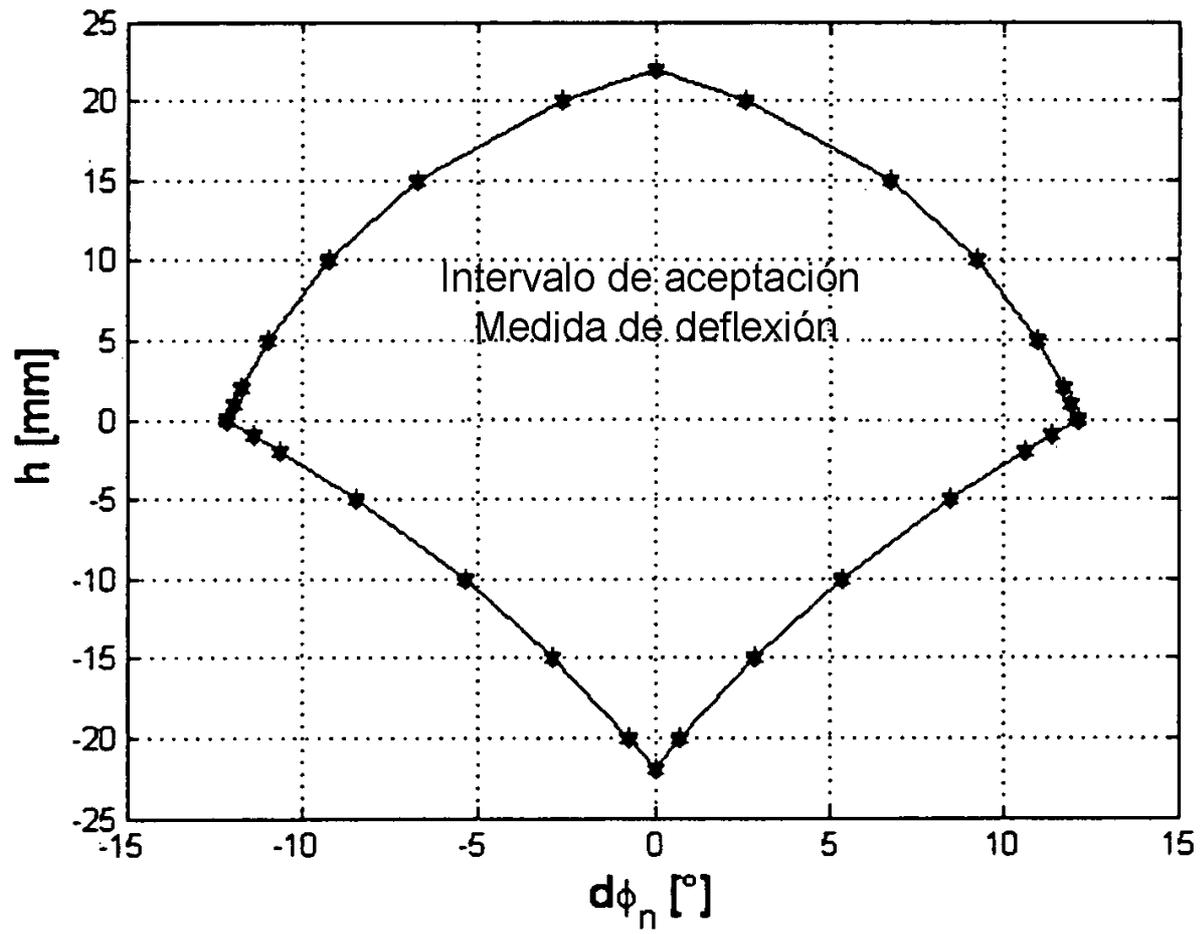


Fig. 6

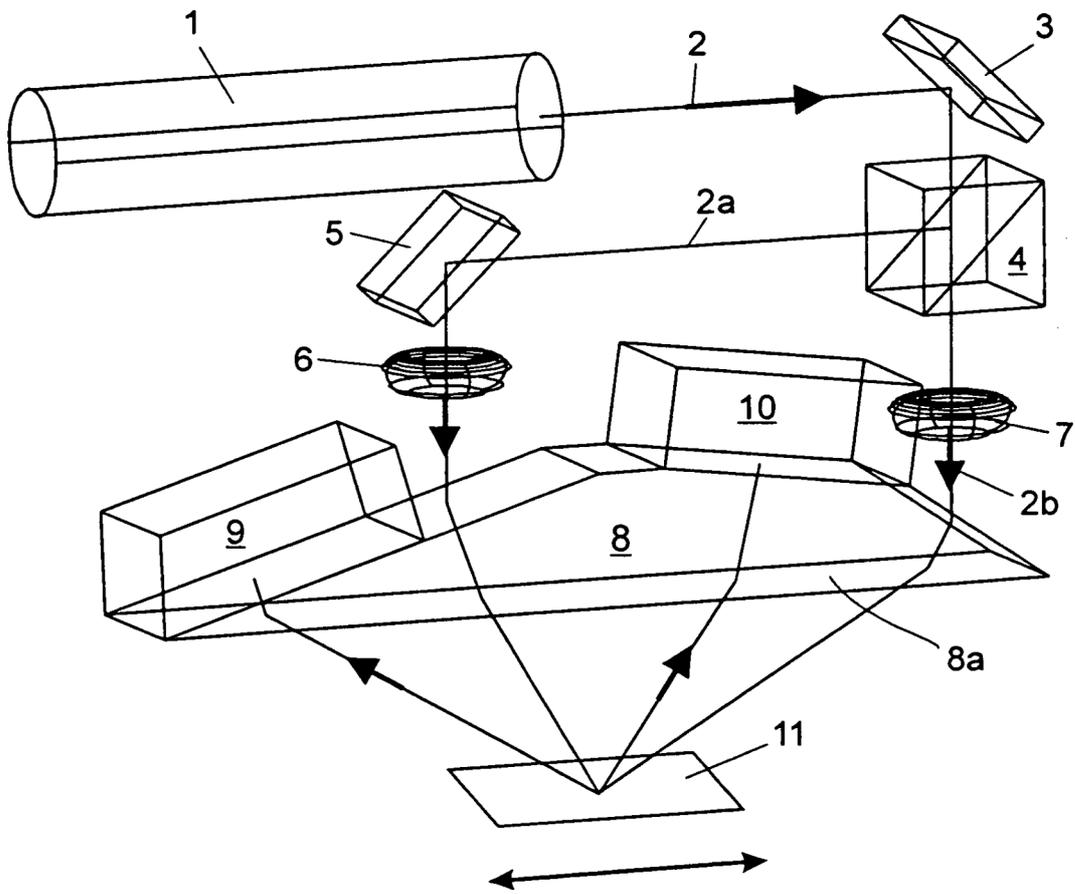


Fig. 7

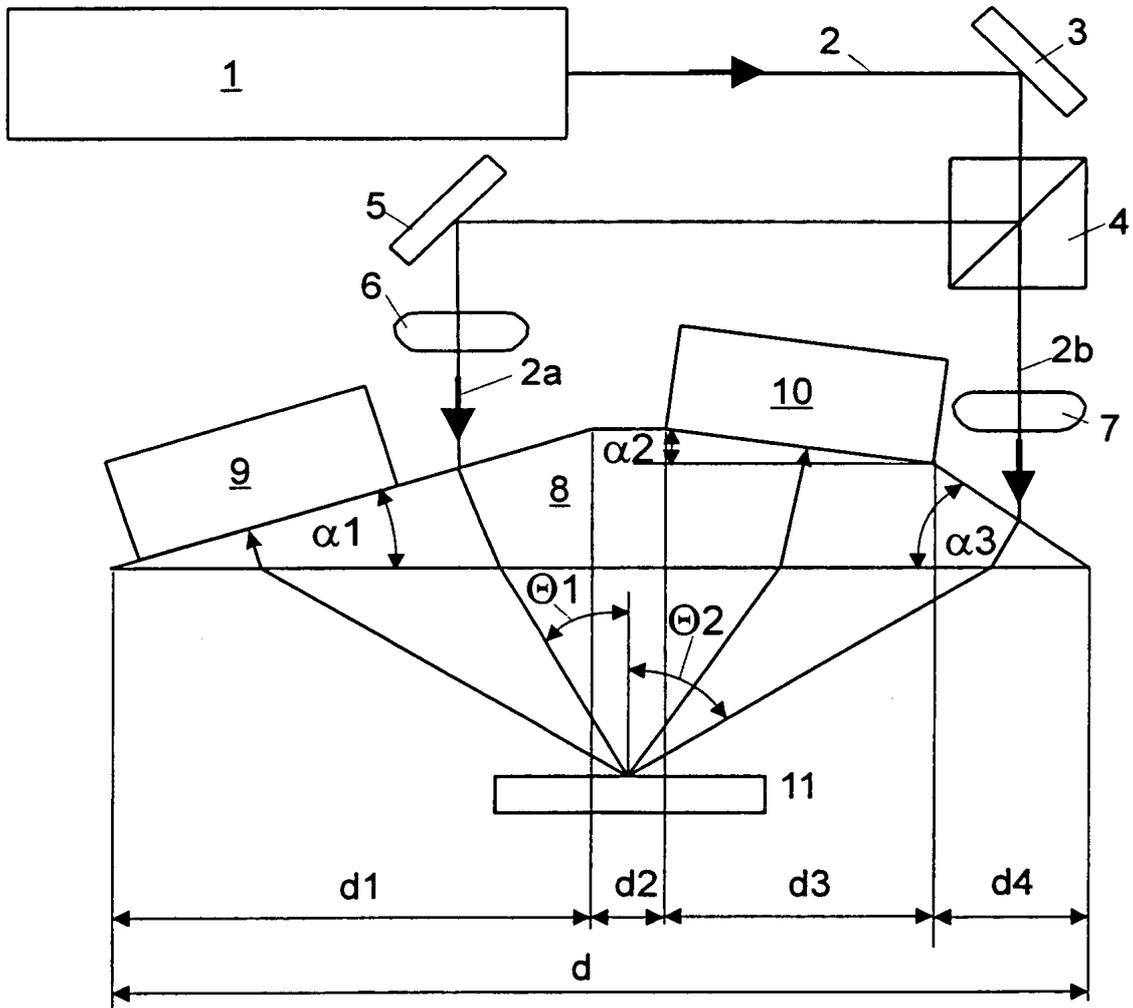


Fig. 8

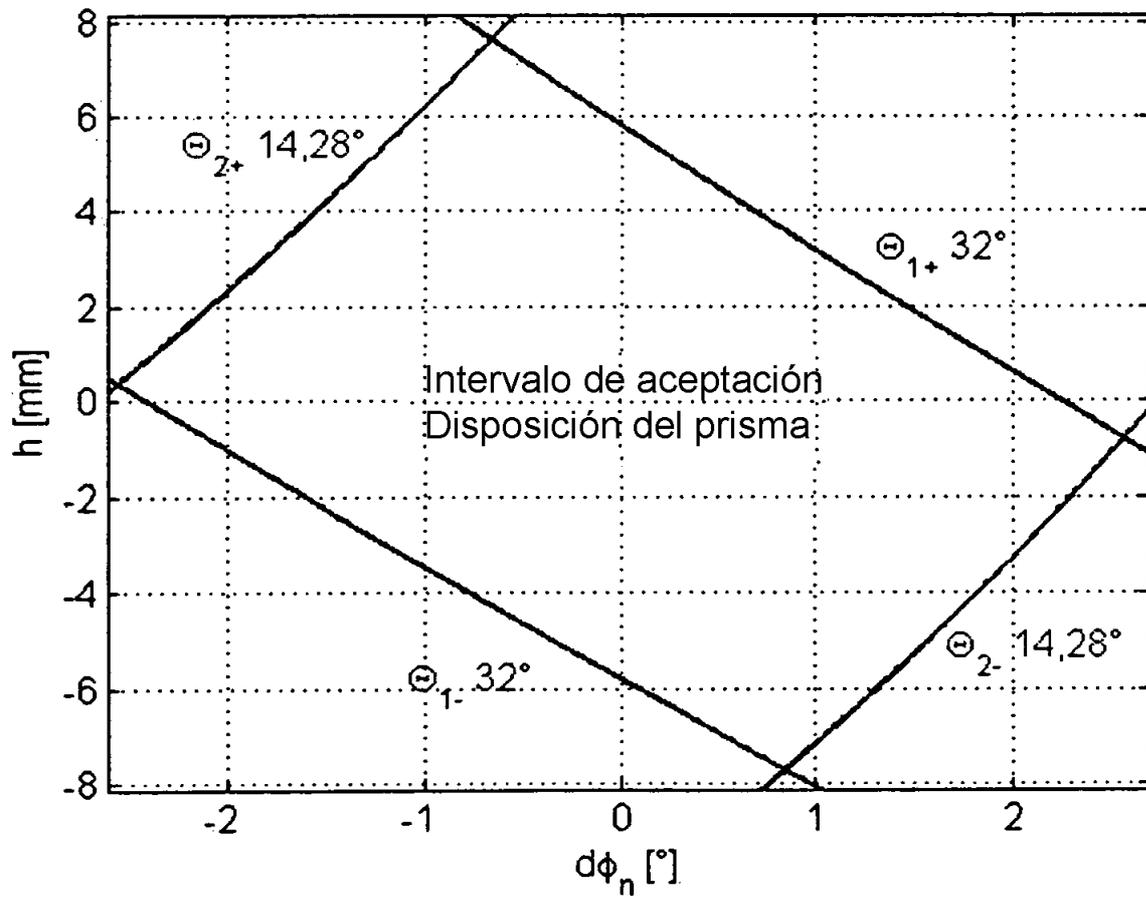


Fig. 9

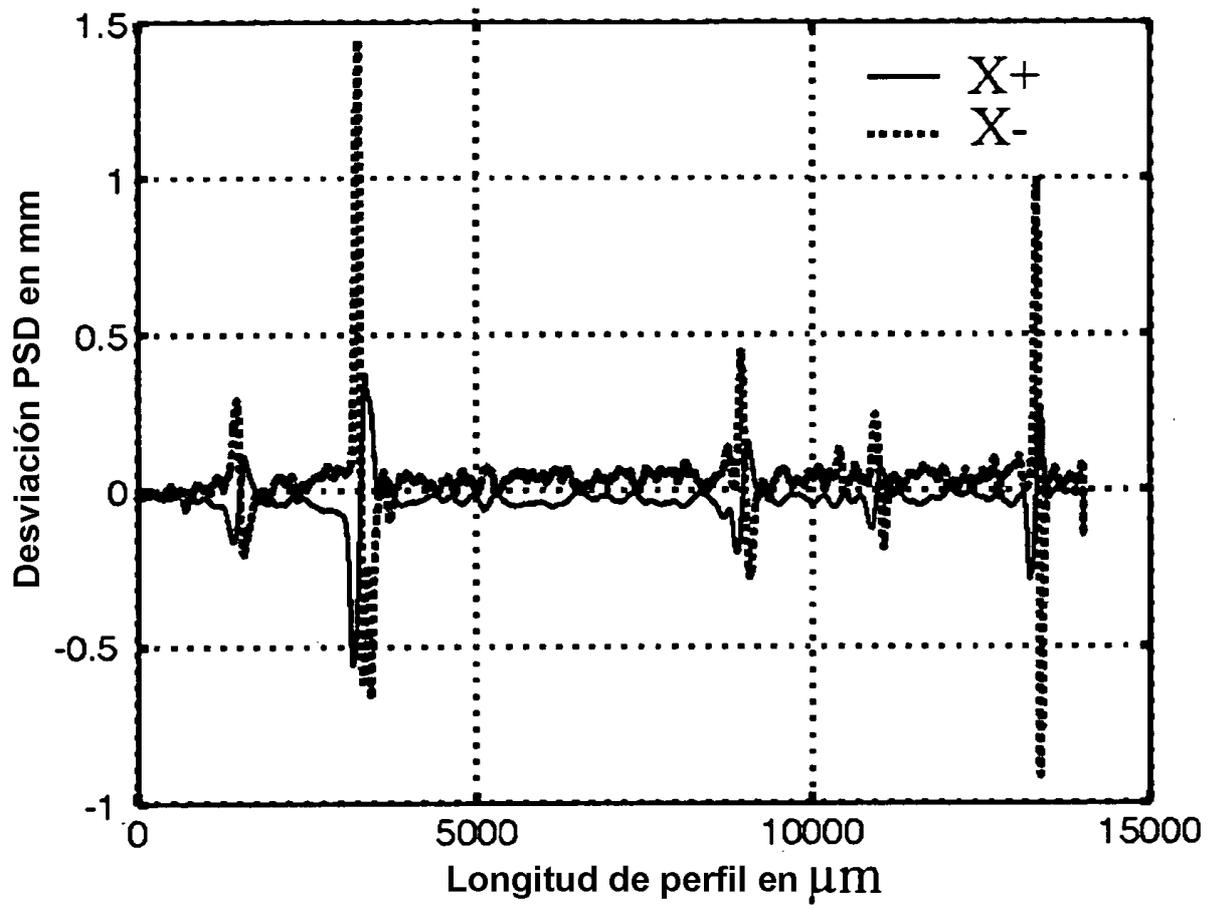


Fig. 10

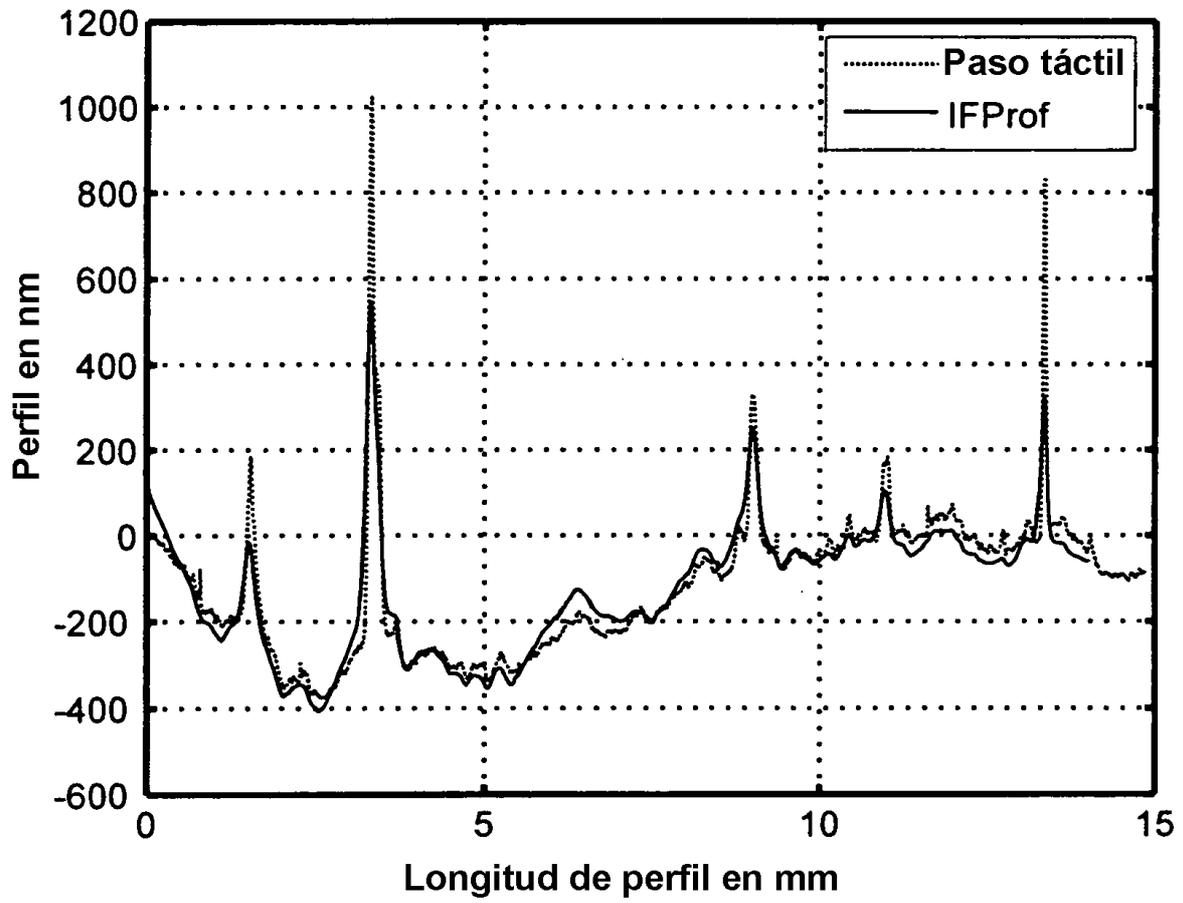


Fig. 11