

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 705 076**

51 Int. Cl.:

**G01B 11/30** (2006.01)  
**B23Q 17/24** (2006.01)  
**B24B 33/02** (2006.01)  
**G01B 11/22** (2006.01)  
**G01N 21/88** (2006.01)  
**G06T 7/62** (2007.01)  
**G06T 7/00** (2007.01)  
**B05B 9/01** (2006.01)  
**B05B 13/06** (2006.01)  
**G01N 21/954** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.07.2014 PCT/JP2014/068193**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **14.01.2016 WO16006039**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.07.2014 E 14897276 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2018 EP 3168569**

54 Título: **Dispositivo de detección de defectos y sistema de producción**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**21.03.2019**

73 Titular/es:  
**NISSAN MOTOR CO., LTD (100.0%)**  
**2 Takara-cho Kanagawa-ku**  
**Yokohama-shi, Kanagawa 221-0023, JP**

72 Inventor/es:  
**SHIBAYAMA, HIROHISA;**  
**SHIOTANI, EIJI;**  
**SAKURAI, SATORU;**  
**SUGIYAMA, KIYOKAZU;**  
**SHIMIZU, AKIRA;**  
**TERADA, DAISUKE;**  
**NOSHI, YOSHITSUGU y**  
**UTSUMI, YOSHITO**

74 Agente/Representante:  
**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

ES 2 705 076 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**

Dispositivo de detección de defectos y sistema de producción

**5 Campo técnico**

La presente invención se refiere a un dispositivo de detección de defectos y un sistema de producción.

**10 Antecedentes de la invención**

Es conocida la tecnología de pulverización (pulverización de agujeros) que rocía metal o cerámica para depositar recubrimientos (recubrimientos pulverizados) sobre las superficies internas de los agujeros de cilindro de los bloques de cilindro instalados en vehículos, y posteriormente implementa un procesamiento de esmerilado para formar superficies lisas de deslizamiento.

15 Dado que un recubrimiento pulverizado se realiza de manera que se apliquen gotitas de líquido a una superficie en capas, el recubrimiento pulverizado crea típicamente una estructura porosa incluyendo una pluralidad de poros y defectos diminutos derivados de óxido de hierro, por ejemplo. La estructura porosa puede dar lugar a defectos superficiales diminutos porque parte de una capa superficial del recubrimiento pulverizado se quita cuando se realiza postratamiento, por ejemplo, esmerilado, después de la pulverización. Además, la presencia de cavidades de moldeado en la superficie interna del agujero de cilindro también da lugar a defectos superficiales porque no se aplica apropiadamente un recubrimiento pulverizado a la superficie. Aunque tales defectos superficiales sirvan como un colector de aceite y contribuyen a una mejora de la lubricación de una articulación de pistón, el consumo de aceite aumenta cuando el volumen de defectos es excesivamente grande. Por lo tanto, es preferible detectar los defectos superficiales en la superficie interna del agujero de cilindro y regular el límite superior del volumen de los defectos superficiales.

20 Un método típico de detectar defectos superficiales en una superficie interna de un agujero de cilindro es tomar una imagen de la superficie interna del agujero de cilindro, por ejemplo, con una cámara CCD para obtener una imagen bidimensional, y detectar el número y el tamaño de los defectos superficiales de la imagen bidimensional (por ejemplo, véase el Documento de Patente 1).

25 También el Documento de Patente 2 describe un método para la detección de una irregularidad en un objeto en base a una pluralidad de imágenes binarias obtenidas binarizando una imagen del objeto.

30 El Documento de Patente 3 también expone un método para la detección de defectos de una superficie maquinada de una pieza metálica fundida. El Documento de Patente 4 describe un método para inspeccionar el estado de llenado de una pluralidad de agujeros de paso llenos de rellenos.

**40 Lista de documentos citados****Documentos de patente**

45 Documento de Patente 1: Publicación de la Solicitud de Patente japonesa número H11-023477

Documento de Patente 2: US 7.903.864 B1

Documento de Patente 3: US 2007/0052795 A1

50 Documento de Patente 4: US 5.015.097 A

**Resumen de la invención**

55 El Documento de Patente 1 detecta el número y el tamaño de los defectos superficiales a partir de la imagen bidimensional, pero no se obtiene información acerca de la profundidad de los defectos. Así, la dificultad está en medir con gran exactitud el volumen de los defectos superficiales en la superficie interna del agujero de cilindro.

60 La presente invención se ha realizado en vista de los problemas convencionales antes descritos. Un objeto de la presente invención es proporcionar un dispositivo de detección de defectos y un sistema de producción capaces de medir el volumen de defectos superficiales con gran exactitud.

Un dispositivo de detección de defectos y un sistema de producción según un aspecto de la presente invención se exponen en las reivindicaciones 1 y 6.

**65 Breve descripción de los dibujos**

[Figura 1] La figura 1 es un diagrama de bloques que representa un ejemplo de una configuración de un sistema de producción según una realización de la presente invención.

5 [Figura 2] La figura 2 es una vista esquemática que representa un ejemplo de un bloque de cilindros según la realización de la presente invención.

[Figura 3] La figura 3 es una vista esquemática que representa un ejemplo de una configuración de un dispositivo de procesamiento según la realización de la presente invención.

10 [Figura 4] La figura 4 es una vista en sección que representa un ejemplo de un recubrimiento pulverizado incluyendo defectos superficiales en una superficie interna de un agujero de cilindro.

[Figura 5] La figura 5 es una vista esquemática que representa un ejemplo de una configuración de un dispositivo de formación de imagen según la realización de la presente invención.

15 [Figura 6] La figura 6 es un gráfico que representa un ejemplo de una relación entre una cantidad de luz de píxeles y una profundidad de defecto.

20 [Figura 7] La figura 7 es un gráfico que representa un ejemplo de una relación entre un umbral de binarización y una longitud de un defecto detectado.

[Figura 8] La figura 8 es un gráfico que representa un ejemplo de una relación entre un umbral de binarización y una longitud de defectos detectados que tienen diferentes profundidades.

25 [Figura 9] La figura 9 es un diagrama de flujo que representa un ejemplo de un método de detección de defectos superficiales según la realización de la presente invención.

30 [Figura 10] La figura 10(a) es un gráfico que representa una relación entre un umbral de binarización y un tamaño de defecto según un primer ejemplo modificado. La figura 10(b) es una tabla que muestra resultados de determinación de la profundidad de un defecto según el primer ejemplo modificado.

[Figura 11] La figura 11 es un diagrama de flujo que representa un ejemplo de un método de detección de defectos superficiales según el primer ejemplo modificado.

35 [Figura 12] La figura 12(a) es un gráfico que representa una relación entre un umbral de binarización y un tamaño de defecto según un segundo ejemplo modificado. La figura 12(b) es una tabla que representa resultados de determinación de la profundidad de un defecto según el segundo ejemplo modificado.

40 [Figura 13] La figura 13 es un diagrama de flujo que representa un ejemplo de un método de detección de defectos superficiales según el segundo ejemplo modificado.

### Descripción de realizaciones

45 Una realización se describirá a continuación con referencia a los dibujos. Los mismos elementos de las descripciones de los dibujos se indican con los mismos números de referencia, y sus explicaciones no se repiten más adelante.

[Sistema de producción y dispositivo de detección de defectos]

50 Un sistema de producción según una realización de la presente invención incluye un dispositivo de detección de defectos 1 y un dispositivo de procesamiento 4, como se representa en la figura 1. El dispositivo de detección de defectos 1 incluye un dispositivo de control 2 y un dispositivo de formación de imagen 3.

55 Un objeto de inspección por el dispositivo de detección de defectos 1 según la realización de la presente invención se ilustra en este documento mediante un bloque de cilindros de un motor de un vehículo. Como se representa en la figura 2, un bloque de cilindros 101 incluye una pluralidad de agujeros de cilindro 102 para alojar pistones.

60 El dispositivo de procesamiento 4 usado puede ser un dispositivo de pulverización por plasma. Como se representa en la figura 3, el dispositivo de procesamiento (dispositivo de pulverización por plasma) 4 incluye un cuerpo de pistola 41, y una pistola pulverizadora 42 que sobresale en la porción inferior del cuerpo de pistola 41. Se obtiene una pulverización de agujero de modo que el cuerpo de pistola 41 se mueve en la dirección de la flecha A entrando en un cilindro del agujero de cilindro 102 del bloque de cilindros 101, y gira en la dirección circunferencial B. Al mismo tiempo, la pistola pulverizadora 42 pulveriza un chorro de metal o cerámica desde su porción de punta sobre la superficie interna del agujero de cilindro 102 del bloque de cilindros 101 con el fin de formar un recubrimiento pulverizado. El dispositivo de procesamiento 4 puede ser un dispositivo, tal como un dispositivo de procesamiento de esmerilado, que puede influir en los defectos superficiales del recubrimiento pulverizado, o puede incluir varios tipos

65

de dispositivos de procesamiento. Cualquier dispositivo, como el dispositivo de procesamiento 4, que influya en defectos superficiales puede ser usado cuando sea apropiado dependiendo del objeto de inspección.

Dado que el recubrimiento pulverizado se realiza de modo que se aplican gotitas de líquido a una superficie en capas, el recubrimiento pulverizado crea típicamente una estructura porosa incluyendo una pluralidad de poros y defectos diminutos derivados de óxido de hierro, por ejemplo. La estructura porosa puede dar lugar a defectos superficiales diminutos (hoyuelos) 104 dispuestos en una superficie 103a porque parte de una capa superficial del recubrimiento pulverizado 103 se quita cuando se lleva a cabo postratamiento, por ejemplo, esmerilado, después de la pulverización, como se representa esquemáticamente en la figura 4. Además, la presencia de cavidades de moldeado en la superficie interna del agujero de cilindro 102 también da lugar a defectos superficiales (sopladuras) en la superficie 103a porque no se aplica apropiadamente un recubrimiento pulverizado a la superficie de las sopladuras. Aunque tales defectos superficiales sirven como un colector de aceite y contribuyen a una mejora de la lubricación de una articulación de pistón, el consumo de aceite aumenta cuando el volumen de defectos es excesivamente grande. Por lo tanto, es preferible detectar los defectos superficiales en la superficie interna del recubrimiento pulverizado y regular el límite superior de la suma de los volúmenes de los defectos superficiales.

Los ejemplos de defectos superficiales del recubrimiento pulverizado incluyen principalmente hoyuelos derivados del postratamiento, y sopladuras derivadas de las cavidades de moldeado, como se ha descrito anteriormente. El diámetro (longitud máxima) de las sopladuras es típicamente equivalente o superior al diámetro (longitud máxima) de los hoyuelos, y la profundidad de sopladuras es típicamente de cinco a diez veces mayor que la profundidad de los hoyuelos. Los defectos superficiales del recubrimiento pulverizado 103 no se limitan a hoyuelos y sopladuras, sino que incluyen porciones rebajadas en la superficie 103a.

El dispositivo de formación de imagen 3, representado en la figura 1, toma una imagen de una superficie del objeto de inspección para obtener una imagen bidimensional (una imagen sombreada). Como se representa en la figura 5, el dispositivo de formación de imagen 3 incluye una unidad de accionamiento 30, una fuente de luz 31 y un espejo 32 unido a la unidad de accionamiento 30, y una unidad de formación de imagen 33 fijada encima de la unidad de accionamiento 30. La unidad de accionamiento 30 entra en el cilindro del agujero de cilindro 102 como el objeto de inspección, y gira en la dirección circunferencial C. La fuente de luz 31 irradia la superficie interna del agujero de cilindro 102 con luz. El espejo 32 refleja la luz reflejada del objeto de inspección introduciendo la luz a la unidad de formación de imagen 33. La unidad de formación de imagen 33 es, por ejemplo, una cámara CCD, y toma una imagen de la superficie del objeto de inspección recibiendo la luz reflejada del espejo 32, con el fin de obtener una imagen bidimensional. Aunque la realización de la presente invención ejemplifica el dispositivo de formación de imagen 3 capaz de tomar una imagen de la superficie interna de un elemento cilíndrico, tal como el agujero de cilindro 102, la configuración del dispositivo de formación de imagen 3 puede cambiar dependiendo del objeto de inspección.

La imagen bidimensional obtenida por el dispositivo de formación de imagen 3 es una imagen en escala de grises con ocho bits, por ejemplo, definida por la cantidad de luz de negro (0) a blanco (255) para cada píxel. La figura 6 representa un ejemplo de una relación entre la profundidad de los defectos superficiales del recubrimiento pulverizado y la cantidad de luz de los píxeles. Como se representa en la figura 6, la luz reflejada del objeto de inspección es relativamente brillante en una posición normal donde no hay defecto superficial en el objeto de inspección, y la cantidad de luz de píxeles en la imagen aumenta. La luz reflejada del objeto de inspección es relativamente oscura en una posición donde hay defectos superficiales en el objeto de inspección, y la cantidad de luz de los píxeles en la imagen disminuye. Además, cuando los defectos superficiales son más profundos, la cantidad de luz de los píxeles de la imagen disminuye.

El dispositivo de control 2 representado en la figura 1 incluye una unidad central de procesamiento (CPU), una RAM, una ROM, y un disco duro, por ejemplo. El dispositivo de control 2 incluye funcionalmente una unidad de procesamiento de binarización 11, una unidad de cálculo de relación 12, una unidad de determinación de profundidad 13, una unidad de cálculo de volumen 14 y una unidad de determinación de calidad 15.

La unidad de procesamiento de binarización 11 implementa procesamiento de binarización en la imagen bidimensional obtenida por la unidad de formación de imagen 33. En el sentido en que se usa aquí, el término "procesamiento de binarización" representa el procesamiento de convertir cada píxel que tiene la cantidad de luz de una imagen bidimensional en escala de grises a blanco o negro utilizando un umbral de binarización. Como se representa en la figura 6, cuando la cantidad de luz de los píxeles es un umbral de binarización predeterminado  $T_h$  o mayor, los píxeles son convertidos a blanco. Cuando la cantidad de luz de los píxeles es menor que el umbral de binarización predeterminado  $T_h$ , los píxeles son convertidos a negro. Cuando el umbral de binarización  $T_h$  aumenta, las regiones en negro aumentan.

La figura 7 representa un ejemplo de variación de tamaño (longitud) de un defecto superficial del recubrimiento pulverizado detectado mientras cambia un umbral de binarización. Como se representa en la figura 7, cuando el umbral de binarización es mayor, el tamaño de un defecto detectado correspondiente a una agregación de regiones negras en la imagen es mayor. La figura 7 también representa esquemáticamente imágenes 11 a 13 después de someterse al procesamiento de binarización utilizando diferentes umbrales de binarización. Como se representa en

la figura 7, el tamaño del defecto disminuye en el orden de la imagen 11, la imagen 12 y la imagen 13. En el ejemplo representado en la figura 7, la relación entre el umbral de binarización y el tamaño del defecto superficial varía de forma no lineal, donde el tamaño del defecto superficial disminuye suavemente sustancialmente en proporción a la disminución del umbral de binarización por el punto de inflexión P, mientras que el tamaño del defecto superficial empieza a disminuir nítidamente a partir del punto de inflexión P.

La unidad de procesamiento de binarización 11 somete la imagen bidimensional obtenida por la unidad de formación de imagen 33 a un (primer y segundo) procesamiento de binarización dos veces utilizando diferentes umbrales de binarización primero y segundo Th1 y Th2. Los umbrales de binarización primero y segundo Th1 y Th2 pueden determinarse como apropiados dependiendo del producto o el tipo de defectos. El primer umbral de binarización Th se pone a 100, por ejemplo. El segundo umbral de binarización T2 se pone a un valor más pequeño que el primer umbral de binarización Th1, tal como 50. Los umbrales de binarización primero y segundo Th1 y Th2 son almacenados preliminarmente en la memoria del dispositivo de control 2, por ejemplo, y son leídos cuando es necesario.

La unidad de procesamiento de binarización 11 detecta defectos correspondientes a una agregación de regiones negras de cada una de la imagen después de someterse al primer procesamiento de binarización y la imagen después de someterse al segundo procesamiento de binarización, y calcula los tamaños respectivos para el mismo defecto. El tamaño del defecto incluye al menos una del área del defecto o la longitud del defecto. La longitud calculada del defecto es una longitud máxima (diámetro mayor), por ejemplo. El área calculada del defecto es un área de un circuncírculo que tiene la longitud máxima (diámetro mayor), por ejemplo. El defecto en la imagen sometida al primer procesamiento de binarización y el defecto en la imagen sometida al segundo procesamiento de binarización pueden compararse uno con otro utilizando una coordenada posicional. Dado que el primer umbral de binarización Th1 es mayor que el segundo umbral de binarización Th2, el tamaño del defecto obtenido por el primer procesamiento de binarización utilizando el primer umbral de binarización Th1 es mayor que el tamaño del defecto obtenido por el segundo procesamiento de binarización utilizando el segundo umbral de binarización Th2.

La figura 8 ejemplifica un caso en el que hay un defecto relativamente profundo A (tal como una sopladura) y un defecto relativamente poco profundo B (tal como un hoyuelo). Como se representa en la figura 8, las longitudes de los defectos detectados A y B disminuyen cuando los respectivos umbrales de binarización disminuyen, donde un grado de variación de las longitudes aumenta nítidamente desde los respectivos puntos de inflexión particulares P1 y P2. La unidad de procesamiento de binarización 11 somete el defecto A al procesamiento de binarización utilizando el primer umbral de binarización Th1 para detectar una longitud XA1 del defecto A. La unidad de procesamiento de binarización 11 somete entonces el defecto A al procesamiento de binarización utilizando el segundo umbral de binarización Th2 para detectar una longitud XA2 del defecto A. La unidad de procesamiento de binarización 11 también somete el defecto B al procesamiento de binarización utilizando el primer umbral de binarización Th1 para detectar una longitud XB1 del defecto B. La unidad de procesamiento de binarización 11 somete entonces el defecto B al procesamiento de binarización utilizando el segundo umbral de binarización Th2 para detectar una longitud XB2 del defecto B.

Por ejemplo, con respecto al defecto A, la unidad de cálculo de relación 12 calcula una relación Y del tamaño XA2 obtenido por el segundo procesamiento de binarización al tamaño XA1 obtenido por el primer procesamiento de binarización ( $Y=XA2/XA1$ ). Cuando el defecto detectado por el primer procesamiento de binarización no es detectado por el segundo procesamiento de binarización, el tamaño XA2 es 0, y la relación Y calculada da lugar a 0. Dado que el tamaño XA1 obtenido por el primer procesamiento de binarización es más grande que el tamaño XA2 obtenido por el segundo procesamiento de binarización, la relación Y es del rango de 0 o mayor y 1 o menor.

La unidad de determinación de profundidad 13 determina (discrimina) la profundidad relativa (profundo o poco profundo) del defecto superficial dependiendo de la relación Y. La unidad de determinación de profundidad 13 determina que el defecto superficial es poco profundo cuando la relación Y es un umbral N o menor, y determina que el defecto superficial es profundo cuando la relación Y es mayor que el umbral N. El umbral N puede determinarse cuando sea apropiado en el rango de mayor que 0 y menor que 1, dependiendo del producto o el tipo de defectos, y se pone a 0,5, por ejemplo. El umbral N se almacena preliminarmente en la memoria del dispositivo de control 2, por ejemplo, y se lee cuando es necesario. Por ejemplo, la unidad de determinación de profundidad 13 determina que el defecto A es profundo cuando la relación Y del defecto A es 0,8, que es mayor que el umbral N puesto a 0,5. La unidad de determinación de profundidad 13 determina que el defecto B es poco profundo cuando la relación Y del defecto B es 0,4, que es menor que el umbral N puesto a 0,5.

La unidad de cálculo de volumen 14 pone la profundidad del defecto dependiendo de la profundidad determinada por la unidad de determinación de profundidad 13. Por ejemplo, cuando la unidad de determinación de profundidad 13 determina que el defecto es profundo, la unidad de cálculo de volumen 14 pone la profundidad del defecto a 100  $\mu\text{m}$ . Cuando la unidad de determinación de profundidad 13 determina que el defecto es poco profundo, la unidad de cálculo de volumen 14 pone la profundidad del defecto a 10  $\mu\text{m}$ . Los valores de las profundidades de los defectos establecidos dependiendo de los resultados de determinación de profundidad obtenidos por la unidad de determinación de profundidad 13 pueden determinarse como apropiados dependiendo del producto o el tipo de

defectos. Los valores establecidos para las profundidades de los defectos se almacenan preliminarmente en la memoria del dispositivo de control 2, por ejemplo, y se leen cuando es necesario.

La unidad de cálculo de volumen 14 calcula entonces el volumen del defecto en base a la profundidad establecida y el tamaño del defecto. El tamaño del defecto usado puede ser el tamaño del defecto obtenido por el primer procesamiento de binarización, el tamaño del defecto obtenido por el segundo procesamiento de binarización, o la media de los dos tamaños. Por ejemplo, cuando el tamaño (área) del defecto es  $20 \text{ mm}^2$ , y la profundidad del defecto es  $100 \text{ }\mu\text{m}$ , el resultado del volumen calculado es  $2 \text{ mm}^3$ . La unidad de cálculo de volumen 14 también calcula las profundidades y los volúmenes de todos los defectos incluidos en la imagen. La unidad de cálculo de volumen 14 también suma los volúmenes de todos los defectos para calcular la suma de los volúmenes de los defectos.

La unidad de determinación de calidad 15 determina si la suma de los volúmenes de los defectos calculados por la unidad de cálculo de volumen 14 es un valor permisible (umbral) o menor. La unidad de determinación de calidad 15 determina que el objeto de inspección es aceptable cuando la suma de los volúmenes de los defectos es el valor permisible o menor, y determina que el objeto de inspección es de baja calidad cuando la suma de los volúmenes de los defectos es mayor que el valor permisible. El valor permisible puede determinarse según sea apropiado dependiendo de un valor permisible de consumo de aceite, por ejemplo. El valor permisible se almacena preliminarmente en la memoria del dispositivo de control 2, por ejemplo, y se lee cuando es necesario.

La suma de los volúmenes de los defectos calculados por la unidad de cálculo de volumen 14 y el resultado de la determinación de calidad determinado por la unidad de determinación de calidad 15 son realimentados al dispositivo de procesamiento 4. El dispositivo de procesamiento 4 establece condiciones de procesamiento de modo que la suma de los volúmenes de los defectos sea el valor permisible o menor, en base a la suma de los volúmenes de los defectos calculados por la unidad de cálculo de volumen 14 y su valor permisible. En lugar del establecimiento de las condiciones de procesamiento efectuado por el dispositivo de procesamiento 4, o además del establecimiento de las condiciones de procesamiento por el dispositivo de procesamiento 4, también se pueden establecer las condiciones de procesamiento para el proceso de procesamiento, por ejemplo, el esmerilado después de recubrimiento de pulverización por plasma realizado por el dispositivo de procesamiento 4.

[Método de detección de defectos]

Un ejemplo de un método de detección de defectos superficiales según la realización de la presente invención se describe a continuación con referencia al diagrama de flujo representado en la figura 9.

En el paso S101, el dispositivo de formación de imagen 3 toma una imagen de una superficie del objeto de inspección para obtener una imagen bidimensional. En el paso S102, la unidad de procesamiento de binarización 11 somete la imagen bidimensional obtenida por el dispositivo de formación de imagen 3 al primer procesamiento de binarización utilizando el primer umbral de binarización Th1. La unidad de procesamiento de binarización 11 extrae entonces defectos de la imagen sometida al primer procesamiento de binarización, con el fin de calcular el tamaño X1 de los defectos.

En el paso S103, la unidad de determinación de calidad 15 determina si el tamaño X1 de cada defecto después de someterse al primer procesamiento de binarización es un valor permisible (umbral) o menor. El valor permisible puede determinarse según sea apropiado dependiendo del producto o el tipo de defectos, y se pone a  $1,5 \text{ mm}$ , por ejemplo. Cuando se incluyen defectos más grandes que el valor permisible, el proceso pasa al paso S112 dando lugar a rechazo. Cuando se determina que el tamaño X1 de todos los defectos es el valor permisible o menor en el paso S103, el proceso pasa al paso S104.

En el paso S104, la unidad de procesamiento de binarización 11 somete la imagen bidimensional obtenida por el dispositivo de formación de imagen 3 al segundo procesamiento de binarización utilizando el segundo umbral de binarización Th2. La unidad de procesamiento de binarización 11 extrae entonces defectos de la imagen sometida al segundo procesamiento de binarización, con el fin de calcular el tamaño X2 de los defectos.

En el paso S105, la unidad de cálculo de relación 12 calcula, con respecto al mismo defecto, la relación Y del tamaño X2 del defecto obtenido por el segundo procesamiento de binarización al tamaño X1 del defecto obtenido por el primer procesamiento de binarización ( $Y=X2/X1$ ).

En el paso S106, la unidad de determinación de profundidad 13 determina si la relación Y calculada por la unidad de cálculo de relación 12 es el umbral N o menor, con el fin de determinar la profundidad relativa del defecto. Cuando la relación Y es el umbral N o menor, la unidad de determinación de profundidad 13 determina que el defecto es poco profundo (como un hoyuelo, por ejemplo), y el proceso pasa al paso S107. En el paso S107, la unidad de cálculo de volumen 14 establece la profundidad D1 del defecto poco profundo. La unidad de cálculo de volumen 14 también calcula el volumen del defecto en base a la profundidad D1 del defecto poco profundo y el tamaño X1 del defecto.

La unidad de determinación de profundidad 13 determina que el defecto es profundo (como una sopladura, por ejemplo) en el paso S106 cuando la relación Y es mayor que el umbral N, y el proceso pasa al paso S108. En el paso S108, la unidad de cálculo de volumen 14 establece la profundidad D2 del defecto que se ha determinado que es profundo a un valor mayor que la profundidad D1. La unidad de cálculo de volumen 14 también calcula el volumen del defecto en base a la profundidad D2 del defecto y el tamaño X1 del defecto.

En el paso S109, la unidad de cálculo de volumen 14 suma los volúmenes de todos los defectos calculados en el paso S107 y el paso S108 para calcular la suma de los volúmenes de los defectos. En el paso S110, la unidad de determinación de calidad 15 determina si la suma de los volúmenes de los defectos calculados por la unidad de cálculo de volumen 14 es el valor permisible o menor. El proceso pasa al paso S111 cuando la suma de los volúmenes de los defectos es el valor permisible o menor, y la unidad de determinación de calidad 15 determina que el objeto de inspección es aceptable y puede ser comercializado. Cuando la suma de los volúmenes de los defectos calculados por la unidad de cálculo de volumen 14 es mayor que el valor permisible en el paso S110, el proceso pasa al paso S112, y la unidad de determinación de calidad 15 determina que el objeto de inspección es de baja calidad.

Según la realización de la presente invención, el procesamiento de binarización se implementa dos veces con respecto a la imagen bidimensional utilizando diferentes umbrales de binarización, con el fin de detectar dos tamaños X1 y X2 de cada defecto, calcular la relación Y de los dos tamaños X1 y X2 ( $Y=X2/X1$ ), y determinar la profundidad de cada defecto dependiendo de la relación Y. En comparación con el caso convencional de evaluar defectos solamente en base a su tamaño, o de establecer la profundidad de defectos uniformemente a un valor máximo estimado, la realización de la presente invención puede determinar la profundidad de cada defecto con gran exactitud y calcular el volumen de cada defecto con gran exactitud.

Además, dado que los volúmenes de todos los defectos se suman según los resultados de determinación de las profundidades de los defectos para determinar si la suma de los volúmenes de los defectos es el valor permisible o menor, la calidad del producto puede determinarse con gran exactitud.

Además, dado que el bloque de cilindros 101 del motor se usa como el objeto de inspección, las sopladuras relativamente profundas y los hoyuelos relativamente poco profundos, que son los principales defectos superficiales del bloque de cilindros 101 del motor, pueden distinguirse con gran exactitud.

Además, dado que la suma de los volúmenes de los defectos calculados por la unidad de cálculo de volumen 14 es realimentada al procesamiento, por ejemplo, pulverización o postratamiento, y las condiciones de procesamiento se cambian sucesivamente de tal manera que la suma de los volúmenes de los defectos sea constante o sea el valor permisible o menor, la aparición de defectos puede evitarse con antelación.

**(Primer ejemplo modificado)**

Aunque la realización de la presente invención se ha ilustrado con los dos conjuntos de procesamiento de binarización, un primer ejemplo modificado ejemplifica un caso en el que el procesamiento de binarización se implementa tres veces, y la profundidad relativa de cada defecto es evaluada en tres etapas.

La unidad de procesamiento de binarización 11 implementa procesamiento de binarización (primero a tercero) tres veces utilizando diferentes umbrales de binarización primero a tercero, con el fin de calcular tamaños primero a tercero con respecto al mismo defecto. La figura 10(a) ejemplifica un caso en el que hay defectos A, B, y C. Como se representa en la figura 10(a), la longitud de los respectivos defectos A a C disminuye linealmente a medida que el umbral de binarización disminuye, y un grado de variación de la longitud aumenta nítidamente en los respectivos puntos de inflexión PA, PB y PC.

La unidad de procesamiento de binarización 11 somete los respectivos defectos A, B y C al procesamiento de binarización tres veces utilizando los umbrales de binarización primero a tercero Th1 a Th3, con el fin de calcular los tamaños XA1, XA2, y XA3 del defecto A, los tamaños XB1, XB2, y XB3 del defecto B, y los tamaños XC1 y XC2 del defecto C. El defecto C no es detectado en el tercer procesamiento de binarización, y el tamaño del defecto C calculado da lugar a 0.

Por ejemplo, con respecto al defecto A, la unidad de cálculo de relación 12 calcula una primera relación Y1 del segundo tamaño XA2 al primer tamaño XA1 ( $Y1=XA2/XA1$ ). La unidad de cálculo de relación 12 también calcula una segunda relación Y2 del tercer tamaño XA3 al primer tamaño XA1 ( $Y2=XA3/XA1$ ). La unidad de cálculo de relación 12 repite los mismos cálculos para los defectos B y C para obtener las respectivas relaciones primera y segunda, como en el caso del defecto A.

La unidad de determinación de profundidad 13 evalúa la profundidad relativa del defecto superficial en base a las relaciones primera y segunda Y1 y Y2 en tres etapas. En particular, la unidad de determinación de profundidad 13 compara las relaciones primera y segunda Y1 y Y2 cada una con el umbral N, con el fin de determinar la profundidad del defecto dos veces. Los umbrales N usados en los dos pasos de determinación pueden ser los mismos o

diferentes uno de otro. La unidad de determinación de profundidad 13 determina globalmente la profundidad del defecto en base a los dos resultados de determinación.

Con respecto a los respectivos defectos A, B, y C, la unidad de determinación de profundidad 13 determina si la primera relación Y1 es el umbral N o menor en la primera determinación, y determina si la segunda relación Y2 es el umbral N o menor en la segunda determinación. Como se representa en la figura 10(b), dado que los dos resultados de determinación de profundidad para el defecto A son "profundo", se determina globalmente que el defecto A es el más profundo. Dado que uno de los dos resultados de determinación de profundidad para el defecto B es "profundo" y el otro es "poco profundo", se determina globalmente que el defecto B tiene una profundidad intermedia. Dado que los dos resultados de determinación de profundidad para el defecto C son "poco profundo", se determina globalmente que el defecto C es el menos profundo.

La unidad de cálculo de volumen 14 establece la profundidad de cada defecto en las tres etapas según los resultados de determinación obtenidos por la unidad de determinación de profundidad 13. Por ejemplo, la unidad de cálculo de volumen 14 pone la profundidad D1 del defecto A determinado el más profundo a 100  $\mu\text{m}$ , pone la profundidad D2 del defecto B determinado como el que tiene una profundidad intermedia a 50  $\mu\text{m}$ , y pone la profundidad D3 del defecto C determinado como el menos profundo a 10  $\mu\text{m}$ .

Las otras configuraciones son sustancialmente idénticas a las de la realización de la presente invención, y a continuación no se repiten las explicaciones que se solapan.

Un ejemplo de un método de detección de defectos superficiales según el primer ejemplo modificado se describe a continuación con referencia al diagrama de flujo representado en la figura 11.

El proceso desde el paso S201 al paso S205 es el mismo que el proceso desde el paso S101 al paso S105 representado en la figura 9, y a continuación no se repiten las explicaciones que se solapan. En el paso S206, la unidad de determinación de profundidad 13 determina si la primera relación Y1 es el umbral N o menor. Cuando la primera relación Y1 es el umbral N o menor, se determina que la profundidad del defecto es la menos profunda de las tres etapas, y el proceso pasa al paso S207, al mismo tiempo que salta el tercer procesamiento de binarización. En el paso S207, la unidad de cálculo de volumen 14 establece la profundidad D1 del defecto determinado como el menos profundo, y calcula el volumen del defecto utilizando la profundidad D1.

Cuando se determina que la primera relación Y1 es mayor que el umbral N en el paso S206, el proceso pasa al paso S208. En el paso S208, la unidad de procesamiento de binarización 11 implementa el tercer procesamiento de binarización utilizando el tercer umbral de binarización Th3, y calcula el tamaño X3 del defecto. En el paso S209, la unidad de cálculo de relación 12 calcula la segunda relación Y2 del tamaño X3 obtenido por el tercer procesamiento de binarización al tamaño X1 obtenido por el primer procesamiento de binarización ( $Y2=X3/X1$ ).

En el paso S210, se determina si la segunda relación Y2 es el umbral N o menor. Cuando la segunda relación Y2 es el umbral N o menor, se determina que la profundidad del defecto es un nivel intermedio, y el proceso pasa entonces al paso S211. En el paso S211, la unidad de cálculo de volumen 14 establece la profundidad D2 ( $>D1$ ) del defecto determinado como un nivel intermedio, y calcula el volumen del defecto utilizando la profundidad D2. Cuando la segunda relación Y2 es mayor que el umbral N en el paso S210, se determina que la profundidad del defecto es la más profunda, y el proceso pasa entonces al paso S212. En el paso S212, la unidad de cálculo de volumen 14 pone la profundidad D3 ( $>D2$ ) del defecto determinado como el más profundo, y calcula el volumen del defecto utilizando la profundidad D3.

En el paso S213, se calcula la suma de los volúmenes de todos los defectos obtenidos en el paso S207, el paso S211 y el paso S212. El proceso desde el paso S214 al paso 216 es el mismo que el proceso desde el paso S110 al paso S112 representado en la figura 9, y a continuación no se repiten las explicaciones que se solapan.

Según el primer ejemplo modificado, el procesamiento de binarización se implementa tres veces utilizando los tres umbrales de binarización diferentes para evaluar la profundidad de cada defecto en tres etapas, con el fin de calcular el volumen de cada defecto con mayor exactitud. Aunque el primer ejemplo modificado se ha ilustrado con los tres conjuntos del procesamiento de binarización, el primer ejemplo modificado puede implementar el procesamiento de binarización cuatro veces o más utilizando cuatro umbrales de binarización diferentes o más, con el fin de evaluar la profundidad de cada defecto en cuatro etapas o más.

**(Segundo ejemplo modificado)**

Un segundo ejemplo modificado ejemplifica un caso en el que la profundidad de cada defecto se determina en varias etapas, mientras que el procesamiento de binarización es implementado dos veces.

Como se representa en la figura 12(a), los defectos A, B y C son sometidos al procesamiento de binarización dos veces utilizando los dos umbrales de binarización Th1 y Th2, con el fin de calcular los tamaños XA1 y XA2 del defecto A, los tamaños XB1 y XB2 del defecto B, y los tamaños XC1 y XC2 del defecto C. Con respecto al defecto A,

la unidad de cálculo de relación 12 calcula la relación Y del segundo tamaño XA2 al primer tamaño XA1 ( $Y=XA2/XA1$ ). La unidad de cálculo de relación 12 repite el mismo cálculo con respecto a los defectos B y C para obtener las relaciones respectivas, como en el caso del defecto A.

5 La unidad de determinación de profundidad 13 compara la relación Y calculada por la unidad de cálculo de relación 12 con cada uno de múltiples (dos) umbrales diferentes N1 y N2, con el fin de determinar la profundidad de cada defecto varias veces (dos veces). Los umbrales N1 y N2 pueden determinarse según sea apropiado dependiendo del producto o el tipo de defectos. El umbral N1 se pone a 0,5, por ejemplo. El umbral N2 se pone a 0,7, por ejemplo, que es mayor que el umbral N1.

10 Con respecto a los respectivos defectos A, B y C, la unidad de determinación de profundidad 13 determina si la relación Y es el umbral N1 o menor en la primera determinación, y determina si la relación Y es el umbral N2 o menor en la segunda determinación. La unidad de determinación de profundidad 13 determina globalmente la profundidad de cada defecto según los dos resultados de determinación.

15 Como se representa en la figura 12(b), con respecto al defecto A, dado que la relación Y es el umbral N1 en la primera determinación, y la relación Y es el umbral N2 o menor en la segunda determinación, se determina globalmente que el defecto B tiene una profundidad intermedia. Con respecto al defecto C, dado que la relación Y es mayor que el umbral N1 en la primera determinación, y la relación Y es mayor que el umbral N2 también en la  
20 segunda determinación, se determina globalmente que el defecto C es el menos profundo.

La unidad de cálculo de volumen 14 establece la profundidad de cada defecto en las tres etapas según los resultados de determinación obtenidos por la unidad de determinación de profundidad 13. Por ejemplo, la unidad de  
25 cálculo de volumen 14 establece la profundidad D1 del defecto A determinado como el más profundo a 100  $\mu\text{m}$ , pone la profundidad D2 del defecto B determinado como el que tiene una profundidad intermedia a 50  $\mu\text{m}$ , y pone la profundidad D3 del defecto C determinado como el menos profundo a 10  $\mu\text{m}$ .

Las otras configuraciones son sustancialmente idénticas a las de la realización de la presente invención, y a  
30 continuación no se repiten las explicaciones que se solapan.

Un ejemplo de un método de detección de defectos superficiales según el segundo ejemplo modificado se describe a continuación con referencia al diagrama de flujo representado en la figura 13.

35 El proceso desde el paso S301 al paso S305 es el mismo que el proceso desde el paso S101 al paso S105 representado en la figura 9, y a continuación no se repiten las explicaciones que se solapan. En el paso S306, la unidad de determinación de profundidad 13 determina si la relación Y es el umbral N1 o menor. Cuando la relación Y es el umbral N1 o menor, se determina que la profundidad del defecto es la menos profunda, y el proceso pasa entonces al paso S307. En el paso S307, la unidad de cálculo de volumen 14 pone la profundidad D1 del defecto determinado como el menos profundo, y calcula el volumen del defecto utilizando la profundidad D1.

40 Cuando se determina que la relación Y es mayor que el umbral N1 en el paso S306, el proceso pasa al paso S308. En el paso S308, la unidad de determinación de profundidad 13 determina si la relación Y es el umbral N2 o menor, que es mayor que el umbral N1. Cuando la relación Y es el umbral N2 o menor, se determina que la profundidad del defecto es un nivel intermedio, y el proceso pasa entonces al paso S309. En el paso S309, la unidad de cálculo de  
45 volumen 14 pone la profundidad D2 ( $>D1$ ) del defecto determinado como un nivel intermedio, y calcula el volumen del defecto utilizando la profundidad D2.

50 Cuando la relación Y es mayor que el umbral N2 en el paso S308, se determina que la profundidad del defecto es la más profunda, y el proceso pasa entonces al paso S310. En el paso S310, la unidad de cálculo de volumen 14 pone la profundidad D3 ( $>D2$ ) del defecto determinado como el más profundo, y calcula el volumen del defecto utilizando la profundidad D3.

55 En el paso S311, se calcula la suma de los volúmenes de todos los defectos obtenida en el paso S307, el paso S309 y el paso S310. El proceso desde el paso S312 al paso 314 es el mismo que el proceso desde el paso S110 al paso S112 representado en la figura 9, y a continuación no se repiten las explicaciones que se solapan.

60 Según el segundo ejemplo modificado, cada defecto se somete a la determinación de profundidad dos veces utilizando los umbrales diferentes N1 y N2 para evaluar la profundidad del defecto en tres etapas, con el fin de obtener la profundidad y el volumen del defecto con mayor exactitud. Aunque el segundo ejemplo modificado se ha ilustrado con el caso en el que cada defecto se somete a la determinación de profundidad dos veces utilizando los dos umbrales N1 y N2 para evaluar globalmente la profundidad del defecto en tres etapas, el segundo ejemplo modificado no se limita a ello. Alternativamente, la unidad de determinación de profundidad 13 puede someter el defecto a la determinación de profundidad tres veces o más en dos etapas utilizando tres umbrales de binarización diferentes o más, con el fin de evaluar globalmente la profundidad de cada uno en cuatro etapas o más.

65 **(Otras realizaciones)**

5 Aunque la realización de la presente invención se ha descrito anteriormente, se deberá entender que no se ha previsto limitar la presente invención a las descripciones y los dibujos que forman parte de esta descripción. Varias realizaciones alternativas, ejemplos y aplicaciones técnicas serán evidentes a los expertos en la técnica según esta descripción.

10 Por ejemplo, la realización de la presente invención ha ejemplificado la superficie interna del agujero de cilindro 102 del bloque de cilindros 101 del motor, como un ejemplo del objeto de inspección por el dispositivo de detección de defectos 1, pero no se limita a ello. El dispositivo de detección de defectos 1 es aplicable a varios tipos de productos que pueden tener defectos superficiales. Los defectos no se limitan a ningún tipo concreto, y el tamaño de los defectos detectados utilizando umbrales de binarización puede variar linealmente.

**Lista de signos de referencia**

- 15 1: dispositivo de detección de defectos
- 2: dispositivo de control
- 3: dispositivo de formación de imagen
- 20 4: dispositivo de procesamiento
- 11: unidad de procesamiento de binarización
- 25 12: unidad de cálculo de relación
- 13: unidad de determinación de profundidad
- 14: unidad de cálculo de volumen
- 30 15: unidad de determinación de calidad
- 30: unidad de accionamiento
- 35 31: fuente de luz
- 32: espejo
- 33: unidad de formación de imagen
- 40 41: cuerpo de pistola
- 42: pistola pulverizadora
- 45 101: bloque de cilindros
- 102: agujero de cilindro

**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo de detección de defectos (1) incluyendo:

5 un dispositivo de formación de imagen (3) configurado para tomar una imagen de la superficie de un objeto de inspección;

10 una unidad de procesamiento de binarización (11) configurada para someter una imagen bidimensional obtenida por el dispositivo de formación de imagen (3) a procesamiento de binarización primero y segundo utilizando diferentes umbrales de binarización primero y segundo, con el fin de calcular tamaños primero y segundo para un defecto idéntico en la imagen;

15 una unidad de cálculo de relación (12) configurada para calcular una primera relación del segundo tamaño con el primer tamaño; y

una unidad de determinación de profundidad (13) configurada para determinar una profundidad relativa del defecto comparando la primera relación con un valor umbral.

20 2. El dispositivo de detección de defectos (1) según la reivindicación 1, incluyendo además:

una unidad de cálculo de volumen (14) configurada para establecer la profundidad del defecto dependiendo de la profundidad relativa, y para calcular un volumen del defecto dependiendo de la profundidad establecida y el tamaño del defecto, y calcular una suma de volúmenes de todos los defectos de la imagen; y

25 una unidad de determinación de calidad (15) configurada para determinar si el objeto de inspección es aceptable o de baja calidad según la suma de los volúmenes de todos los defectos.

3. El dispositivo de detección de defectos (1) según la reivindicación 1 o 2, donde:

30 la unidad de procesamiento de binarización (11) somete la imagen a un tercer procesamiento de binarización utilizando un tercer umbral de binarización diferente de los umbrales de binarización primero y segundo, con el fin de calcular un tercer tamaño para el defecto idéntico en la imagen;

35 la unidad de cálculo de relación (12) calcula una segunda relación del tercer tamaño al primer tamaño; y

la unidad de determinación de profundidad (13) determina una profundidad relativa del defecto dependiendo de las relaciones primera y segunda.

40 4. El dispositivo de detección de defectos (1) según la reivindicación 1 o 2, donde la unidad de determinación de profundidad (13) compara la primera relación con cada uno de una pluralidad de umbrales diferentes uno de otro para determinar profundidades del defecto varias veces, con el fin de evaluar globalmente la profundidad del defecto según las profundidades determinadas varias veces.

45 5. El dispositivo de detección de defectos (1) según alguna de las reivindicaciones 1 a 4, donde:

el objeto de inspección es un bloque de cilindros (101) de un motor; y

el defecto incluye al menos un hoyuelo y una sopladura.

50 6. Un sistema de producción incluyendo:

un dispositivo de detección de defectos (1) incluyendo:

55 un dispositivo de formación de imagen (3) configurado para tomar una imagen de la superficie de un objeto de inspección,

60 una unidad de procesamiento de binarización (11) configurada para someter una imagen bidimensional obtenida por el dispositivo de formación de imagen (3) a procesamiento de binarización primero y segundo utilizando diferentes umbrales de binarización primero y segundo, con el fin de calcular tamaños primero y segundo para un defecto idéntico en la imagen,

una unidad de cálculo de relación (12) configurada para calcular una primera relación del segundo tamaño al primer tamaño, y

65 una unidad de determinación de profundidad (13) configurada para determinar una profundidad relativa del defecto comparando la primera relación con un valor umbral.

7. El sistema de producción según la reivindicación 6, incluyendo además un dispositivo de procesamiento (4) configurado para establecer una condición de procesamiento para el objeto de inspección según una suma de los volúmenes de todos los defectos y según una determinación realizada por una unidad de determinación de calidad (15) de si la suma de los volúmenes de los defectos es igual o menor que un valor específico permisible, donde el dispositivo de detección de defectos (1) incluye además una unidad de cálculo de volumen (14) configurada para establecer la profundidad del defecto dependiendo de la profundidad relativa, y para calcular un volumen del defecto dependiendo de la profundidad establecida y el tamaño del defecto, y calcular la suma de los volúmenes de todos los defectos de la imagen.

10

FIG. 1

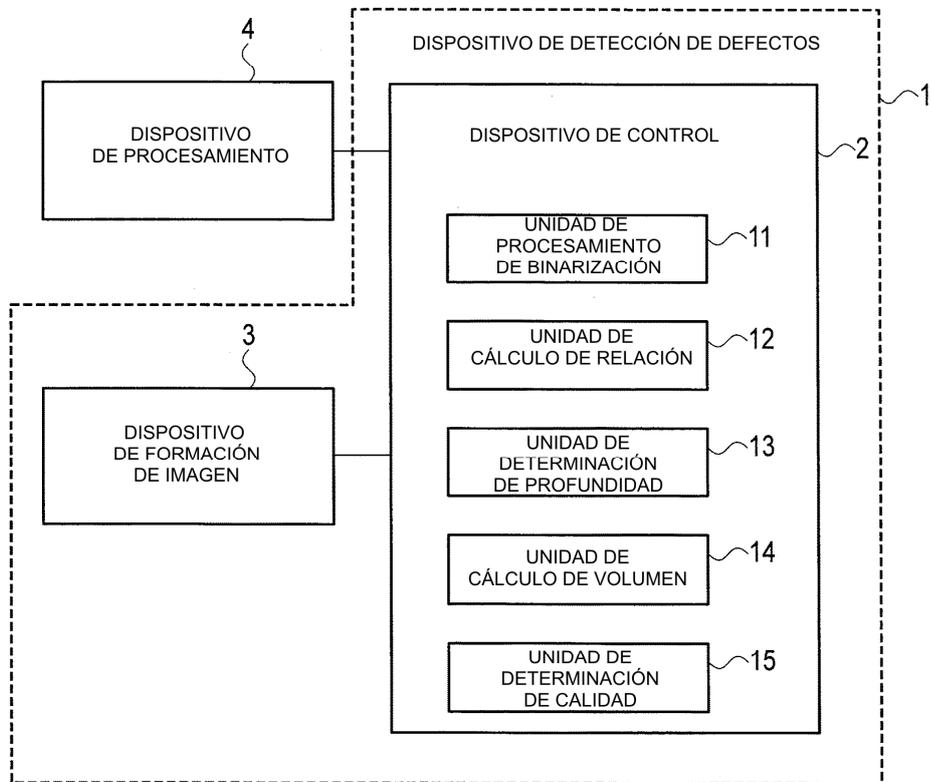


FIG. 2

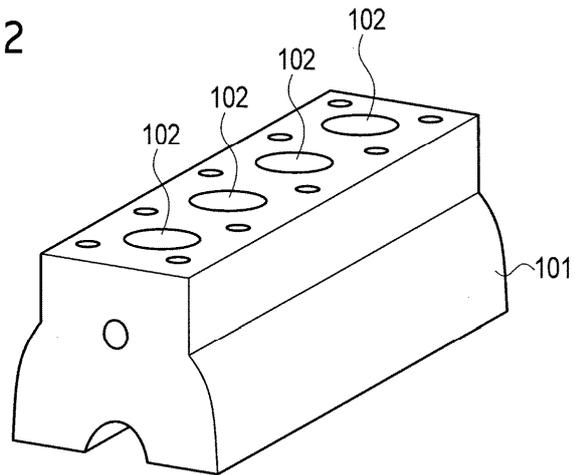


FIG. 3

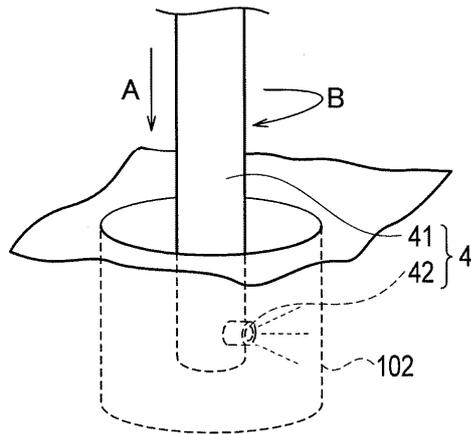


FIG. 4

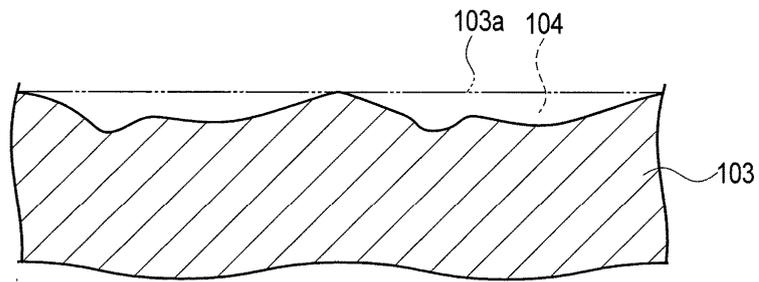


FIG. 5

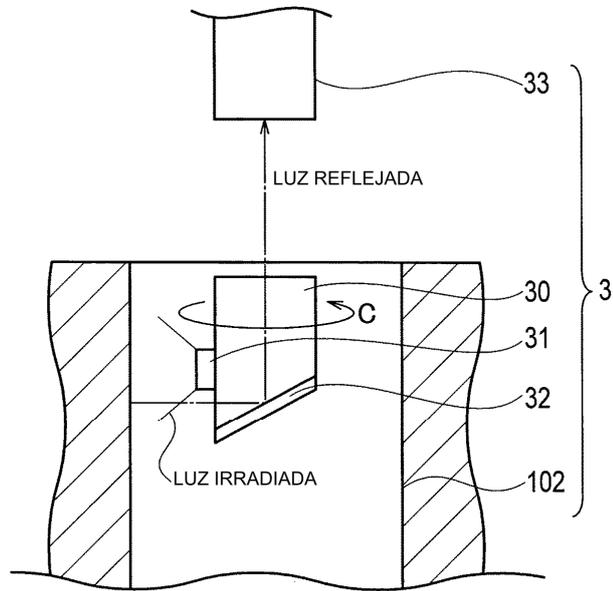


FIG. 6

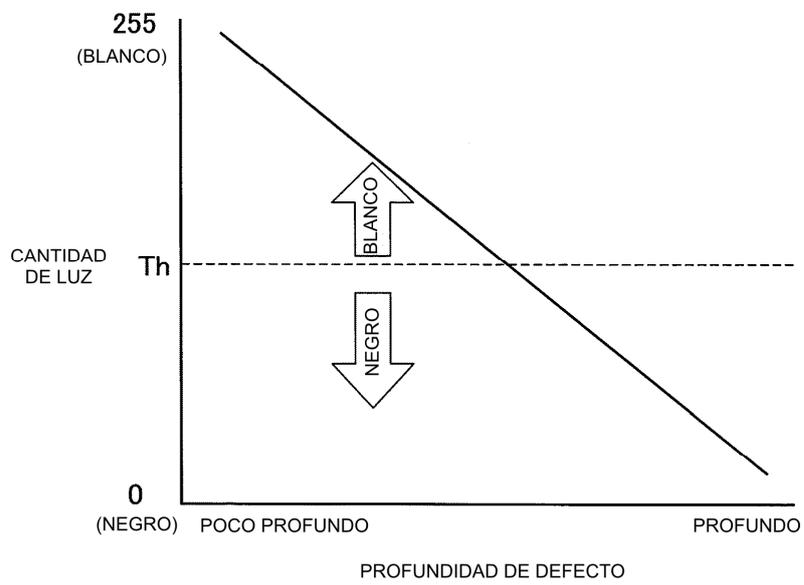


FIG. 7

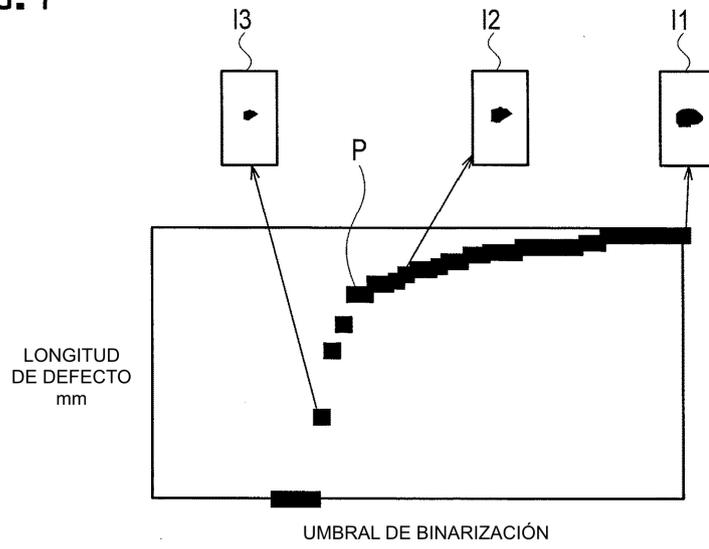


FIG. 8

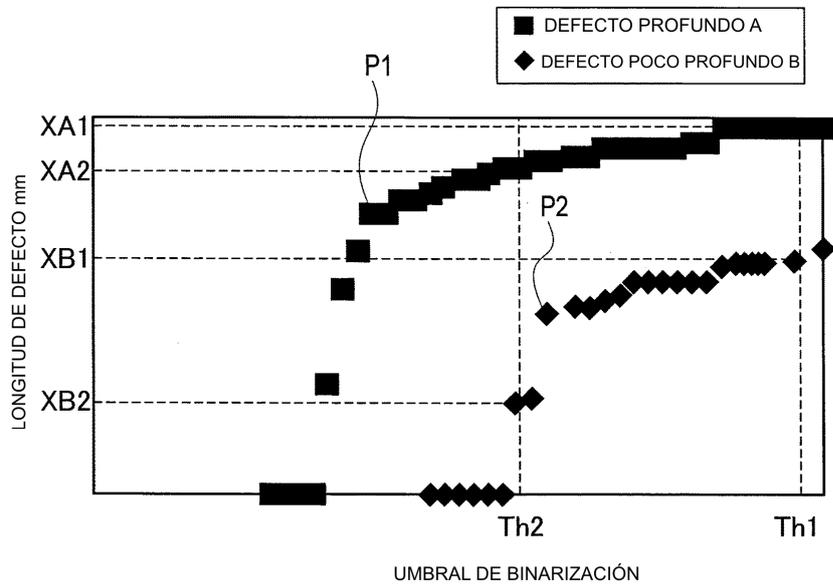


FIG. 9

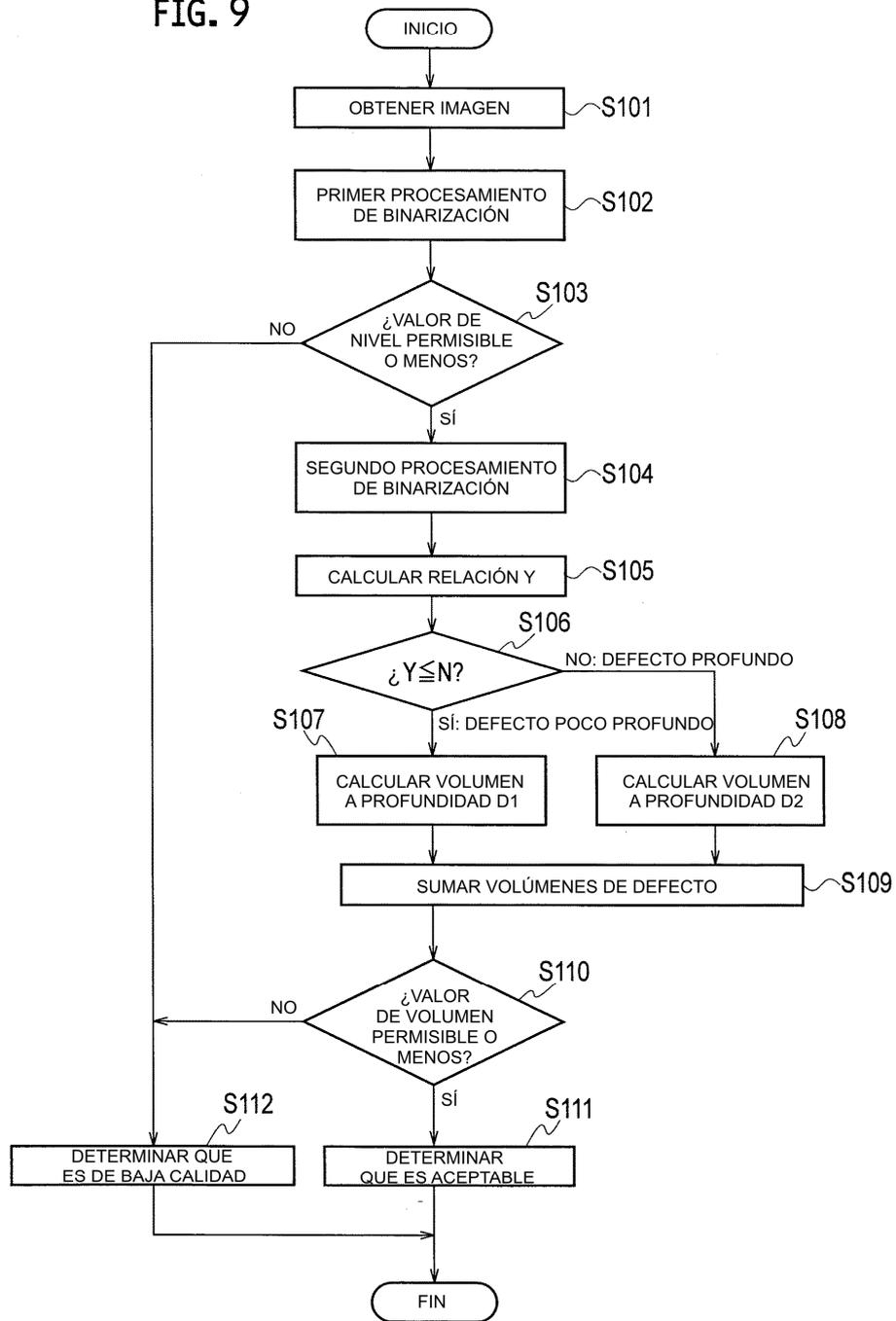
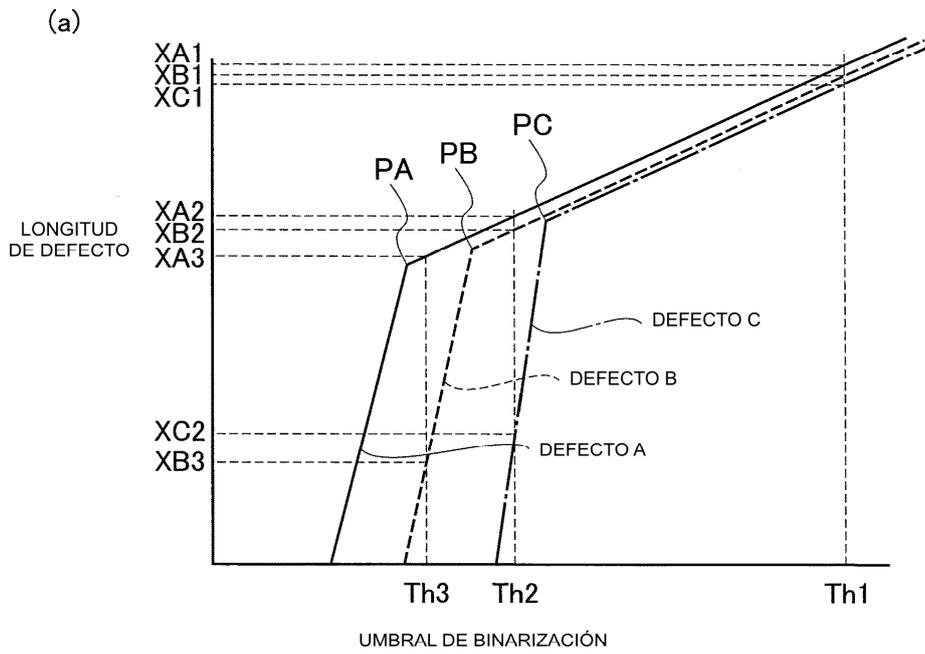


FIG. 10



(b)

DEFECTO	PRIMERA DETERMINACIÓN (RELACIÓN Y1)	SEGUNDA DETERMINACIÓN (RELACIÓN Y2)	CLASIFICACIÓN GENERAL
A	PROFUNDO	PROFUNDO	PROFUNDO
B	PROFUNDO	POCO PROFUNDO	INTERMEDIO
C	POCO PROFUNDO	POCO PROFUNDO	POCO PROFUNDO

FIG. 11

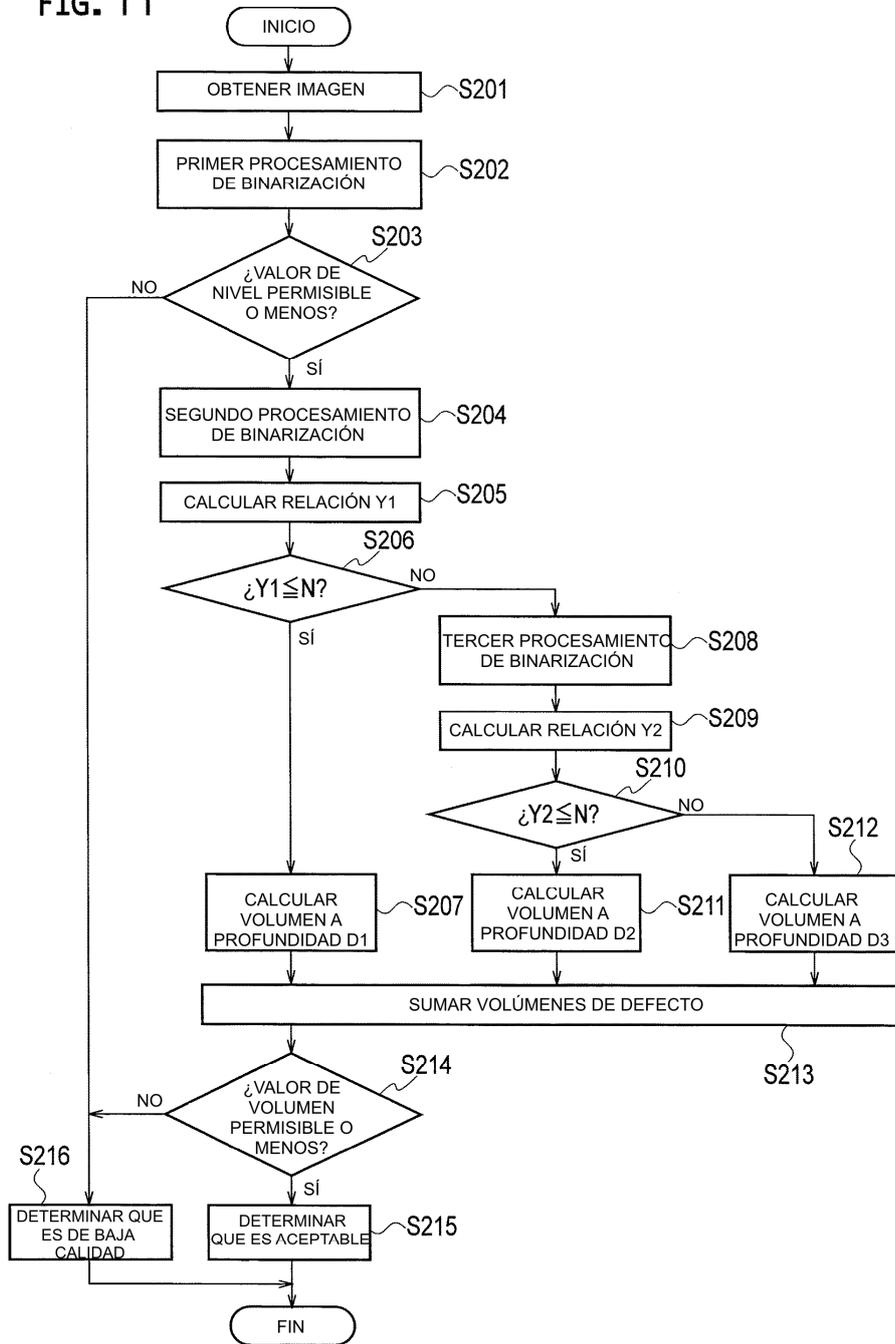
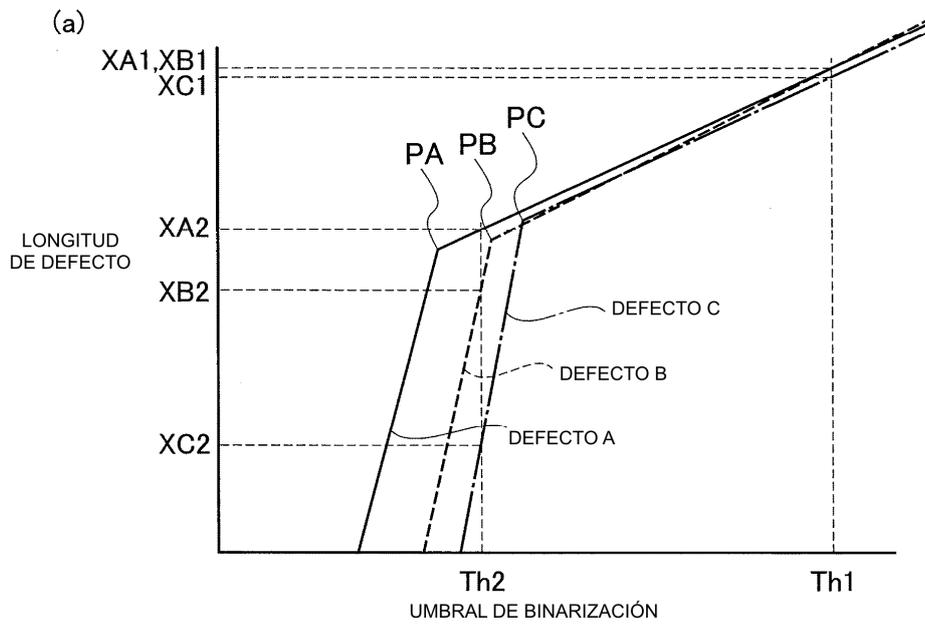


FIG. 12



(b)

DEFECTO	PRIMERA DETERMINACIÓN (N1=0,5)	SEGUNDA DETERMINACIÓN (N2=0,7)	CLASIFICACIÓN GENERAL
A	PROFUNDO	PROFUNDO	PROFUNDO
B	PROFUNDO	POCO PROFUNDO	INTERMEDIO
C	POCO PROFUNDO	POCO PROFUNDO	POCO PROFUNDO

FIG. 13

