

The beauty of the inhomogeneous La belleza de lo inhomogéneo

J. A. Vallés^{S*}

Departamento de Física Aplicada – Facultad de Ciencias – Universidad de Zaragoza

E-mail: juanval@unizar.es

S: miembro de SEDOPTICA / SEDOPTICA member

Received /Recibido: 29/05/2015

Accepted/ Aceptado: 11/06/2015

DOI: 10.7149/OPA.48.2.167

ABSTRACT:

The distribution of both residual stresses in the material and those due to an ophthalmic lens assembly can be analyzed using a tensiscope by means of the effect of the induced birefringence on polarized light passing through the lens. If a white light source is used the inhomogeneity generated in the material can result in images of remarkable beauty.

Key words: birefringence, photoelasticity, tensiscope, ophthalmic lens

RESUMEN:

La distribución, tanto de las tensiones residuales en el material como de las debidas al montaje de una lente oftálmica, puede analizarse mediante un tensiscopio a partir del efecto de la birrefringencia inducida sobre luz polarizada que atraviese la lente. Si se utiliza una fuente de luz blanca la inhomogeneidad generada en el material puede dar lugar a imágenes de indudable belleza.

Palabras clave: birrefringencia, fotoelasticidad, tensiscopio, lente oftálmica.



Fig. 1. Imagen del patrón de franjas coloreadas obtenida al analizar las tensiones de una lente oftálmica con un tensiscopio. Fue tomada sin flash con una cámara SM-G800F de Samsung con distancia focal 3 mm, apertura $f/2.4$ y tiempo de exposición $1/33$ s. No ha sido sometida a ningún tipo de procesamiento posterior

REFERENCES AND LINKS / REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] G. Cloud, *Optical methods in Engineering Analysis*. Cambridge, Cambridge University Press (1995).
- [2] A. Benito, E. A. Villegas, *Montaje y aplicaciones de lentes oftálmicas*. Universidad de Murcia (2001).

1. Introducción

La fotoelasticidad es una técnica experimental interferométrica de análisis de tensiones y deformaciones [1]. Fue desarrollada a principios del siglo XX y es ampliamente utilizada en la industria para el control de calidad de los procesos de fabricación y en ingeniería para el estudio de estructuras utilizando para ello modelos fotoelásticos como complemento a los métodos numéricos de cálculo. Se basa en el análisis de la interacción de luz polarizada al atravesar materiales transparentes en los que se ha inducido birrefringencia mediante tensiones.

Una de las aplicaciones de la fotoelasticidad es la de la observación de las tensiones mecánicas que pueden encontrarse en las lentes oftálmicas tras su proceso de montaje [2]. Estas tensiones pueden limitar en algunas zonas la calidad de la imagen o aumentar el riesgo de fractura. La Fig. 1 muestra el patrón de franjas coloreadas obtenido al analizar las tensiones de una lente oftálmica con un tensiscopio.

En este manuscrito describimos brevemente los fundamentos de la fotoelasticidad y mostramos algunos ejemplos de imágenes que pueden obtenerse de forma sencilla analizando tensiones en lentes oftálmicas y en monturas de gafas.

2. Fundamentos de fotoelasticidad.

2.a. Birrefringencia en materiales.

Un material se considera ópticamente isótropo cuando posee las mismas propiedades ópticas, independientemente de la dirección de propagación de la luz. Algunos materiales, sin embargo, presentan una propiedad llamada doble refracción o birrefringencia. En ellos, el índice de refracción depende de la orientación relativa del vector campo eléctrico respecto del material considerado. Cuando un haz de luz con un estado de polarización dado incide sobre un material anisótropo, el haz se desdobra en dos con estados de polarización ortogonales según sus direcciones principales. Debido a que los índices de refracción son distintos, los dos haces se propagan dentro del medio a velocidades diferentes.

En algunos materiales la birrefringencia sucede de forma natural como en el espató de Islandia. Estos materiales se emplean para construir prismas polarizadores por birrefringencia como el prisma de Nicol. En otro tipo de materiales (vidrios, numerosos plásticos, algunos elastómeros, semiconductores y ciertos fluidos), la birrefringencia puede inducirse por tensiones o deformaciones [1]. Experimentalmente se comprueba que en la mayor parte de los materiales utilizados la birrefringencia observada es proporcional a la tensión aplicada (siendo la constante fotoelástica característica del material) lo que permitirá relacionar de forma sencilla la birrefringencia observada con las tensiones y deformaciones sufridas por el material.

2.b. Medida interferométrica de la birrefringencia

Cuando un haz de luz de polarización arbitraria incide normalmente sobre la superficie de un material anisótropo, ésta actúa de divisor del haz separando la luz incidente en componentes perpendicularmente polarizadas. Aunque, en incidencia normal los caminos geométricos sean idénticos, aparece una diferencia de camino óptico que depende de las variaciones locales del índice de refracción direccional inducidas por las tensiones y hace que presenten una diferencia de fase relativa (denominada retardo) cuando abandonan el material, que depende de las tensiones generadas, del tipo de material y de su espesor. Este retardo se convierte en información en amplitud cuando las dos componentes se recombinan e interfieren. Dado que la diferencia de caminos ópticos no suele alcanzar más que algunas longitudes de onda, para estas técnicas pueden utilizarse fuentes de luz ordinarias.

Aunque en la práctica se emplean diversos montajes, el más habitual es en el que se introduce la muestra entre dos polarizadores lineales cruzados [1]. De este modo la luz incidente tiene un estado de polarización lineal definido mientras que el segundo polarizador (analizador) únicamente transmitirá en cada punto la intensidad resultante de la interferencia de las componentes paralelas a su eje, reflejando la modificación sufrida respecto del estado de polarización del haz incidente.

Cuando el material birrefringente es analizado con luz blanca y los retardos generados en los diferentes puntos del material se encuentra en el entorno de la longitud de onda del espectro visible por el ojo humano, el patrón observado es un sistema de franjas coloreadas. Para un cierto retardo una o más longitudes de onda sufrirán interferencia destructiva, viendo nuestro ojo el color complementario. Con un

cuidadoso calibrado del instrumento empleado el retardo relativo sufrido en cada punto puede medirse a partir del color observado [1].

3. Aplicación de la fotoelasticidad al análisis de tensiones en lentes oftálmicas

Una vez que las lentes están montadas, no solo hay que comprobar que la prescripción y el montaje son los correctos sino que es necesario observar las tensiones mecánicas que pueden sufrir las lentes [2]. Hay que tener en cuenta que las lentes oftálmicas están sujetas al aro de la montura gracias a la necesaria presión ejercida por éste en la zona del bisel. Las tensiones mecánicas adicionales aparecen cuando (1) las lentes son de un tamaño mayor al necesario, (2) hay algún cuerpo extraño en la ranura del bisel, (3) la forma de la lente no corresponde exactamente con la forma del aro o (4) el aro de la montura tiene formas angulosas.

Estas tensiones suponen un riesgo importante. En el caso de una lente mineral la reducción de su resistencia mecánica la hace más vulnerable a la rotura, si sufre un golpe en algún punto donde la presión de la montura sea elevada. Si se trata de una lente orgánica, la presión puede producir ligeros cambios en la geometría de la lente y, por tanto, generar aberraciones que reducen la calidad óptica de las lentes en esas zonas.

Para poder analizar las tensiones mecánicas de las lentes se ha utilizado un tensiscopio A1500 de GFC. El tensiscopio se compone básicamente de una fuente de luz y dos polarizadores lineales cuyos ejes de transmisión se encuentran perpendiculares. Para poder observar el patrón de tensiones de una lente montada ésta se sitúa entre los dos polarizadores.



Fig. 2. Tensiscopio A1500 de GFC utilizado en la realización de las fotografías.

Una lente sin tensiones se ve en el tensiscopio uniformemente iluminada, Fig. 3(a). De no ser así, se observa un patrón de zonas en el borde de la lente con máximos y mínimos de luz y zonas de luminosidad intermedia, Fig. 3(b).

Si se observan numerosas zonas de tensión en la lente, es conveniente marcarlas con un rotulador, retirar la lente del aro y retocarla con la biseladora manual, con el fin de reducir e idealmente eliminar esas tensiones.

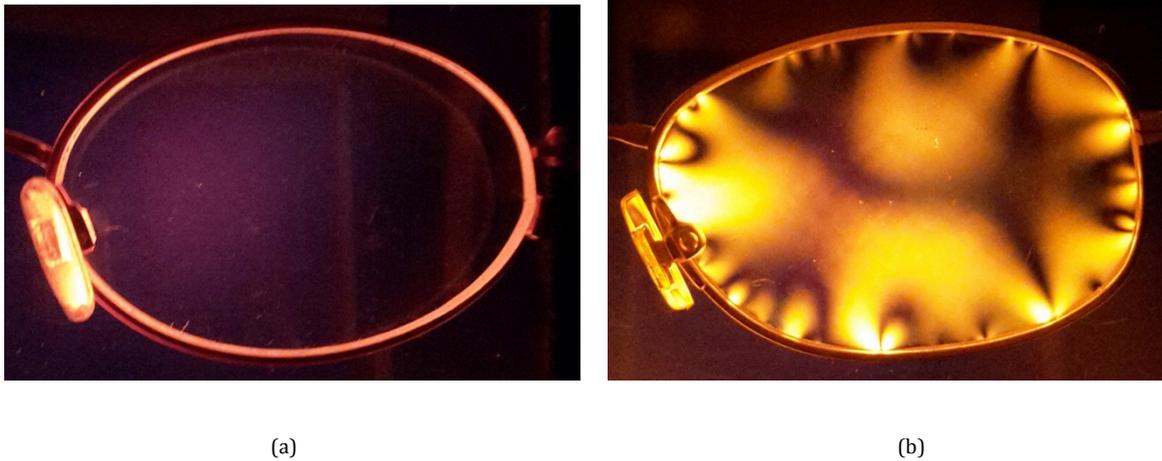


Fig. 3. Imagen de (a) una lente sin tensiones y (b) una lente con puntos de tensión en borde

Además, en ocasiones el material de la lente, Fig. 1, o el de la montura, Fig. 4, poseen tensiones residuales que generan retardos en el rango de las centenas de nanómetros y que ofrecen al observador un espectacular patrón de franjas de colores.

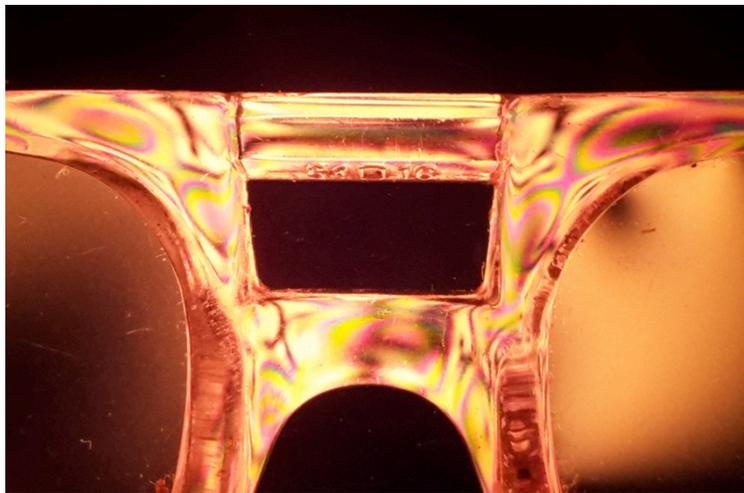


Fig. 4. Patrón de franjas de colores observado en el puente de una montura de pasta.

4. Conclusiones

La fotoelasticidad es una técnica interferométrica de análisis de tensiones y deformaciones de gran importancia en ingeniería. Tiene también numerosas aplicaciones en otras ramas científicas y técnicas como la evaluación de tensiones en lentes oftálmicas montadas en gafas con el fin de evitar un deterioro de sus prestaciones o de reducir su riesgo de ruptura. La observación de lentes o monturas a través de dos polarizadores lineales con ejes perpendiculares en un tensiscopio no solo permite localizar estas tensiones sino que, en ocasiones cuando se utiliza una fuente de luz blanca, ofrece llamativas imágenes.