

WYZNACZENIE UŁAMKOWYCH RZĘDÓW ISOCHROM METODĄ FILTROWANIA MONOCHROMATYCZNEGO

JACEK KAPKOWSKI

Politechnika Warszawska

1. Wstęp

W badaniach stanu odkształcenia metodami polaryzacyjno-optycznymi najczęściej wykorzystuje się izochromy rzędów całkowitych (w ciemnym polu) i połówkowych (w jasnym polu) dokonując rejestracji rozkładu izochrom w świetle monochromatycznym. Przy użyciu światła białego otrzymuje się jak wiadomo barwne obrazy izochrom, które niosą znacznie więcej informacji o stanie odkształcenia w badanym obszarze. Poszczególne kolorowe pasma odpowiadają określonej różnicy faz dwóch składowych promienia świetlnego, przy czym ta różnica faz jest wielokrotnością długości fali λ .

Wyodrębniając poszczególne pasma można wyznaczyć ułamkowe rzędy izochrom. Jest to istotne szczególnie w tych przypadkach, w których występują niskie rzędy izochrom [1].

Prezentowana w niniejszej pracy metoda pozwala wyznaczyć ułamkowe rzędy izochrom na drodze filtrowania monochromatycznego barwnego obrazu izochrom. W odróżnieniu od metod kompensacyjnych, które operują pomiarami punktowymi, filtrowanie monochromatyczne daje przebieg izochrom o rzędach ułamkowych w całym badanym obszarze.

2. Istota metody pomiaru

Metoda służąca do wyznaczania izochrom rzędów ułamkowych polega na zastosowaniu filtrów monochromatycznych — wąskopasmowych, przy użyciu których dokonuje się rejestracji fotograficznej rozkładu izochrom. W ten sposób z barwnego obrazu prążków otrzymuje się szereg czarno — białych rozkładów izochrom odpowiadających długości fali światła przepuszczonego przez zastosowany filtr.

Znaną zależność wiążącą ze sobą stan odkształcenia w modelu i efekt elastoptyczny można zapisać w postaci [2]:

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = C_e \frac{\lambda}{l} N, \quad (1)$$

gdzie oznaczono:

$(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$ — różnica odkształceń głównych,

C_e — odkształceniowa, materiałowa stała elastoptyczna

λ — długość fali światła,

t — grubość modelu,

N — rząd izochromy.

Pomiędzy rzędem izochromy N otrzymanym w badaniach przy długości fali świetlnej λ i rzędem izochromy N_0 wyznaczonym przy użyciu światła o długości fali λ_0 zachodzi związek, który wyprowadza się na podstawie zależności (1):

$$N_0 = N \frac{\lambda}{\lambda_0} \frac{(C_e)_r}{(C_e)_0} \quad (2)$$

Jako długość fali świetlnej odniesienia λ_0 , do której sprowadza się wyniki pomiarów przyjmuje się najczęściej $\lambda_0 = 589 \text{ nm}$, a więc długość fali świetlnej lampy sodowej. W konkretnych badaniach stałą elastoptyczną $(C_e)_0$ należy wyznaczyć dla długości fali odniesienia λ_0 .

Zakładając niezależność stałej elastoptycznej od długości fali, związek (2) można przepisać w postaci:

$$N_0 = N \frac{\lambda}{\lambda_0} \quad (3)$$

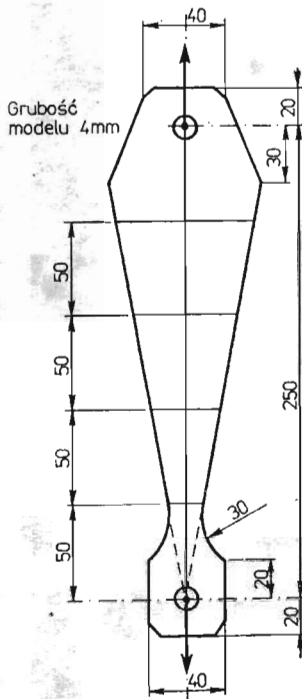
Wzór ten służy do obliczania ułamkowych rzędów izochrom N_0 odpowiadających długości fali odniesienia λ_0 , na podstawie rzędów izochrom N wyznaczonych przy różnych długościach fali λ . Można to wykonać zarówno dla izochrom całkowitych jak i połówkowych. W ten sposób otrzymuje się zbiorczy rozkład izochrom, także o rzędach ułamkowych, sprowadzony do wybranej długości fali świetlnej odniesienia λ_0 . Jak dalej wykazano, dokładność rozkładu izochrom jest co najmniej o rząd wielkości wyższa niż przy badaniach w świetle monochromatycznym. Na podstawie zbiorczego rozkładu izochrom, różnicę odkształceń głównych w poszczególnych punktach badanego obszaru wyznacza się ze wzoru:

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = (C_e)_0 \frac{\lambda_0}{t} N_0 \quad (4)$$

Niedogodnością pojawiającą się w metodzie filtrowania monochromatycznego jest konieczność wykonywania fotografii w polaryskopie liniowym, w którym izokliny zaciemniają obraz izochrom. Wyniki obliczeń potwierdzone doświadczalnie wykazują, że używanie tych samych ćwierćfalówek (w polaryskopie kołowym) do wszystkich długości fali może powodować powstanie znaczących błędów sięgających nawet dwudziestu procent. Błędy te możnaby wyeliminować przez zmianę ćwierćfalówek wraz ze zmianą filtru, wiąże się to jednak z dużymi trudnościami w ich pozyskaniu.

3. Badania sprawdzające

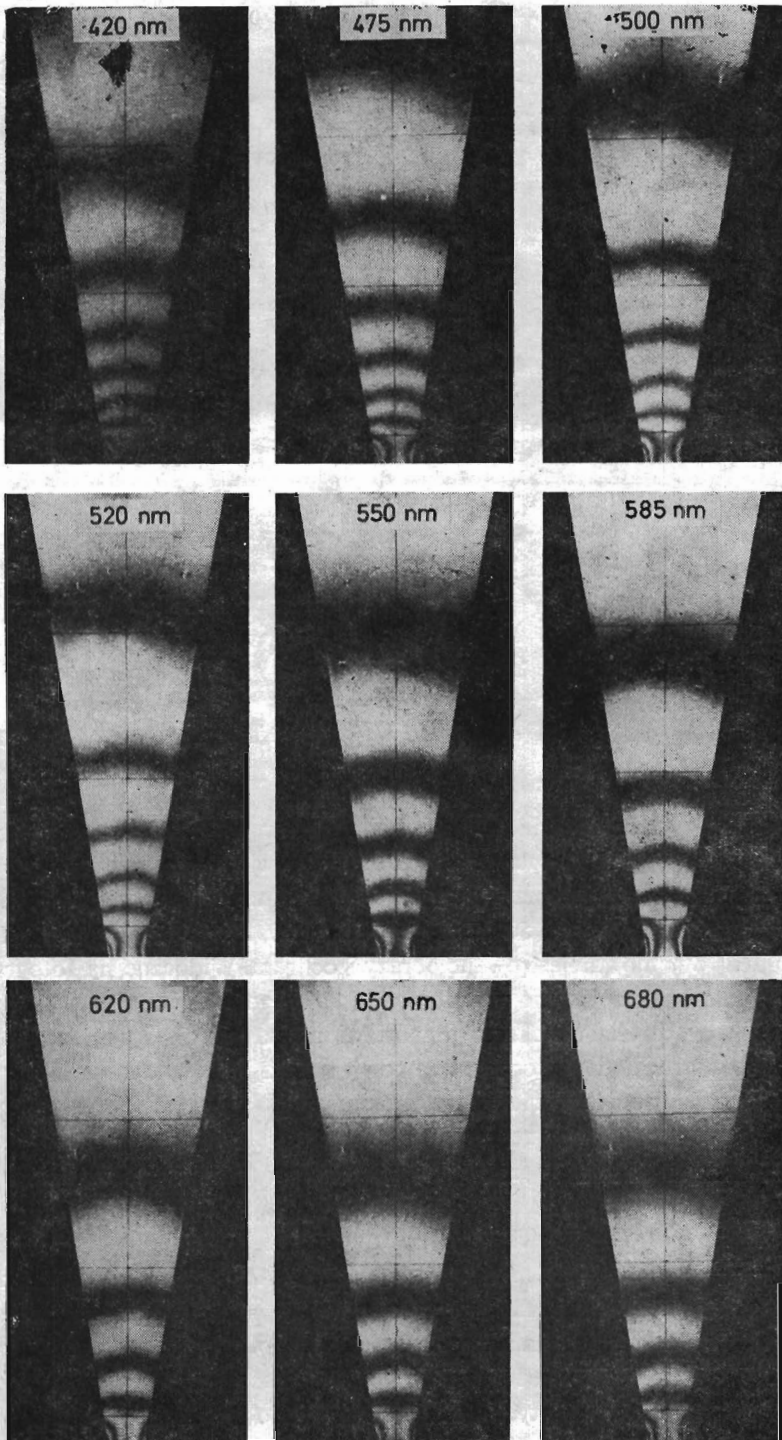
W celu przeanalizowania skuteczności proponowanej metody filtrowania monochromatycznego przeprowadzono badania modelu w kształcie klina poddanego rozciąganiu (rys. 1). Dla tego zadania znane jest w teorii sprężystości rozwiązanie analityczne — ściśle.



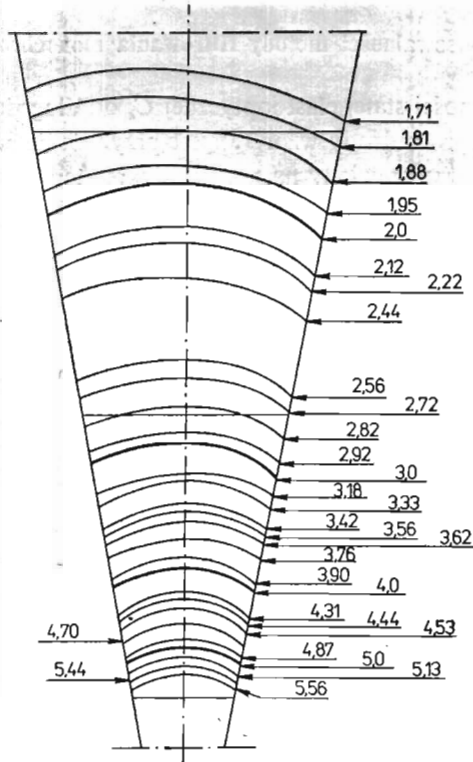
Rys. 1. Model do badań sprawdzających

Model o grubości 4 mm wykonano z żywicy epoksydowej i pokryto z jednej strony lakierem odblaskowym. Rejestrację obrazu izochrom całkowitych przeprowadzono w polaryskopie refleksyjnym liniowym przy zastosowaniu filtrów monochromatycznych dla długości fali światła $\lambda = 420, 475, 500, 520, 530, 550, 570, 585, 620, 630, 650, 680$ nm. Na rysunku 2 przedstawiono zarejestrowane obrazy izochrom. Widoczne na fotografiach izochromy, których rzędy przeliczono wg wzoru (3) (dla długości fali odniesienia $\lambda_0 = 585$ nm) utworzyły zbiorczy rozkład izochrom przedstawiony na rys. 3. Z rozkładu tego widać, że w porównaniu z rozkładem izochrom całkowitych dla jednej długości fali (np. na rys. 2 $\lambda = 585$ nm) liczba izochrom uległa znacznemu zwiększeniu. Wyznaczenie odkształceń może być więc przeprowadzone ze znacznie większą dokładnością.

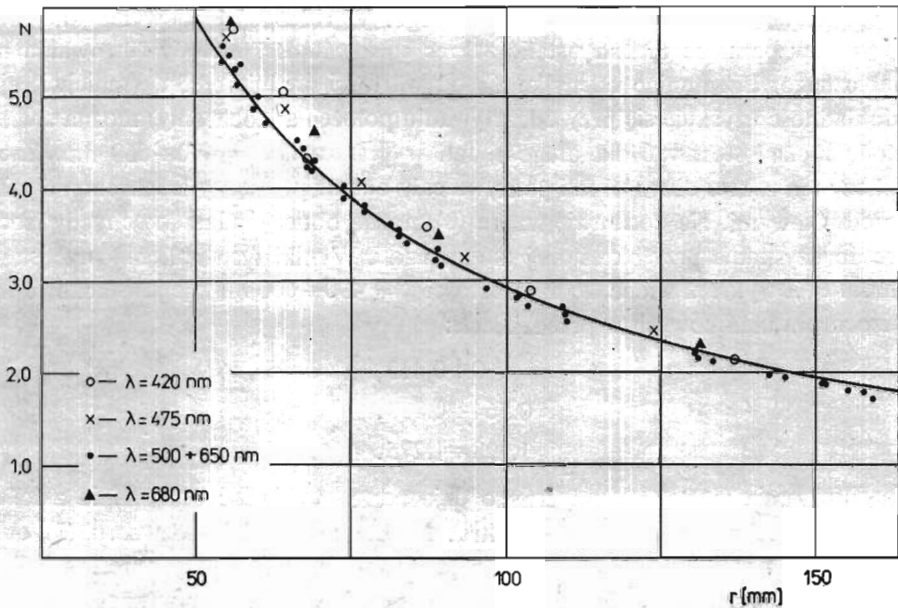
Aby sprawdzić dokładność pomiaru wyznaczono na podstawie rozwiązania analitycznego [3] rozkład izochrom wzdłuż osi symetrii modelu i porównano z wynikami doświadczalnymi. Na rysunku 4 przedstawiono wyniki analityczne linią ciągłą, natomiast punktami zaznaczono rzędy izochrom otrzymane w doświadczeniu. Z rysunku tego widać, że pomiary wykonane dla różnych długości fali i przeliczone na $\lambda_0 = 585$ nm z dostateczną dokładnością pokrywają się z wynikami rozwiązania ścisłego. Wyjątek stanowią punkty dla $\lambda = 420$ nm, $\lambda = 475$ nm i $\lambda = 680$ nm, które w większości znacznie odbiegają od krzywej ciągłej. Wynika to stąd, że dla tych długości fali stała $(C_e)_\lambda$ różni się znacznie od $(C_e)_0$, co podważa prawidłowość wzoru (3). Trzeba tu dodać, że większa niedokładność wyników doświadczalnych występuje naogół dla wyższych rzędów izochrom.



Rys. 2. Rozkłady izochrom dla różnych długości fali świetlnej λ



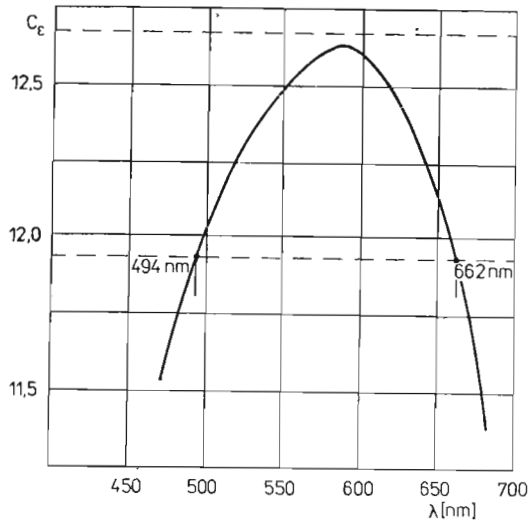
Rys. 3. Zbiórny rozkład izochrom w modelu klinowym



Rys. 4. Rozkład rzędu izochromy wzdłuż osi symetrii modelu. Porównanie wyników doświadczalnych z rozwiązaniem analitycznym

4. Zakres stosowalności metody filtrowania monochromatycznego

Założenie o niezależności stałej elastoptycznej C_e od długości fali świetlnej, na podstawie którego został wyprowadzony wzór (3) jest przybliżeniem. W rzeczywistości stała ta zmienia się w sposób przedstawiony na rys. 5. Wykres ten został opracowany na pod-

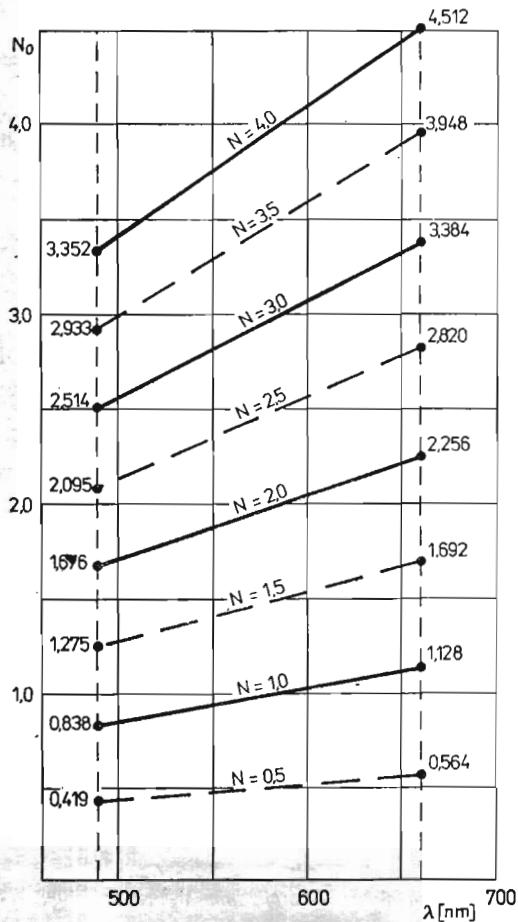


Rys. 5. Zależność materiałowej stałej elastoptycznej od długości fali

stawie uzupełniających badań modelu klinowego. W zależności od wymaganej dokładności wyników pomiaru można ustalić zakres stosowalności metody filtrowania monochromatycznego. Przyjmując odchyłkę C_e od wartości średniej $\pm 3\%$ (mniejwięcej taką samą dokładność uzyskuje się przy odczytywaniu położenia izochromy) można stwierdzić, że metodę można stosować dla długości fali w granicach $\lambda = 490 \div 660$ nm. Zachodzi pytanie, czy ten zakres długości fali pokrywa cały obszar pomiędzy izochromami całkowitymi i połówkowymi. Na podstawie wzoru (3) można obliczyć ułamkowe rzędy izochrom możliwe do uzyskania przy określonej długości fali. Wyniki tych obliczeń przedstawiono na rysunku 6. Z wykresu widać, że dla wartości $\lambda = 490 \div 660$ nm nie jest możliwe wyznaczenie izochrom ułamkowych w przedziałach:

$$\begin{aligned} &0 \div 0,419, \\ &0,564 \div 0,838, \\ &1,128 \div 1,275. \end{aligned}$$

Metoda filtrowania monochromatycznego daje także możliwość otrzymania założonego z góry rzędu izochromy przez dobór filtru. Można mianowicie ze wzoru (3) obliczyć długość fali λ dla zadanego ułamkowego rzędu izochromy (N_0) przy określonej długości fali odniesienia λ_0 . Taka możliwość jest bardzo przydatna np. przy wyznaczaniu granicy obszaru uplastycznionego ponieważ granica ta pokrywa się z izochromą w odpowiedni sposób obliczonego rzędu [4].



Rys. 6. Zależność uzyskiwanych ułamkowych rzędów izochrom od długości fali świetlnej

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować wnioski końcowe:

- Metoda filtrowania monochromatycznego pozwala w efektywny sposób zwiększyć dokładność pomiarów elastoptycznych poprzez wyznaczenie ułamkowych rzędów izochrom.
- W przeciwieństwie do pomiarów kompensacyjnych, które dają wyniki w punktach badanego obszaru, proponowana metoda jest pomiarem połowym, dającym jednocześnie informacje w całym badanym obszarze.
- Dla uzyskania dostatecznej dokładności, pomiary należy ograniczyć do zakresu długości fali światła $\lambda = 490 \div 660$ nm. Zakres ten pokrywa niemal w całości obszar pomiędzy izochromami całkowitymi i półówkowymi.
- Przez odpowiedni dobór filtra monochromatycznego można uzyskać z góry założony ułamkowy rząd izochromy.

Literatura

1. А. И. АЛЕКСАНДРОВ, Н. Х. АХМЕТЗЯНОВ, *Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела*, Наука, Москва 1983
2. J. KARKOWSKI, I. SŁOWIKOWSKA, J. STUPNICKI, *Badanie naprężeń metodą elastoptycznej warstwy powierzchniowej*, PWN, Warszawa, 1987
3. S. P. TIMOSHENKO, J. N. GOODIER, *Theory of Elasticity*, Mc. Graw-Hill, New York 1970
4. J. KARKOWSKI, J. STUPNICKI, *Badanie sprężysto-plastycznych płaskich stanów naprężeń metodą pokryć optycznie czynnych*, Archiwum Budowy Maszyn z. 1, Warszawa 1971

Резюме

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДРОБНЫХ ПОРЯДКОВ ПОЛОС МЕТОДОМ МОНОХРОМАТИЧЕСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Представлено метод анализа цветных образов изохром при применении монохроматических фильтров. С помощью метода можно определить полосы изохром дробного порядка, что приводит к улучшению точности измерений. Точность и пределы применения метода проверено на испытательной модели.

Summary

DETERMINATION OF ISOCHROMATIC FRINGES OF FRACTIONAL ORDER BY THE USE OF MONOCHROMATIC FILTERING

The method presented in the paper enables to determine the isochromatic fringes of fractional order. To analyse the isochromatic patterns obtained by using of the white light the monochromatic filters have been applied. The method was experimentally examined on the test-specimen. The limit of application of the method has been determined.

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 21 czerwca 1988 roku.