

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 398 665**

51 Int. Cl.:

G01B 11/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.09.2003 E 07008505 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2012 EP 1806558**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la determinación en línea de la topografía micrométrica de productos en movimiento**

30 Prioridad:

29.11.2002 BE 200200688

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

20.03.2013

73 Titular/es:

**CENTRE DE RECHERCHES METALLURGIQUES
ASBL - CENTRUM VOOR RESEARCH IN DE
METALLURGIE VZW (100.0%)
Avenue Ariane 5
B-1200 BRUXELLES , BE**

72 Inventor/es:

**MOREAS, GENEVIÈVE y
SCHYNS, MARC**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 398 665 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

Procedimiento y dispositivo para la determinación en línea de la topografía micrométrica de productos en movimiento.

5

Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un desarrollo del procedimiento descrito en la solicitud de patente no publicada nº BE2002/0192 (Procedé et dispositif pour la détermination en ligne de rugosité de bandes d'acier en mouvement), extendido a cualquier producto metálico que presente una superficie plana, comprendidos los productos laminados en frío o en caliente y también los cilindros de laminación, ya sea durante su impresión o durante su utilización en línea.

10

La presente invención permite reconstituir la topografía de la superficie observada y más particularmente calcular el conjunto de los parámetros de rugosidad 2D y 3D.

15

La invención se refiere también al dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento.

Antecedentes tecnológicos y estado de la técnica

20

Es conocido que la rugosidad de una banda de acero influye enormemente, por una parte, en su capacidad para la deformación, en particular por embutición y, por otra parte, en diversas propiedades de superficie de la banda, en particular la adherencia de las pinturas y el aspecto de la banda tras la pintura.

25

La reproducibilidad deseada de estas propiedades requiere que la banda presente una rugosidad lo más constante posible por toda su superficie. Por otro lado, es preferible que todas las bandas destinadas a una misma aplicación, por ejemplo elementos de carrocería, presenten una rugosidad comparable.

30

Por tanto es importante vigilar la evolución de la rugosidad de la banda durante su laminación, con el fin de descubrir lo antes posible cualquier variación excesiva de esta rugosidad con respecto a los valores permitidos.

Por otro lado, en las aplicaciones en las que es necesaria una cierta conformabilidad, las chapas de acero obtenidas mediante laminación en frío tenderán ventajosamente a ser sustituidas en el futuro por chapas delgadas obtenidas mediante laminación en caliente. Esta tendencia está dictada por motivos económicos.

35

Entre los parámetros que afectan a la conformabilidad, la rugosidad de la chapa es muy importante, estando la misma directamente relacionada con la cantidad de lubricante que se puede acumular en la superficie del producto durante la lubricación en las zonas críticas de la parte conformada.

40

El valor de rugosidad R_a , denominada "rugosidad aritmética", se expresa en términos de media aritmética de un perfil filtrado de rugosidad determinado a partir de las separaciones de una curva de medición con respecto a una línea media. Se puede calcular en particular según la norma DIN 3768, sin que esta definición sea limitativa en el marco de la presente invención. También se podrían utilizar otros parámetros de rugosidad, tales como el valor de cresta, el número de picos, la forma y la repetitividad de los cráteres, en el caso de la rugosidad determinista.

45

El estado de la técnica comprende dos tipos de perfiladores para la determinación de rugosidad: los perfiladores táctiles y ópticos.

Los procedimientos táctiles utilizan unas puntas de lectura puestas en contacto con la superficie.

50

Se puede citar en particular un cierto número de procedimientos ópticos existentes.

Los procedimientos interferométricos (interferometría mediante medición de fase, por barrido vertical y proyección de franjas de interferencia) utilizan las interferencias resultantes de la superposición de las ondas luminosas incidentes sobre una superficie y de las ondas luminosas reflejadas por esta misma superficie. Su precisión puede ser muy grande, del orden del nanómetro y proporcionan un perfil 3D de la superficie observada, perfil que se puede utilizar para calcular los diferentes parámetros de rugosidad 2D y 3D. No obstante, estos procedimientos requieren una superficie perfectamente estática, es decir sin vibración y sin movimiento, durante toda la duración de la medición, o sea normalmente durante uno o varios segundos. Esto prohíbe por tanto una aplicación en línea sobre un producto en desplazamiento.

60

En el procedimiento confocal, el perfil de la superficie se mide mediante una serie de posicionamientos sucesivos de un punto de la superficie estudiada a su nivel de enfoque más elevado. Esto requiere por tanto un barrido vertical para cada punto de observación de la superficie. La precisión obtenida puede ser muy alta pero la etapa de barrido vertical requiere un tiempo de medición incompatible con un producto en desplazamiento, o sea de varios segundos.

65

Todas estas técnicas adolecen por tanto del inconveniente de necesitar un cierto tiempo para la toma de la medición, lo cual es incompatible con una toma de decisión en línea sobre instalaciones que funcionan a gran velocidad.

5 Otro procedimiento utilizado es el de la medición de la dirección de reflexión de un haz incidente en la superficie. Partiendo de un haz incidente, que forma un cierto ángulo con la normal a esta superficie, la dirección de reflexión se mide a través de un conjunto óptico que permite aumentar la sensibilidad de la medición. La experiencia industrial de este tipo de medición así como los cálculos obtenidos muestran que la precisión está limitada por los tipos de pendientes que se encuentran en las superficies observadas. Además, el intervalo de medición en Ra, normalmente
10 de 0,3 μm a 3 μm , no está cubierto eficazmente.

Se utiliza también el procedimiento de medición del lóbulo de reflexión (difusión) de un haz incidente en la superficie. Según la teoría de Beckmann *et al.* (P. Beckman, A. Spizzichino, *The scattering of electromagnetic waves from rough surfaces*, Pergamo Press, 1963), cuando un haz incidente de ángulo conocido se envía sobre una superficie,
15 existe una relación entre la rugosidad aritmética de esta superficie y la potencia reflejada por esta misma superficie (véanse las solicitudes de patente LU-A-87 483, LU-A-87 630, EP-A-484 310 y BE-A-905 862).

En particular, el documento EP-A-0 484 310 da a conocer un dispositivo para medir la rugosidad de superficie de un producto metálico en movimiento, que comprende un emisor de radiación, preferentemente en forma de un haz láser pulsado, unos medios de reflexión en forma de espejos oscilantes que desvían la radiación hacia la superficie con diferentes ángulos de incidencia y unos receptores de la radiación reflejada por la superficie.
20

Este procedimiento es eficaz en cuanto a la medición de la rugosidad aritmética en línea pero no proporciona ninguna otra información en cuanto a la topografía de la superficie, es decir por ejemplo la distribución de las mesetas (o "cumbres") y de las cavidades (o "valles") en el caso de la rugosidad denominada aleatoria, y la forma y la distribución de los cráteres en el caso de la rugosidad determinista.
25

La solicitud belga N° BE2002/0192 se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para la evaluación en línea de la rugosidad aritmética de una superficie en desplazamiento, preferentemente una banda de acero revestida o no, en los que:
30

- se procede a una adquisición de imagen de una parte de dicha superficie de dimensiones dadas, seguida por un tratamiento digital de esta imagen con vistas a hacer que aparezcan "objetos";
- 35 - se calcula a continuación el producto del número de objetos que presentan una superficie mínima por su superficie media, siendo dicho producto esencialmente proporcional a la rugosidad aritmética de la superficie, dependiendo el coeficiente de proporcionalidad de la instalación industrial particular utilizada.

El procedimiento y el dispositivo descritos en esta solicitud de patente no proporcionan un levantamiento detallado de la topografía de superficie del producto observado, lo cual constituye el problema técnico que se propone resolver la presente invención, pero se pueden utilizar y adaptar ventajosamente para ello.
40

Para hacerse una idea, la descripción siguiente hará referencia más particularmente a una banda de acero, pudiendo esta banda ser laminada indistintamente en caliente o en frío. Sin embargo, no se desprende de esto ninguna limitación del procedimiento de la invención, que se puede aplicar generalmente a otros metales o aleaciones tales como el aluminio y sus aleaciones, así como a materiales no metálicos tales como el papel y las materias plásticas. El documento US-A-5.311.286 describe un aparato y un procedimiento para medir la rugosidad o cualquier otra dimensión de una superficie mediante la transmisión de un haz de luz a través de una red con un cierto ángulo de incidencia. La red comprende una pluralidad de líneas paralelas alternativamente opacas y transparentes. El haz luminoso forma un motivo sombreado de líneas múltiples sobre la superficie situada bajo la red, debido a la sombra de las líneas opacas de la red. Una cámara registra este motivo sombreado de líneas múltiples y se superpone el motivo registrado a una pluralidad de líneas de barrido paralelas y equidistantes, orientadas de manera perpendicular a las líneas de sombra. Se miden las distancias entre los puntos en los que las líneas de sombra adyacentes cortan las líneas de barrido respectivas para determinar la rugosidad o cualquier otra dimensión de superficie.
45
50
55

El documento US-A-4.650.333 describe un sistema sin contacto para detectar defectos sobre las pistas de un circuito impreso y para medir la altura de componentes del circuito con respecto al sustrato. El sistema comprende una fuente de luz para iluminar el sustrato y los componentes del circuito así como un escáner para, a la vez, recibir instantáneamente la energía reflejada por el sustrato y los componentes del circuito y generar una señal de respuesta a la energía reflejada, estando dicha señal adaptada para variar con la intensidad de la energía reflejada. Se conecta un analizador al escáner para correlacionar la señal generada con una medición representativa de la altura de los componentes del circuito con respecto al sustrato. Se pueden tener en cuenta así variaciones y una no uniformidad de la superficie del sustrato debido a un plegado, combado o cualquier otra causa con vistas a proporcionar una medición precisa de la altura de un componente del circuito con respecto a la superficie del sustrato en el que se monta.
60
65

El documento US-A-2004/233421 describe un procedimiento para la detección de rugosidad.

Objetivos de la invención

La presente invención pretende proporcionar un procedimiento de adquisición de la imagen de una superficie de dimensiones dadas, que presenta preferentemente por lo menos 500 μm de anchura de campo de visión, en un tiempo muy corto, es decir en menos de 100 ns y así congelar el movimiento de un producto que se puede desplazar incluso a gran velocidad, es decir a más de 10 m/s.

Otro objetivo de la presente invención es poder levantar el perfil preciso de la superficie, o levantamiento topográfico aleatorio de la superficie, utilizando una proyección de una o varias líneas micrométricas, por ejemplo de 5 μm de espesor y de longitud por lo menos igual a la anchura del campo de visión, de posiciones conocidas, preferentemente paralelas, unas con respecto a otras y separadas por ejemplo 10 a 50 mm. Estas líneas se proyectan según un cierto ángulo, de modo que se enfocan en la superficie que se va a observar, siendo la técnica utilizada la de la triangulación.

Otro objetivo complementario de la invención es poder reconstituir, de manera inherente a la técnica descrita, el aspecto general de la superficie y dar una indicación de la distribución de las mesetas y las cavidades o incluso de la distribución y la forma de los cráteres.

Principales elementos característicos de la invención

Un primer objeto de la presente invención se refiere a un procedimiento para el establecimiento del levantamiento topográfico micrométrico global y la determinación en línea de parámetros de rugosidad 2D y 3D de una superficie en desplazamiento, preferentemente una superficie de acero, según la reivindicación 1.

Este procedimiento utiliza esencialmente:

- una fuente de luz láser que emite un haz que pasa a través de una o varias fibras ópticas y de un sistema óptico que realiza por lo menos una línea micrométrica de longitud por lo menos igual a la anchura del campo de visión, proyectándose dicha línea sobre dicha superficie;
- un dispositivo de medición óptica, preferentemente un microscopio industrial que presenta un eje óptico (Z);
- un sensor de distancia;
- unos medios que comprenden un motor para desplazar dicho dispositivo de medición según su eje óptico (Z) con vistas a garantizar su enfoque sobre dicha superficie y unos medios para posicionar el eje óptico (Z) de manera perpendicular al plano que contiene dicha superficie;
- un aparato de toma de imagen con salida analógica o digital, preferentemente una cámara matricial CCD o C-MOS asociada a un objetivo de manera que se obtiene una resolución espacial de por lo menos 1 μm ;
- unos medios materiales y de software, acoplados a dicho aparato de toma de imagen para la adquisición, el tratamiento, el análisis y el archivado de imágenes, así como para el establecimiento de un diagnóstico en cuanto a las características de rugosidad de dicha superficie.

Según una primera característica esencial de la invención, la línea micrométrica mencionada anteriormente se proyecta según un ángulo de incidencia comprendido entre 10 y 80°, y preferentemente entre 25 y 65°, con respecto al eje óptico (Z) mencionado anteriormente y se procede a la adquisición de una imagen de una parte de la superficie de dimensiones dadas. A continuación, se trata digitalmente esta imagen de manera que se aísla una proyección de la línea, se alisa y después se determinan sus líneas de borde y su línea central. Un levantamiento topográfico local de la superficie se realiza entonces por una línea comprendida entre, y pudiendo incluir, estas líneas de borde, preferentemente por la línea central.

Ventajosamente, se conoce la posición de las líneas micrométricas proyectadas unas con respecto a otras. Éstas son preferentemente paralelas entre sí y preferentemente están separadas por una distancia comprendida entre 10 y 50 μm , siendo su anchura preferentemente igual a 3 $\mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$.

Una segunda característica esencial de la invención, aunque no obligatoria, es que se utiliza además la fuente de luz láser para realizar una iluminación global y que se trata la imagen obtenida mediante la iluminación global para aislar en ella características de rugosidad tanto 2D como 3D, a saber, esencialmente la posición de valles y/o cráteres, con el fin de posicionar de manera global el levantamiento topográfico local. Se hablará entonces de levantamiento topográfico global para caracterizar el resultado obtenido.

La combinación de las dos características esenciales mencionadas anteriormente permite entonces reconstituir una superficie representativa de la superficie real utilizando un número determinado de imágenes y, a partir de la misma, permite calcular parámetros de rugosidad 3D.

5 Los parámetros de rugosidad 2D o 3D que se pueden determinar mediante la presente invención son bien conocidos por el experto en la materia y pueden ser muy numerosos, no pudiendo ser limitativo el marco de la presente descripción a este respecto.

10 Se definirá con más precisión un levantamiento topográfico local como el levantamiento de un parámetro de rugosidad según una dirección determinada, por ejemplo X, perpendicular al eje Z (eje óptico del microscopio). Se trata de un levantamiento en sección (los ejes de referencia X, Y y Z se definen según la manera convencional habitual).

15 Se definirá un levantamiento topográfico global como el levantamiento de un parámetro de rugosidad según una superficie (XY) perpendicular al eje Z. Por ejemplo, un levantamiento topográfico global se puede obtener procediendo a un barrido según el eje Y de un levantamiento topográfico local según el eje X.

20 Una elección entre por lo menos dos tipos de iluminación global se realiza preferentemente haciendo pasar el haz incidente por un divisor de haz (*beam splitter*) en el interior del microscopio o iluminando la superficie por el exterior del microscopio.

25 Según una primera forma de realización preferida, la iluminación global es una iluminación que ilumina dicha superficie con incidencia oblicua, comprendida entre 5 y 40°, y preferentemente a $20^\circ \pm 2^\circ$ con respecto al plano de la superficie.

Según una segunda forma de realización preferida, la iluminación global es una iluminación de campo brillante (*brightfield*).

30 Según la invención, la imagen observada de la línea proyectada sobre la superficie presenta el aspecto de una línea discontinua que permite determinar las variaciones de altura (ΔZ) locales por triangulación. Se aprovecharán entonces los principios conocidos de la triangulación, en particular que las variaciones de altura (ΔZ) a partir de una cota de referencia (Z_0 , $\Delta Z = Z - Z_0$) se obtienen a partir de las variaciones de posición de la línea discontinua ($\Delta X = X - X_0$) según la fórmula:

$$35 \quad \Delta Z = \Delta X \cdot \cotg(\alpha) .$$

La puesta en práctica concreta de la invención se realiza por el hecho de que la línea discontinua medida en función de la posición de píxeles se convierte mediante calibración en un perfil de altura micrométrica.

40 La presente invención se caracteriza ventajosamente por el hecho de que el tratamiento digital de la imagen comprende además el detalle de las siguientes etapas:

- la imagen se binariza en primer lugar utilizando el principio de entropía máxima;
- 45 - se aplica un cierre, correspondiente a una dilatación seguida por una erosión, utilizando un núcleo circular de tamaño de 3 a 5, preferentemente 4, píxeles de radio;
- se aplica a continuación una erosión, preferentemente utilizando un núcleo circular de tamaño inferior en una unidad al del núcleo de la operación de cierre;
- 50 - entonces se localiza con precisión la línea así obtenida, según el borde mínimo, el borde máximo y el centro.

La presente invención se aplicará preferentemente a una superficie perteneciente a una banda de acero en desplazamiento sobre una línea de producción a una velocidad comprendida entre 1 y 20 m/s, a una superficie que presenta una rugosidad de tipo esencialmente aleatorio, tal como una superficie granallada o a una superficie que presenta una rugosidad de tipo esencialmente determinista, tal como una superficie de cilindro de laminación grabada por láser o texturizada por haz electrónico.

60 Otro objeto de la presente invención se refiere a un dispositivo para la puesta en práctica de este procedimiento de establecimiento del levantamiento topográfico global y la evaluación en línea de parámetros de rugosidad 2D y 3D de una superficie en desplazamiento. Este dispositivo comprende un primer conjunto que comprende:

- un microscopio industrial, que presenta un eje óptico (Z) y equipado con un objetivo de aumento comprendido entre 5x y 30x, a una distancia de enfoque preferentemente superior a 10 mm y con una profundidad de campo mínima superior a la mitad de la rugosidad estimada de pico a pico, preferentemente a 15 mm y que

comprende una lente de adaptación de cámara de aumento comprendido entre 2,5x y 5x;

- 5 - una fuente de luz láser, preferentemente un láser pulsado en el visible de energía regulable hasta 10 mJ, que emite un haz que pasa a través de una o varias fibras ópticas y de un sistema óptico que realiza por lo menos una línea micrométrica de longitud por lo menos igual a la anchura del campo de visión, superponiéndose dicha línea a una iluminación global y proyectándose según un ángulo de incidencia (α) de $45^\circ \pm 20^\circ$ con respecto al eje óptico (Z) del microscopio, siendo el tiempo de iluminación preferentemente regulable entre 0 y 10 ns;
- 10 - un sensor de distancia del tipo de triangulación por láser, situado a una distancia de por lo menos 10 mm de la superficie observada (S), estando montado dicho sensor de manera oblicua de modo que la zona apuntada por dicho sensor corresponde a la zona observada por el microscopio;
- 15 - unos medios que comprenden un motor para desplazar dicho dispositivo de medición según su eje óptico (Z) con vistas a garantizar su enfoque sobre dicha superficie y unos medios para posicionar el eje óptico (Z) de manera perpendicular al plano que contiene dicha superficie;
- 20 - una cámara matricial de funcionamiento asíncrono, preferentemente CCD o C-MOS, que proporciona un campo de visión de por lo menos 500 μm de ancho y una resolución espacial de por lo menos 0,001 veces el campo de visión;
- 25 - unos medios materiales y de software, acoplados a dicha cámara matricial para la adquisición, el tratamiento, el análisis y el archivado de imágenes, así como para el establecimiento de un diagnóstico en cuanto a las características de rugosidad 2D y/o 3D de dicha superficie.

Ventajosamente, el dispositivo anterior comprende un segundo conjunto constituido por dos elementos, tales como unas mesas giratorias motorizadas, que permiten posicionar el eje óptico (Z) de manera perpendicular al plano que contiene la superficie observada. El segundo conjunto puede estar provisto de un sistema antivibratorio que permite aislar dicho conjunto del armazón metálico tal como el existente en la línea industrial, y sometido a vibraciones eventuales. El segundo conjunto se puede acoplar además a un dispositivo de desplazamiento que permite protegerlo durante un incidente de línea, preferentemente un eje lineal motorizado.

Siempre según la invención, dichos medios materiales y de software comprenden un ordenador que controla los dos conjuntos mencionados anteriormente.

Una característica particularmente ventajosa de la invención es que el microscopio puede comprender un filtro que bloquea la radiación del sensor de distancia y que deja pasar la radiación de iluminación de la superficie y de proyección de líneas.

Breve descripción de las figuras

La figura 1 representa el esquema del principio de funcionamiento del dispositivo de medición utilizado para poner en práctica el procedimiento de la invención.

La figura 2.a es una representación esquemática en el plano del dispositivo de medición de la figura 1.

La figura 2.b. es una representación esquemática en alzado del dispositivo de la figura 1.

Las figuras 3.a y 3.b representan unas imágenes digitales obtenidas con el dispositivo de medición descrito en la figura 1 en proyección de líneas con iluminación global.

Las figuras 3.c y 3.e representan imágenes de superficie global.

Las figuras 3.d y 3.f representan los levantamientos topográficos obtenidos a partir de un barrido de proyecciones de línea.

Las figuras 4.a y 4.b representan esquemáticamente el principio de triangulación utilizado.

La figura 5 representa la curva que relaciona la rugosidad aritmética 2D calculada con la rugosidad medida mecánicamente para una serie de muestras.

Descripción de una forma de realización preferida de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento para el levantamiento topográfico y la evaluación en línea de los parámetros de rugosidad 2D y 3D de una superficie en desplazamiento, preferentemente una superficie de acero.

Esta reconstitución de perfil topográfico utilizará como punto de partida la iluminación oblicua descrita anteriormente en la solicitud nº BE2002/0192 en el caso, por ejemplo, de la rugosidad denominada aleatoria, o una iluminación de campo brillante (*brightfield*) en el caso, por ejemplo, de la rugosidad denominada determinista. Esto permite relacionar el perfil levantado por medio de la proyección de líneas con una topografía más global de la superficie observada y por tanto reconstituir un levantamiento representativo de la topografía de la superficie.

Según la invención, se utiliza un microscopio en línea desarrollado por el solicitante (GaScope®) y descrito en la figura 1 para realizar la adquisición de las imágenes de la superficie. Este microscopio puede utilizar o bien una iluminación oblicua 4, por ejemplo según una inclinación comprendida entre 5 y 40°, y preferentemente a 20°, o bien una iluminación de campo brillante (*brightfield*) 4'.

El equipamiento de medición en línea A descrito en las figuras 1 y 2 para la puesta en práctica del procedimiento de la invención comprende por lo menos un microscopio industrial 1 equipado con un objetivo de trabajo a gran distancia 2, preferentemente superior a 5 mm, una lente de adaptación de cámara, un aparato de toma de imagen con una salida analógica o digital, tal como por ejemplo una cámara matricial 3, preferentemente CCD o C-MOS, una iluminación que comprende un láser utilizado para una iluminación oblicua 4 o de campo brillante (*brightfield*) 4' tal como se ha mencionado ya, un dispositivo de proyección de línea(s) micrométrica(s) 8, un sensor de distancia 5 y un motor 9 que actúa sobre el desplazamiento según el eje Z que es el eje óptico del microscopio con el fin de permitir el enfoque correcto del sistema.

El microscopio puede estar equipado ventajosamente con un filtro 10 que bloqueará la radiación del sensor de distancia y que dejará pasar la radiación de iluminación de la superficie y de proyección de líneas.

La figura 1 representa el caso de una banda de acero en desplazamiento, de manera que se posiciona la banda S aplicándola sobre la superficie de un cilindro 6 por tracción y se posiciona el microscopio de tal manera que el eje óptico del sistema cruza ortogonalmente el eje 7 del cilindro 6 y está comprendido en un segmento de arco situado entre la primera y la última línea de contacto entre la banda que soporta la superficie y el cilindro.

El equipamiento A se monta en un conjunto D que comprende dos elementos B y C, tales como unas mesas giratorias motorizadas, permitiendo dicho conjunto D posicionar el eje óptico Z de manera perpendicular al plano que contiene la superficie observada S (figuras 1 y 2). Preferentemente, el conjunto D está provisto de un sistema antivibratorio que permite aislar dicho conjunto del armazón metálico tal como el existente en la línea industrial, y sometido a las diversas vibraciones a menudo presentes en este tipo de entorno industrial. Además, el conjunto se puede colocar ventajosamente en un sistema de colocación/estacionamiento, por ejemplo un eje lineal motorizado, con el fin de proteger el sistema durante un incidente de línea.

El equipamiento A está asociado también a unos medios tales como un ordenador que permite garantizar por lo menos las siguientes operaciones:

- controlar los medios de posicionamiento del eje óptico, por ejemplo el o los motores de regulación de la distancia según el eje óptico Z y de posicionamiento de las mesas B y C;
- controlar la distancia entre el objetivo 2 del microscopio y la superficie S examinada;
- controlar el posicionamiento de la línea (o de las líneas) de proyección con el fin de que esté(n) lo mejor posicionada(s) posible en el campo de visión y que se enfoque(n) en el nivel medio de la superficie;
- actuar sobre la iluminación láser 4, 4' mencionada previamente;
- decidir la toma de imágenes y, estado provisto de por lo menos una tarjeta de adquisición de imágenes (*frame grabber*) adecuada para trabajar con cámaras en funcionamiento asíncrono, adquirir, tratar y analizar imágenes;
- eventualmente emitir un diagnóstico y archivar los resultados.

Este tipo de equipamiento ya ha sido descrito por el solicitante en las solicitudes de patente belgas nº 2001/0398 y 2002/0192 (no publicadas).

El procedimiento de la invención pone en práctica una fuente de luz láser 4, 4' que pasa a través de una o varias fibras ópticas y de un sistema óptico que, asociados a un conjunto de posicionamiento preciso, por ejemplo dos mesas de traslación, constituyen el dispositivo de proyección micrométrico 8. Este dispositivo realiza una o varias líneas micrométricas que presentan por ejemplo $3 \pm 2 \mu\text{m}$ de anchura y cuya longitud es por lo menos igual a la anchura del campo de visión. Estos líneas se proyectan según un ángulo de incidencia de $45 \pm 20^\circ$ con respecto al eje óptico (Z) del microscopio.

La fuente de luz láser se puede utilizar ventajosamente en paralelo para la iluminación oblicua (véase la solicitud de

patente BE2002/0192) en el caso de la rugosidad denominada aleatoria o como iluminación de campo brillante (*brightfield*) (véase la solicitud de patente BE2001/0398) en el caso de la rugosidad determinista. Esta doble utilización de la misma fuente se realiza por medio de un divisor (*beam splitter*) que divide la energía incidente en dos, una transmitida y la otra reflejada.

5 Según la invención, se procede a la adquisición de una imagen de una parte de la superficie de dimensiones dadas y se trata digitalmente esta imagen con vistas a realizar las siguientes operaciones:

- 10 - por una parte, aislar cada línea proyectada, alisarla y después determinar los bordes así como la línea central de la misma. Esta última se utiliza entonces como levantamiento topográfico de la superficie. En efecto, según el principio de la triangulación (figuras 4.a y 4.b), la línea observada es más o menos discontinua en función del nivel de la superficie. Una calibración del sistema permite entonces convertir esta línea discontinua, observada en píxeles, en μm según la altura. El levantamiento así obtenido se puede tratar entonces para obtener cualquier parámetro normalizado de rugosidad 2D deseado. Conociendo dx y $Z(x)$, se obtiene, por ejemplo:

$$R_o = L^{-1} \int_0^L |Z(x)| dx$$

en la que L es la longitud del tramo en el que se mide la rugosidad;

- 20 - por otra parte, estando la superficie sometida además a una iluminación global (oblicua o de campo brillante (*brightfield*)), tratar la imagen así obtenida para aislar de la misma las características principales, a saber esencialmente la posición de los valles y/o de los cráteres con el fin de reposicionar el levantamiento topométrico obtenido en un contexto más global. Los valles y cráteres se pueden caracterizar no solamente en superficie sino en profundidad si la o las líneas proyectadas los atraviesan;
- 25 - por medio del acoplamiento de las dos operaciones descritas anteriormente, reconstituir una superficie representativa de la superficie real utilizando n imágenes. De esta manera, se pueden calcular entonces los parámetros 3D de la rugosidad. Conociendo la forma del valle y/o del cráter, así como su posición y la de la línea proyectada, es posible precisar si atraviesa el relieve en su centro o en el borde. Tras un cierto número de levantamientos, es por tanto posible reposicionar cada perfil en una superficie representativa de una superficie típica que se encuentra en el producto. Se obtiene así un levantamiento X,Y,Z de la superficie y se pueden calcular los parámetros 3D.

35 Según la invención, el tratamiento digital de la imagen, en lo que se refiere a la línea proyectada (levantamiento topográfico local), comprende además el detalle de las siguientes etapas:

- 40 - la imagen se binariza en primer lugar utilizando el principio de máxima entropía, es decir mediante selección de un valor umbral que maximiza la entropía de la imagen resultante, es decir la información y el contenido;
- 45 - se aplica un cierre, que corresponde a una dilatación (engrosamiento de los objetos blancos por adición de una capa de píxeles a lo largo de los bordes del objeto) seguida por una erosión (adelgazamiento de los objetos blancos mediante retirada de una capa de píxeles a lo largo de los bordes del objeto). El efecto global es conservar la forma general de los objetos (es decir de la línea) a la vez que se elevan los objetos "negros" más pequeños que el "núcleo" utilizado. Esto permite eliminar los pequeños objetos correspondientes, por ejemplo, a ruido y rellenar los pequeños huecos en un objeto blanco más grande. El "núcleo" utilizado presenta una forma casi circular y un tamaño típico de 3 a 5 píxeles de radio o semi-anchura;
- 50 - se aplica a continuación una nueva erosión, utilizando preferentemente un núcleo circular de tamaño inferior en una unidad al del núcleo de la operación de cierre;
- entonces se localiza la línea así obtenida de manera precisa en la imagen: el borde mínimo, el borde máximo y el centro.

55 Un tratamiento posible de la iluminación global según la invención consistiría, por ejemplo, en:

- 60 - binarizar la imagen por máxima entropía para obtener la imagen de la línea proyectada y ello con el fin de poder retirar dicha línea de la imagen global, definida anteriormente, después tratar la imagen resultante de manera que se obtiene un conjunto de objetos correspondientes, por ejemplo, a los valles;
- para cada objeto obtenido, calcular su superficie y las coordenadas del círculo circunscrito (posición del centro, "tamaño" o diámetro).

Una combinación de las dos características esenciales mencionadas anteriormente consistiría entonces, por ejemplo en el caso de una rugosidad determinista, en asociar a cada línea tratada una posición en una imagen inicial elegida arbitrariamente. La anchura del o de los cráteres en el lugar atravesado por la línea, así como la distancia entre los centros de las cavidades así determinadas, permite realizar este posicionamiento.

5 La figura 4.a ilustra el principio de la medición de triangulación que permite determinar la variación de altura ΔZ , con iluminación oblicua de ángulo α con respecto a la normal Z a la banda metálica en desplazamiento. Esta normal Z proporciona la dirección de observación de la cámara 3, es decir el eje óptico del sistema. Conociendo α , se determina por cálculo ΔZ a partir de las variaciones medidas de amplitud ΔX de la línea discontinua proyectada observada, según la fórmula:

$$\Delta Z = \Delta X \cdot \cotg(\alpha) .$$

15 La figura 4.b. representa los diferentes niveles de impactos posibles X1, X2, X3 de un punto proyectado sobre una superficie que se encuentra respectivamente a una altura Z1, Z2, Z3.

La figura 5 representa un ejemplo de curva que permite relacionar los resultados obtenidos mediante el cálculo anterior para la rugosidad 2D con los valores correspondientes medidos mecánicamente en el caso de una serie de muestras.

20 Se ilustran unos resultados experimentales en las diferentes figuras 3.a a 3.f. Las figuras 3.a y 3.b son unas imágenes obtenidas mediante proyección de líneas y con iluminación global (campo brillante (*brightfield*)). Las figuras 3.c y 3.e son unas imágenes de superficie global. Las figuras 3.d y 3.f son los levantamientos topográficos 3D correspondientes representados en una vista en perspectiva. Estos levantamientos corresponden respectivamente a un caso de referencia y a un caso de rugosidad. Estos levantamientos topográficos se obtienen desplazando en un paso conocido la muestra observada, analizando cada imagen así obtenida y reconstituyendo una cartografía XYZ de la superficie.

30 La presente invención presenta además la ventaja, gracias a la combinación de una proyección de líneas y de una iluminación de tipo campo brillante (*brightfield*) u oblicua, de poder reconstituir la topografía en 3 dimensiones tanto en el caso de productos con rugosidad de tipo aleatorio, como las superficies granalladas (distribución de máximos aleatorios), como de productos con rugosidad de tipo determinista, como los cilindros de laminación grabados por láser o texturizados por haz electrónico (LASERTEX - *Laser Texturing* (texturización por láser), EBT - *Electron Beam Texturing* (texturización por haz electrónico)). Esto se realiza:

- 35 - o bien mediante recombinación de un cierto número de líneas por medio de la iluminación global de la superficie, que permite restituir cada línea en una superficie representativa,
- 40 - o bien mediante utilización de una proyección de varias líneas que cartografían directamente una zona de la superficie observada,
- o bien incluso mediante combinación de las 2 operaciones mencionadas anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el establecimiento del levantamiento topográfico micrométrico global y la determinación en línea de parámetros de rugosidad 2D y 3D de una superficie S en desplazamiento, preferentemente una superficie de acero, según el cual se utiliza:

- una fuente (4, 4') de luz láser que emite un haz que pasa a través de una o varias fibras ópticas y un sistema óptico (8) que realiza por lo menos una línea micrométrica de longitud por lo menos igual a una anchura de campo de visión de 500 μm , proyectándose dicha línea micrométrica sobre dicha superficie según un ángulo de incidencia α comprendido entre 10 y 80°, y preferentemente entre 25 y 65°, con respecto a un eje óptico Z, utilizándose también la fuente láser (4, 4') para realizar una iluminación que ilumina dicha superficie con incidencia de campo brillante (*brightfield*) u oblicua comprendida entre 5 y 40° con respecto al plano de la superficie, denominada iluminación global;
- un dispositivo de medición óptica en forma de un microscopio industrial (1) de eje óptico Z, de distancia de enfoque superior a 10 mm, un aparato de toma de imagen con salida analógica o digital (3) en forma de una cámara matricial, preferentemente CCD o C-MOS, asociada a un objetivo conveniente para obtener una resolución espacial de por lo menos 1 μm así como unos medios que comprenden un motor para desplazar dicho dispositivo de medición según el eje óptico Z con vistas a garantizar su enfoque sobre dicha superficie S y unos medios para posicionar el eje óptico Z de manera perpendicular al plano que contiene dicha superficie S;
- unos medios materiales y de software, acoplados a dicho aparato de toma de imagen para la adquisición, el tratamiento, el análisis y el archivado de imágenes, así como para el establecimiento de un diagnóstico en cuanto a las características de rugosidad de dicha superficie;
- un sensor de distancia (5) con fines del enfoque del microscopio industrial;

estando dicho procedimiento caracterizado porque:

- el sensor de distancia (5) es del tipo de triangulación por láser, situado a una distancia de por lo menos 10 mm de la superficie observada S y montado de manera oblicua de modo que la zona apuntada por el sensor corresponda a la zona observada por el microscopio, cooperando el sensor de distancia (5) con los medios que comprenden un motor para desplazar el microscopio industrial según el eje óptico Z, con vistas a garantizar el enfoque del microscopio industrial sobre la superficie S;
- se utiliza como fuente de luz (4, 4') un láser pulsado de tiempo de iluminación comprendido entre 0 y 10 ns;
- una vez que el microscopio está enfocado sobre la superficie S, se procede a un levantamiento de un parámetro de rugosidad según una dirección perpendicular al eje Z, denominado levantamiento topográfico local, micrométrico de la superficie S por adquisición de una imagen bajo dicha iluminación global de una parte de la superficie S de dimensiones determinadas, que contiene la o las líneas micrométricas proyectadas y a un tratamiento digital de esta imagen de manera que se aísla cada línea, se alisa y después se determinan sus líneas de borde y su línea central de la misma, realizándose el levantamiento topográfico local micrométrico correspondiente a cada línea micrométrica de la superficie, denominado perfil micrométrico, por una línea comprendida entre, y pudiendo incluir, estas líneas de borde, preferentemente por la línea central;
- se procede a un levantamiento de un parámetro de rugosidad según una superficie (XY) perpendicular al eje Z, denominado levantamiento topográfico global de la superficie S, mediante un tratamiento digital de la imagen mencionada anteriormente, en la que se identifican la forma y la posición de cumbres, valles y/o de cráteres, asociando a cada línea tratada y por tanto a cada perfil micrométrico una posición en la imagen con respecto a las cumbres, los valles y/o los cráteres para reconstituir así una superficie representativa de la superficie S utilizando un número determinado de imágenes, y a partir de la misma, calcular unos parámetros de rugosidad 2D y 3D.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque se conoce la posición de las líneas micrométricas proyectadas, unas con respecto a otras, siendo éstas preferentemente paralelas entre sí y preferentemente separadas por una distancia comprendida entre 10 y 50 μm , siendo su anchura preferentemente igual a 3 $\mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$.

3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque se realiza una elección entre por lo menos dos tipos de iluminación global haciendo pasar el haz incidente por un divisor de haz (*beam splitter*) en el interior del microscopio o iluminando la superficie por el exterior del microscopio.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque la iluminación global es una iluminación que ilumina dicha superficie (S) con incidencia oblicua, a $20^\circ \pm 2^\circ$ con respecto al plano de la superficie.

5 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque al presentar la imagen observada de la línea proyectada sobre la superficie (S) el aspecto de una línea discontinua, se determina un perfil de altura micrométrica, es decir unas variaciones de altura (ΔZ) locales, mediante conversión de la posición de píxeles que representan esta línea discontinua mediante una calibración basada en la triangulación.

10 6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado porque las variaciones de altura (ΔZ) a partir de una cota de referencia (Z_0 , $\Delta Z = Z - Z_0$) se obtienen a partir de las variaciones de posición de la línea discontinua ($\Delta X = X - X_0$) según la fórmula:

$$\Delta Z = \Delta X \cdot \cotg(\alpha).$$

15 7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el tratamiento digital de la imagen de línea proyectada comprende además el detalle de las siguientes etapas:

- la imagen se binariza en primer lugar utilizando el principio de entropía máxima;
- 20 - se aplica un cierre, correspondiente a una dilatación seguida por una erosión, utilizando un núcleo circular de tamaño de 3 a 5, preferentemente 4, píxeles de radio;
- se aplica a continuación una erosión, preferentemente utilizando un núcleo circular de tamaño inferior en una unidad al del núcleo de la operación de cierre;
- 25 - entonces se localiza con precisión la línea así obtenida, según el borde mínimo, el borde máximo y el centro.

30 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque la superficie S pertenece a una banda de acero en desplazamiento sobre una línea de producción a una velocidad comprendida entre 1 y 20 m/s.

9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque la superficie S presenta una rugosidad de tipo esencialmente aleatorio, tal como una superficie granallada.

35 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque la superficie S presenta una rugosidad de tipo esencialmente determinista, tal como una superficie de cilindro de laminación grabada por láser o texturizada por haz electrónico.

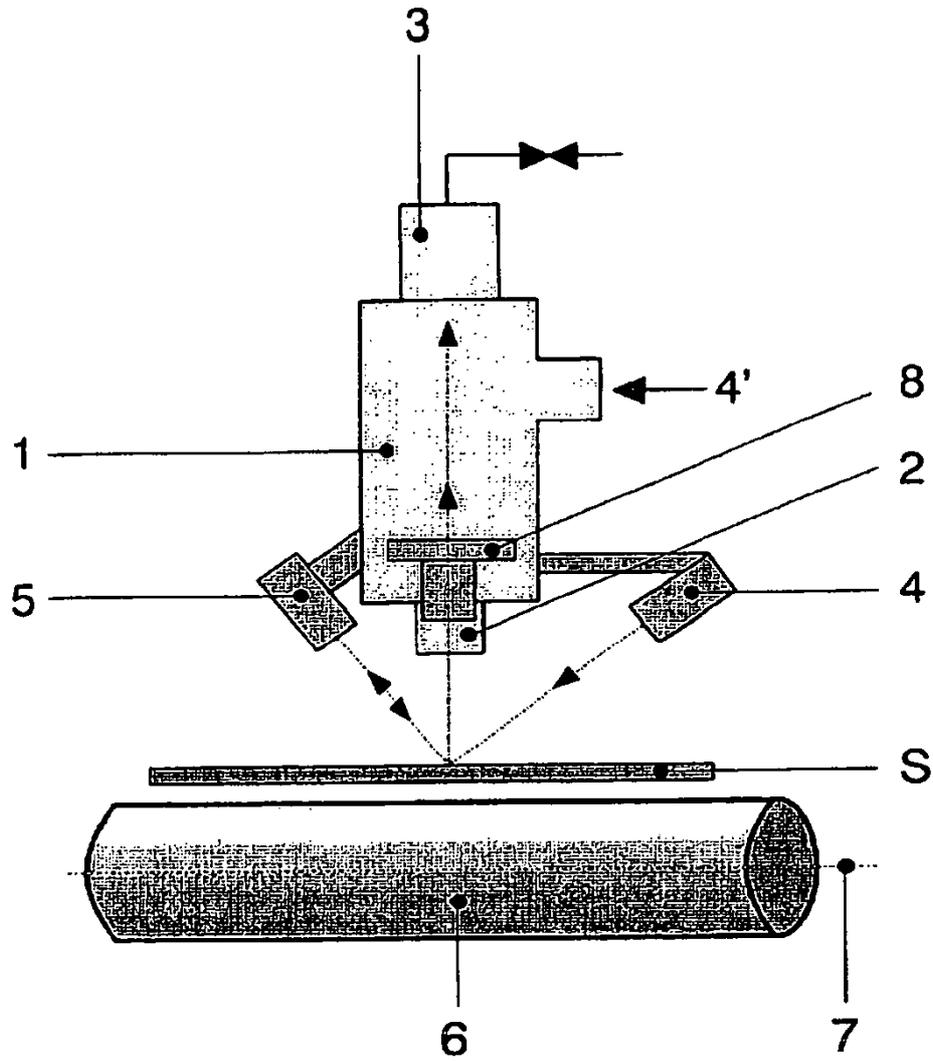


Fig. 1

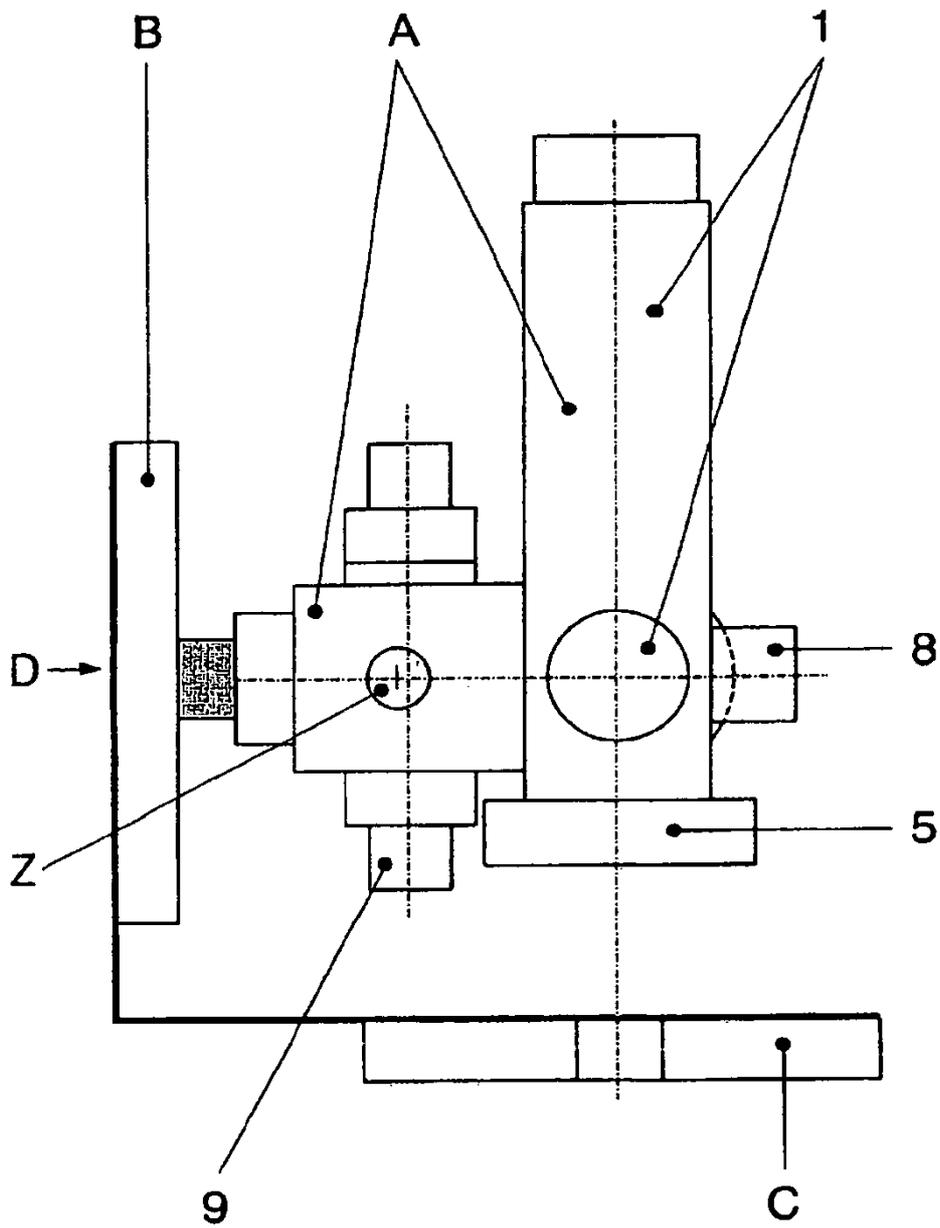


Fig. 2.a.

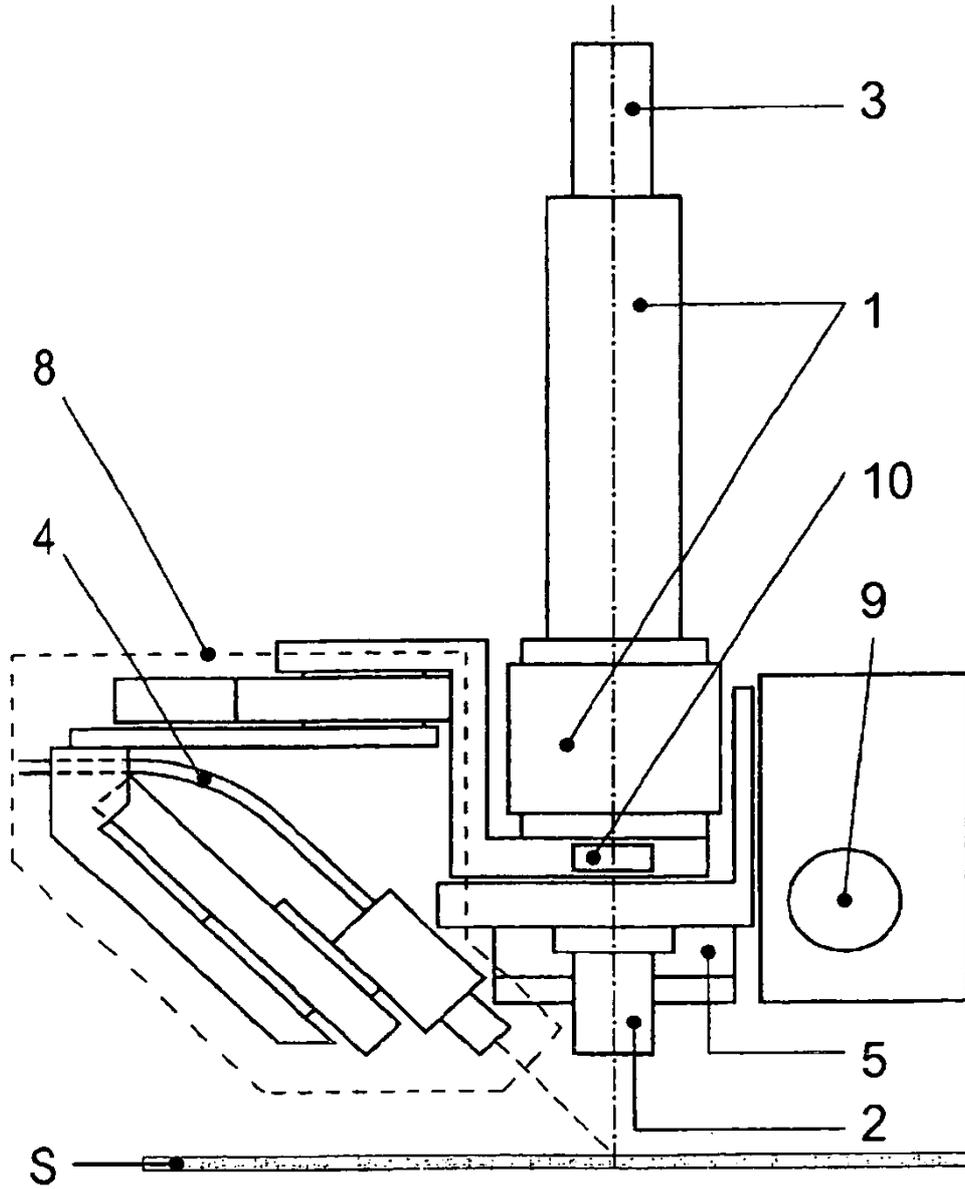


Fig. 2.b.

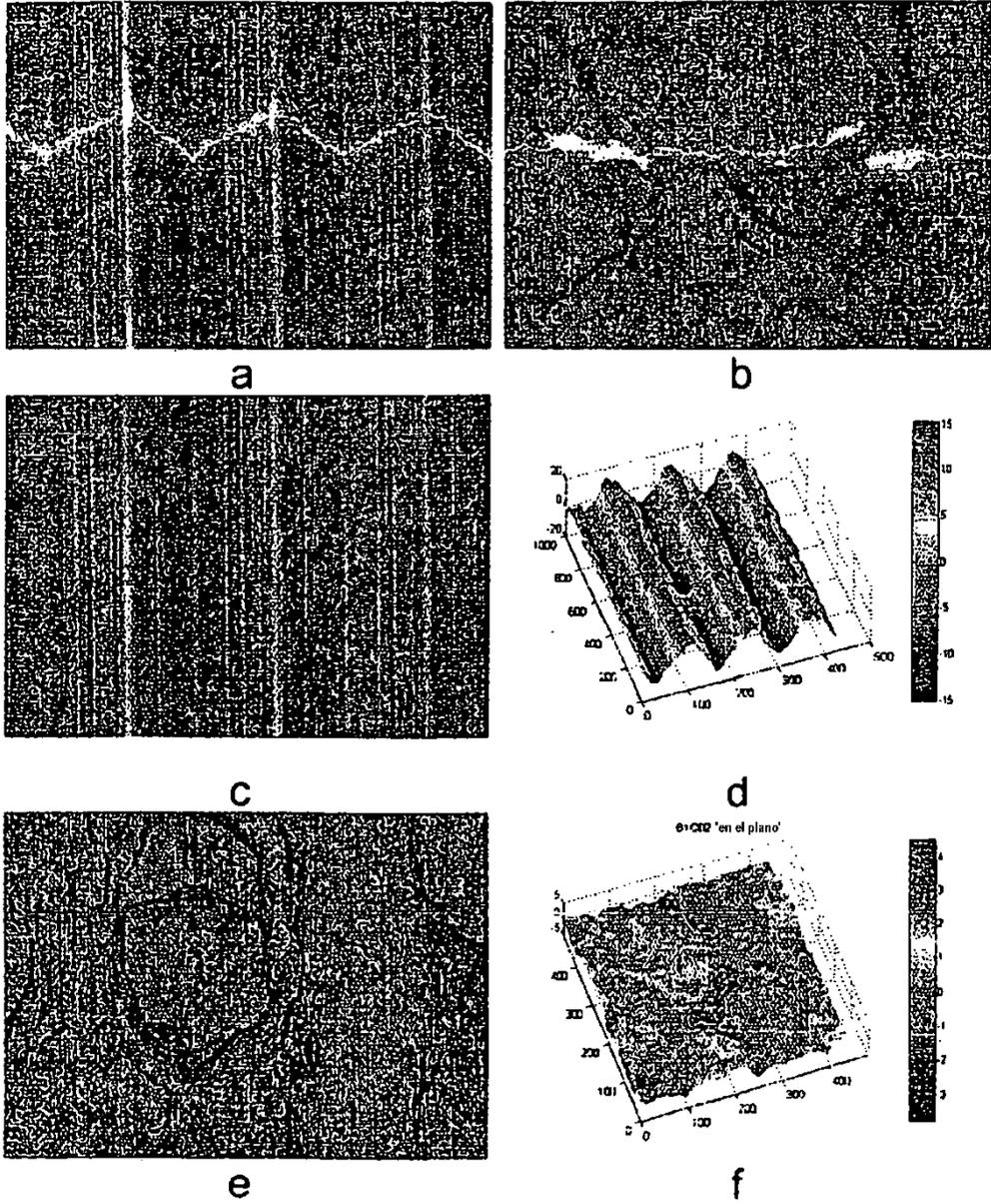


Fig. 3

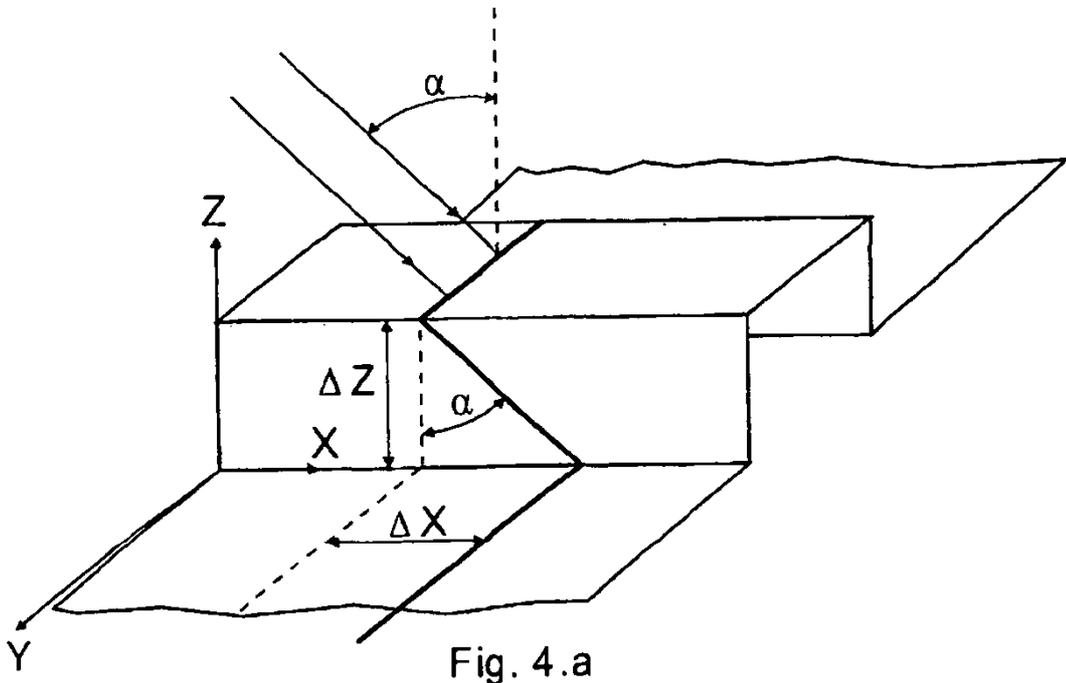


Fig. 4.a

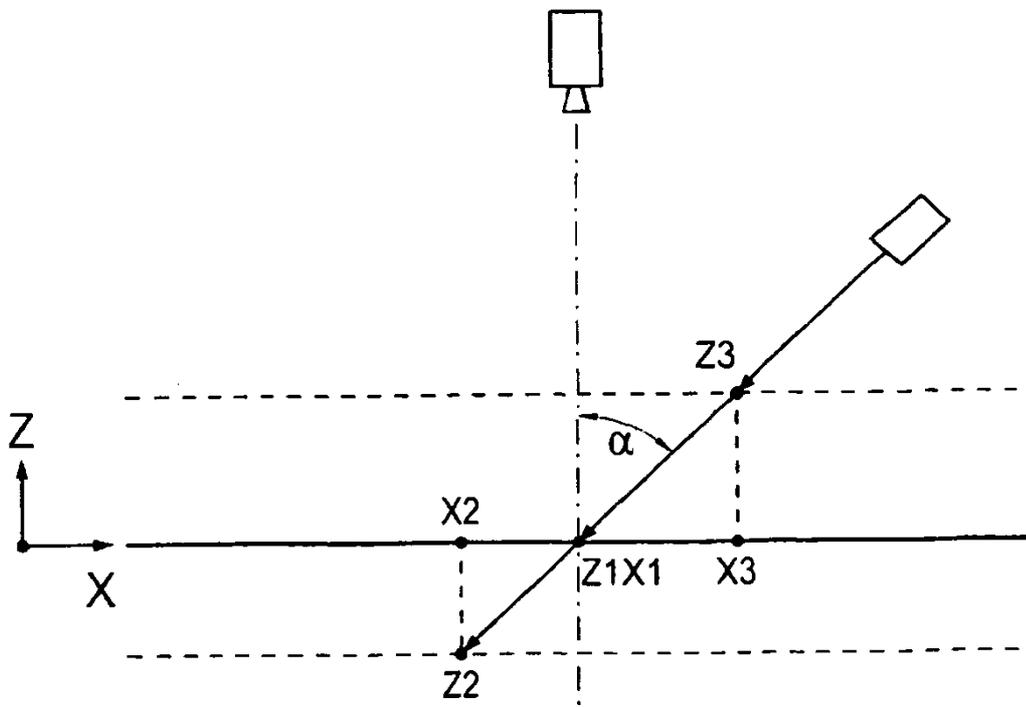


Fig. 4.b.

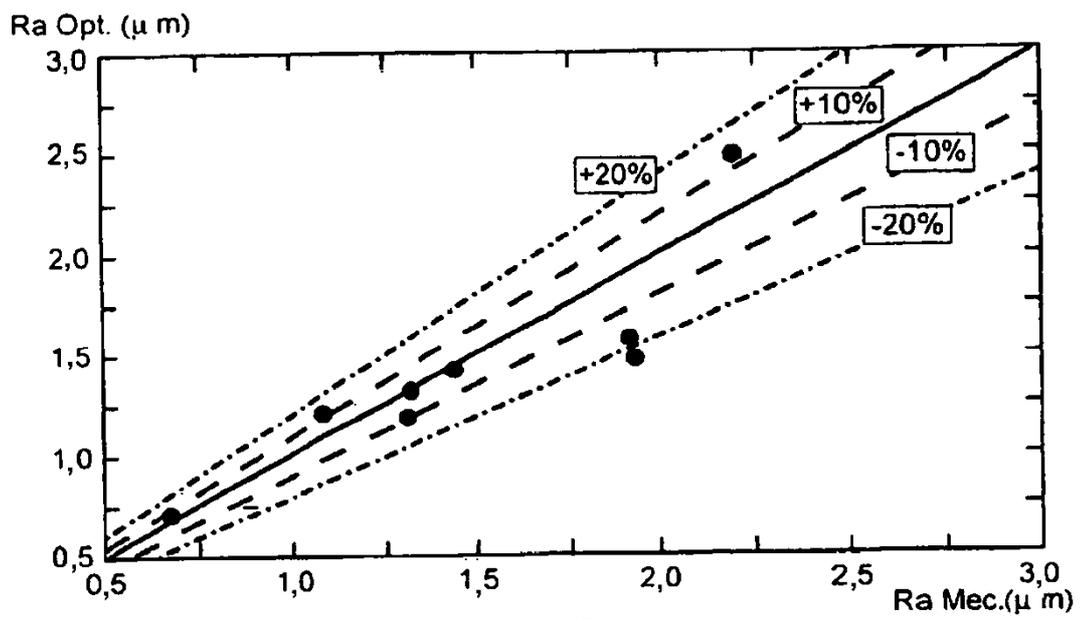


Fig.5