

Nuevo dispositivo para la detección de defectos en lentes oftálmicas

J. Caum
E. Pérez Cabré
J. Pladellorens
X. Fernández Molinet*
J. Antó

Departamento de Óptica y Optometría
Universidad Politécnica de Catalunya.
* Industrias de Óptica, S.A. (INDO)
Departamento de Investigación y Desarrollo

En el proceso de fabricación de lentes oftálmicas aparecen en la lente defectos resultado, en general, del pulido y afinado de éstas. Estos defectos pueden ser superficiales: piques, rayaduras, faltas de pulido, y también máscicos: burbujas, impurezas, etc. Actualmente estos defectos son detectados por expertos que analizan visualmente cada una de las lentes. Este proceso además de ser lento, está sujeto a la subjetividad. Es por ello que se ha diseñado un dispositivo basado en la difracción, que permitirá analizar de forma rápida y objetiva, la calidad de las lentes. Este dispositivo situado en la línea de fabricación conseguirá mejorar el proceso de producción.

In the ophthalmic lenses production process appear in the lens defects turned out, in general, of the polishing of these. These defects can be superficial: Digs and scratches, lacks of polishing, and also be inside the lens: bubbles, impurities, etc. At present these defects are detected for experts that analyze visually each one of the lenses. This process besides being slow has subjectivity. It is because of it that a device has been designed based on the diffraction, that will permit to analyze in an objective and quick form, the quality of the lenses. This device situated in the line of production will improve the process of production.

Introducción

En el proceso de fabricación de lentes oftálmicas se generan defectos tanto en la superficie de las lentes como en su interior. Los defectos superficiales provienen normalmente del proceso de pulido al que se someten las lentes. La detección de los defectos la realizan expertos, lo que introduce subjetividad en el proceso.

Existen diversas normas que regulan el proceso¹, por ejemplo la Norma ISO 8980-1:1996 (F) establece que en un círculo de 30 mm de diámetro alrededor del centro de la lente no puede haber un defecto, tanto a nivel de material como de superficie, que pueda perjudicar la visión. Fuera de esta zona se admiten pequeños defectos aislados. El control se efectúa mediante la técnica de la contraluz, en una sala que tenga una iluminación aproximada de 200 lx y la luz utilizada sea al menos de 400 lm.

Los procedimientos de control de defectos que aplican los fabricantes (p. ej., INDO) suelen ser más exigentes, estableciendo una definición y clasificación de los defectos en función de su origen, posición y magnitud. El número de posibles tipos de defectos es de 23 y su magnitud viene regulada a través de la apreciación experimentada de expertos adecuadamente entrenados, de forma sistemática y rigurosa aunque no exenta de subjetividad.

Algunos defectos en las lentes oftálmicas

Presentamos a continuación algunas imágenes obtenidas de los defectos superficiales más corrientes en lentes oftálmicas, como son las rayas de afino, roces los picos, y las rayas de pulido así como un perfil de la zona (fig. 1-8)

Raya de afino (figs. 1 y 2)

El perfil obtenido correspondiente a uno de los picos es el que podemos ver en la figura 2.

Se puede observar que la profundidad es del orden de 0,25 μm y la anchura de 120 μm . En defectos de este tipo se acostumbra a encontrar dos o tres picos.

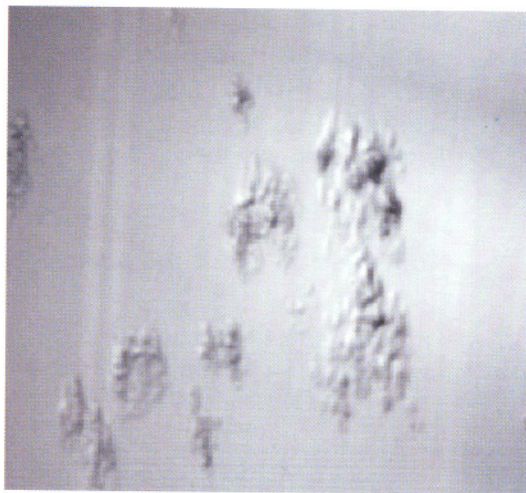


Fig. 1. Raya de afino. Fotografía de 400 μm de lado.

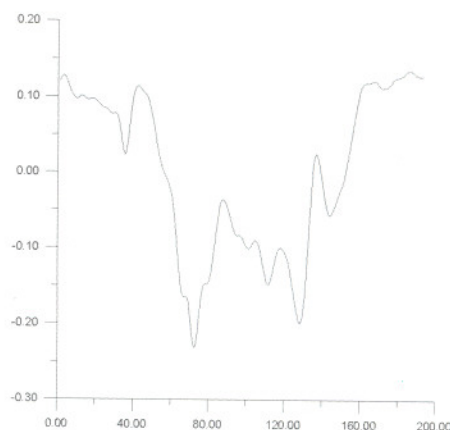


Fig. 2. Perfil (dimensiones en μm).

Pico (figs. 3 y 4)

El perfil obtenido se presenta en la figura 4, donde se aprecian unas pendientes muy fuertes, lo que favorecerá su detección, en este caso la anchura es del orden de 75 μm y la profundidad máxima es de 11 μm .

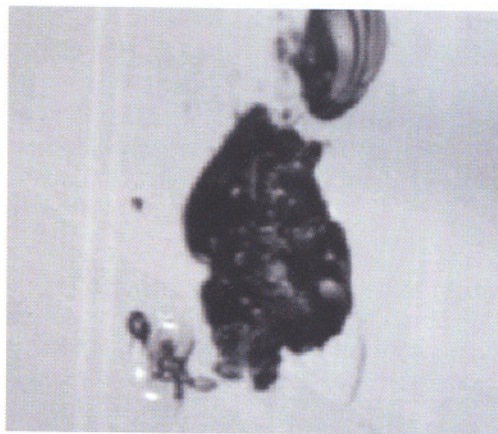


Fig. 3. Pico. Fotografía de 400 μm de lado.

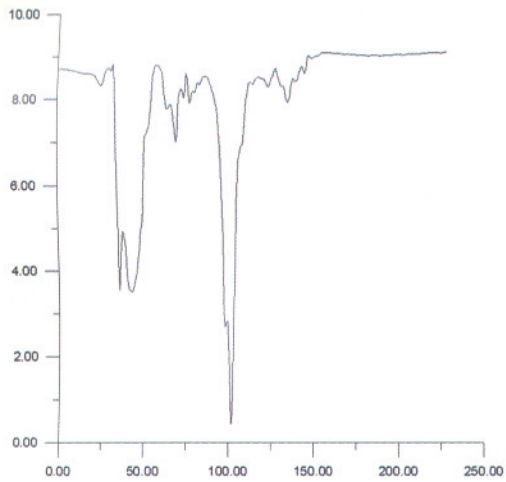


Fig. 4. Perfil pico (dimensiones en μm).

Roce

Este tipo de defecto es de más difícil detección, a pesar de que las pendientes son muy elevadas, las dimensiones de cada una de las depresiones son muy pequeñas, lo que hace difícil su detección. En la figura 5 se presenta una fotografía de parte del defecto con una anchura de $400 \mu\text{m}$.

En la figura 6 se presenta el perfil de una zona del roce.

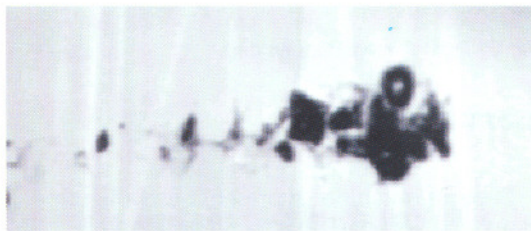


Fig. 5. Roce.

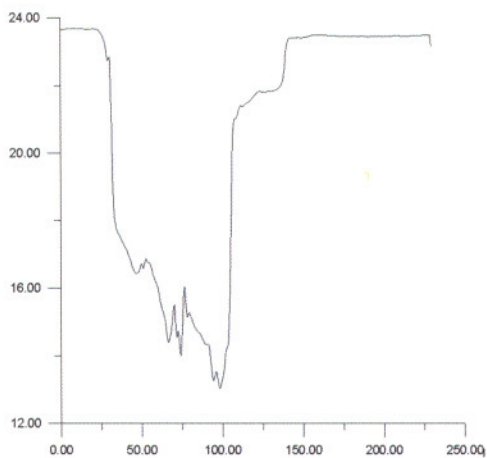


Fig. 6. Perfil de un roce (dimensiones en μm).

Raya de pulido (figs. 7 y 8)

Se puede observar que en este caso, el perfil corresponde a un corte en la dirección perpendicular del defecto, con una anchura de $3,5 \mu\text{m}$ y una altura menor de $0,2 \mu\text{m}$.

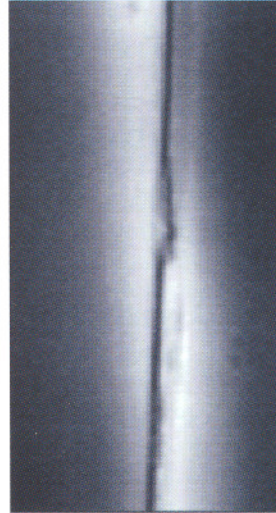


Fig. 7. Raya de pulido.

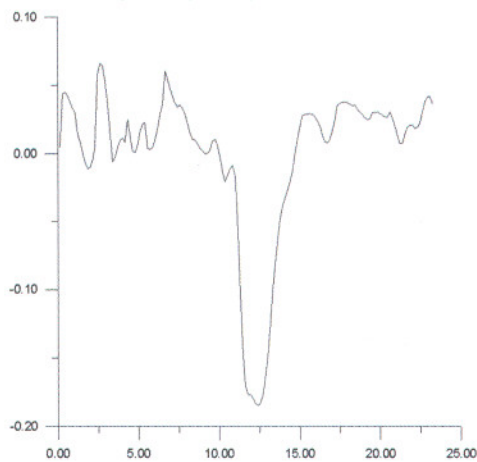


Fig. 8. Raya de pulido (dimensiones en μm).

Zonas de la lente

Es evidente que un defecto situado en el centro de la lente, tiene más importancia que si está situado lejos del centro. Por tanto, se establecen tres zonas para las lentes monofocales que son: zona 1 o central, zona 2 o intermedia y zona 3 o exterior. La zona central suele corresponder a una zona circular de 30 mm de diámetro centrada en el centro nominal de la lente, la zona intermedia corresponde a una corona circular concéntrica a la zona central con el diámetro igual al de la lente menos 10 mm , y la zona exterior corresponde al resto de la lente.

Para lentes multifocales, se consideran además la zona central lentilla y la zona exterior lentilla. La zona central lentilla corresponde a un círculo de diámetro igual a la lentilla menos 4 mm y la zona exterior lentilla corresponde al resto de la lentilla.

Finalmente, en base a estos conceptos se establecen unos criterios de aceptación o rechazo relacionados con la cantidad máxima de defectos por zona de magnitud.

Antecedentes

La detección automática de defectos en lentes oftálmicas ha sido probada por nuestro grupo mediante otros métodos diferentes al propuesto², uno de los colaboradores en el presente proyecto presentó un método de detección de defectos superficiales basado en el análisis de la imagen obtenida cuando un haz de luz cuasi paralela a la superficie de la lente incidía sobre un defecto. Este método, presentaba inconvenientes, (como eran la lentitud, o la necesidad de girar la lente per estudiar la segunda cara), que desaconsejaron seguir por este camino. Otros dispositivos se han desarrollado, como es el dispositivo "Hawkeye" de la empresa israelí Prolaser que no ha conseguido penetrar de forma de forma significativa en la industria oftálmica debido principalmente a sus limitaciones.

A continuación presentamos las características de nuestro dispositivo, así como algunos resultados obtenidos hasta ahora.

Descripción del dispositivo

El dispositivo está basado en el fenómeno de la difracción que se produce en los defectos al incidir un haz de luz láser. La difracción producida es detectada por un fotómetro, que detecta la presencia del defecto. Un mecanismo asegura que el haz barra toda la superficie de la lente.

El dispositivo consta de:

a) Un sistema óptico, encargado de conducir el haz láser, en condiciones óptimas, sobre la lente a analizar.

b) Un sistema mecánico sobre el que está situado la lente a inspeccionar, encargado de producir sobre ella un movimiento rotatorio y un movimiento de traslación. Un sistema de detección, formado por un fotómetro

adaptado a la longitud de onda producida por el láser, que tiene como objetivo recoger la luz difractada en un defecto.

c) Sistema de control, conectado a los sistemas anteriores y que regula todo el proceso.

a) Sistema óptico del instrumento

El sistema óptico se ha diseñado con el objetivo de recoger la luz difractada en una de las superficies de la lente, debido a la presencia de un defecto.

En la figura 9 se presenta un esquema óptico del diseño propuesto, en el que se ha representado una primera lente problema a analizar, un diafragma rectangular que impide el paso de la luz directa central, dos lentes de geometría biconvexa, y una superficie (detector) que recoge sólo la luz difractada por el efecto del defecto.

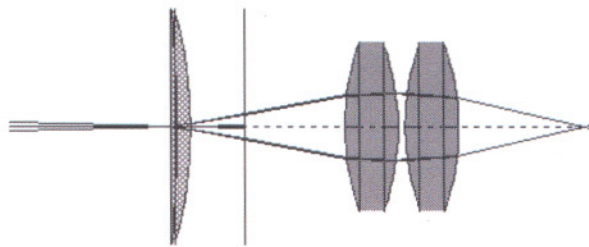


Fig. 9. Esquema del diseño óptico propuesto.

La fuente de iluminación es un láser de diodo que emite en el visible, con una potencia de 3 mW, y que permite la focalización del haz sobre una de las superficies de la lente a analizar, con un tamaño de mancha de 0,5 mm de diámetro.

El diafragma, representado en la figura por una línea vertical, consiste en una franja de 4 mm de altura y 50 mm de longitud en la dirección transversal, dispuesta de tal manera que bloquea el haz de luz directa, que diverge después de cruzar la lente a analizar.

Las distancias focales y la posición de las dos lentes biconvexas en el sistema, se han determinado de manera que se satisfagan las siguientes condiciones:

1) El diámetro efectivo de las lentes ha de ser suficientemente grande con el fin de recoger la mayor parte de la luz difractada por el defecto, consiguiendo así que el detector recoja la mayor parte de la energía.

2) La distancia focal total del sistema analizador ha de ser mínima con el fin de

conseguir un sistema compacto de dimensiones reducidas. La disminución de este parámetro está limitada por la conveniencia de focalizar el haz de manera que la mancha sobre los diferentes planos contenidos en la lente tenga un tamaño similar.

3) La potencia total del sistema óptico ha de ser suficientemente grande para conseguir minimizar el efecto de la potencia de la lente problema introducida, de forma que la desviación de la trayectoria de los rayos sea mínima. Por esta razón la potencia total del conjunto de las dos lentes biconvexas ha de ser de 40 D.

Para comprobar como afecta sobre el resto del sistema, la lente que se introduce para su análisis, se han introducido dos lentes de $P_{vp} = +10$ D y -10 D, que podrían ser consideradas como casos extremos del conjunto de muestras a analizar y que al mismo tiempo abarcan un amplio rango de casos dentro de la producción habitual de este tipo de lentes. La figura 10 presenta la simulación para el primero de los casos, una lente de $+10$ D. Para una mayor simplicidad se ha supuesto que la lente tiene una geometría plano-convexa.

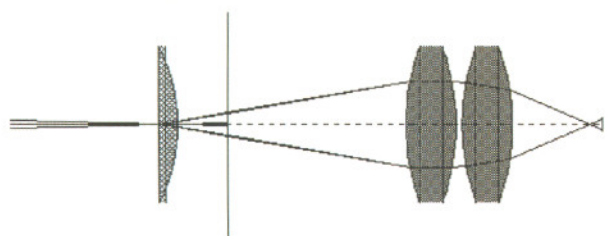


Fig. 10. Potencia de la lente a analizar $+10$ D.

Los efectos que las lentes pueden introducir en el sistema óptico propuesto, pueden describirse básicamente mediante dos factores:

- El efecto prismático inducido por el descentramiento de la lente.
- El efecto de convergencia o divergencia del haz debido a la introducción de una lente en el sistema óptico del instrumento, que es precisamente la lente que queremos analizar.

El efecto prismático inducido está regido por la ley de Prentice, que se expresa mediante dioptrías prismáticas.

$$\Delta = d * P$$

En esta expresión, d corresponde a la distancia entre el punto considerado y el

centro óptico de la lente, que normalmente coincidirá con su centro geométrico, y P es la potencia del vértice posterior de la lente. Si el spot del láser se mueve con desplazamientos horizontales entre los extremos de la lente será necesario considerar el peor caso para un desplazamiento de la mitad del diámetro de la lente (35 mm). Asumiendo que la potencia máxima de la lente a medir es de 10 D, tendremos $3,5 \Delta$. Si consideramos que el diafragma se sitúa a una distancia de 20 mm del vértice de la lente, tendremos un desplazamiento máximo de 0,6 mm del spot de luz que pasa a través de esta lente.

Se prevé, por tanto, que si el diámetro del diafragma es de 50 mm, y la parte opaca de éste es una franja diametral, el efecto de desviación del haz debido al prisma inducido por descentramiento de la lente no interfiere en el funcionamiento del aparato.

b) Sistema mecánico y sistema electrónico del dispositivo

En la figura 11 se presenta un esquema de como se disponen los elementos ópticos del sistema.

El sistema mecánico está construido en aluminio, con la finalidad de reducir el peso. Sólo para los elementos que presenten fricción entre ellos se usará latón, el soporte del detector es móvil lo que permitirá su ajuste para conseguir las condiciones óptimas de funcionamiento.

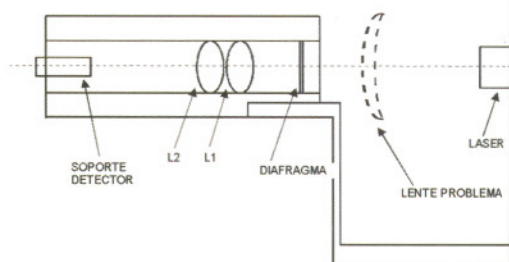


Fig. 11. Esquema del dispositivo.

La circuitería electrónica diseñada hasta el momento comprende los siguientes elementos:

- Fuente de corriente constante para alimentar el diodo láser, que puede ser comandada manualmente (ajuste con un potenciómetro) o bien desde el ordenador.
- Convertidor corriente-tensión y adecuador de señal para atacar una de las entradas analógicas de la placa convertidora con la señal generada por el detector.

- Se ha escogido como detector el S1336-44BQ de Hamamatsu, con un área activa cuadrada de 3,6 mm. de lado. Todo el conjunto proporciona una tensión máxima de 2,5 V en las condiciones de detección de un defecto perfectamente detectable en una inspección visual.

- Se han diseñado también las fuentes de alimentación necesarias para el correcto funcionamiento de toda esta circuitería.

c) Sistema de control

Un ordenador controlará todo el proceso, de forma que cuando se detecte un defecto sea posible determinar su posición. Para ello es necesario controlar en cada momento la posición del haz sobre la lente.

Resultados

Las pruebas realizadas a un conjunto representativo de lentes han dado los siguientes resultados:

Tipo de defecto	Nivel de corte*	Nivel del defecto detectado*	Fondo max)*
1 Pico	500	1.018	100
2 Falta afino	500	597	200
3 Masa	500	1.032	180
4 Falta de pulido	500	650	170
5 Raya de pulido	500	572	120

(*) En unidades propias

En la tabla están expresados los resultados obtenidos en cinco lentes, sacadas de la cadena de producción con diferente defecto en cada una de ellas. Estos defectos han sido determinados previamente por expertos, en el control habitual que éstos realizan. El nivel de corte, es decir, el nivel a partir del cual consideramos que hay defecto ha sido el mismo (500) para todas. El nivel obtenido en el lugar del defecto ha sido variable en función de la importancia de éste. Esta importancia está relacionada con la capacidad del defecto de generar difracción, que es lo que en definitiva lo hace aparecer como defecto a la vista del observador. Por otro lado, el nivel de fondo máximo, es el que se obtiene en el

detector cuando no hay defecto, al recorrer toda la lente. Este nivel de fondo viene producido por la lente y el sistema detector en conjunto. La relación entre el nivel del defecto detectado y el nivel de fondo máximo nos indicará la importancia relativa del defecto.

Conclusiones

Los resultados obtenidos creemos que son buenos, pero será necesario, naturalmente, hacer más pruebas para comprobar la capacidad del dispositivo para detectar pequeños defectos, en función además de la velocidad de giro. Los resultados obtenidos permiten establecer las bases para un futuro dispositivo situado en la cadena de producción de lentes y que de forma totalmente automática permita detectar en tiempo real los defectos de las lentes oftálmicas

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro del marco del Convenio de Colaboración entre INDO y la

Universidad Politécnica de Catalunya "Diseño y desarrollo de un dispositivo para la detección automática de defectos superficiales en lentes oftálmicas" (1/1998). Asimismo agradecemos la ayuda recibida a través del programa Petri, nº95-0646-OP, del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Bibliografía

1. Baker LR. Thresholds for surface imperfections. *Optical Engineering* 1994;33(8).
2. Pladellourens J, Márquez J, Millán M^ºS. Automated surface inspection of ophthalmic lenses" en *Optics and Information*, 6th Topical Meeting of the European Optical Society, Mulhouse (Francia), 1995.