

УДК 617.7 535.34

А.В.Крайский, Е.М.Кудрявцев, Т.В.Миронова, Т.Т.Султанов

Физический Институт им.П.Н.Лебедева РАН,  
119991, Москва, Ленинский пр., 53. E-mail: [tania@itep.ru](mailto:tania@itep.ru)

## ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ АНАЛИЗА МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОЗРАЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Предложена схема визуализации упругих напряжений в прозрачных материалах (оргстекло) по изменению оптической плотности. Градиент оптической плотности измеряется с помощью корреляционного метода. Модельный эксперимент проводится при различных конфигурациях поперечной статической нагрузки балки из оргстекла сечением  $5 \times 5$  мм. Показано, что сечение поля смещений фоновой структуры соответствует эпюрам напряжений при данной схеме нагрузки балки.

### КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД, ОПТИЧЕСКАЯ ПЛОТНОСТЬ, УПРУГИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Для исследования процессов, происходящих при прохождении упругих уединенных волн в веществе, используются, в частности, волноводы из оргстекла. При прохождении волны плотности по волноводу меняются, в числе прочих, его оптические характеристики. Данная работа была проведена для проверки возможности измерения градиента оптической плотности волновода с помощью корреляционного метода.

Обычная схема визуализации напряжений на основе эффекта фотоупругости включает в себя два скрещенных поляроида, между которыми помещается исследуемый образец. Эффект зависит от размера двух компонент тензора показателя преломления, приведенного к диагональному виду. На рис. 1 показана картина напряжений балки в скрещенных поляроидах. Нагрузка приложена в точке А, в области В балка закреплена в тисках. Напряжения, ожидаемые при прохождении волн, довольно малы.

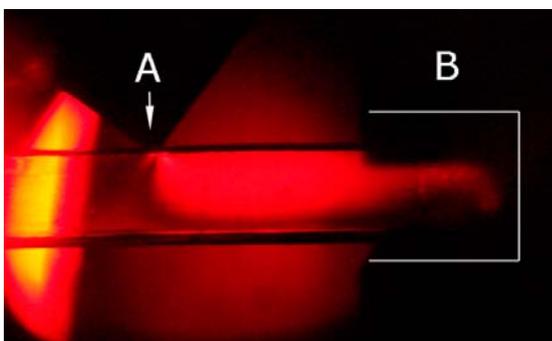


Рис. 1. Визуализация напряжений в балке из оргстекла на основе эффекта фотоупругости. Нагрузка приложена в точке А, в области В балка закреплена в тисках

Однако, даже в диапазоне напряжений, существенно большем ожидаемого, удается получить только одну полосу. С другой стороны, оптическая плотность оргстекла при небольших нагрузках изменяется довольно заметно, она зависит от величины показателя

преломления, а не от разницы его компонент. Поэтому представилось перспективным провести измерения с помощью корреляционного метода.

Первый пробный эксперимент проводился при локализованной, но не дозированной нагрузке. Балка сечением 5×5 мм одним концом зажата в тисках, другой конец свободный. Нагрузка прилагалась вертикально вверх и вниз, точка приложения нагрузки смещалась вдоль балки с шагом 1 см. Измерялся сдвиг фонового изображения при нагрузке по сравнению со свободным состоянием балки. Сканирование вдоль балки проводилось окном 32×32 пикселя примерно по центральной части изображения балки, так, чтобы изображение ее границ, сдвигающихся в противоположном направлении, в расчетах не участвовало.

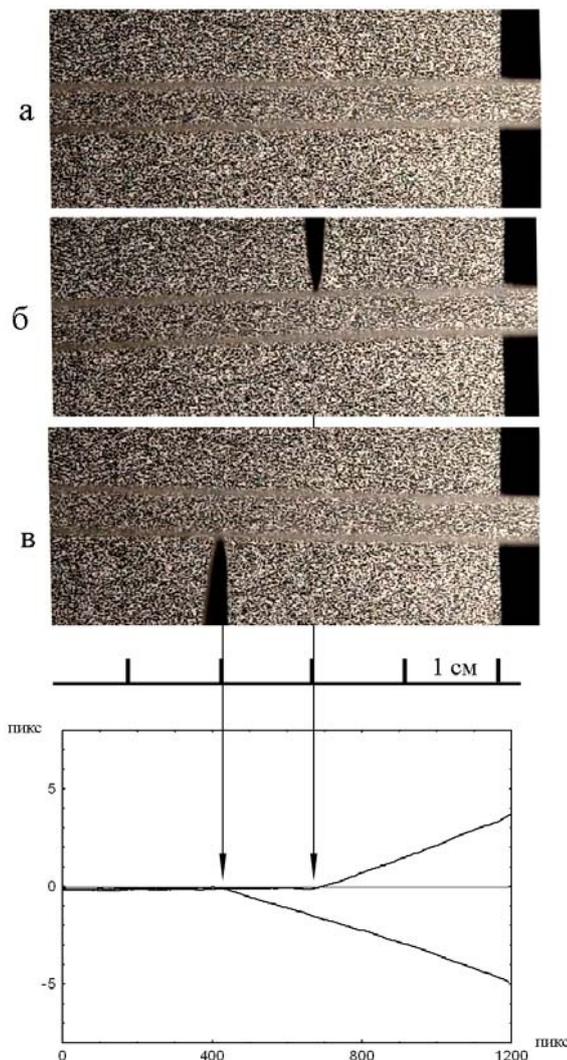


Рис. 2. Локализованная нагрузка балки: а – ненагруженная балка, б – нагруженная сверху, в – снизу. Внизу графики смещений структуры фона. По оси абсцисс – координата вдоль балки в пикселях изображения, по оси ординат – величина вертикального смещения структуры фона в пикселях. Стрелки указывают места приложения нагрузки

На рис. 2 показаны три состояния балки. Правый конец закреплен, левый – свободный. Первая фотография – ненагруженная балка, вторая – нагруженная сверху, третья – снизу. Внизу показаны графики измеренных смещений структуры фона. По оси абсцисс – координата вдоль балки в пикселях изображения, по оси ординат – величина вертикального смещения в пикселях. Стрелки указывают места приложения нагрузки. Видно, что место приложения нагрузки отслеживается довольно четко, а структура фона сдвигается в направлении, противоположном прилагаемой нагрузке.

Для оценки чувствительности был проведен следующий эксперимент. Таким же образом закрепленная балка нагружалась в 5 см от места закрепления – на нее ставились

разновесы от 1 г до 100 г. Сканирование проводилось, как и в предыдущем случае, вдоль балки. Результат представлен на рис. 3. Кривые 1 – 7 соответствуют различным нагрузкам – от одного до ста граммов. Видно, что сдвиг фоновой картины приблизительно пропорционален приложенному весу и, следовательно, напряжениям в балке.

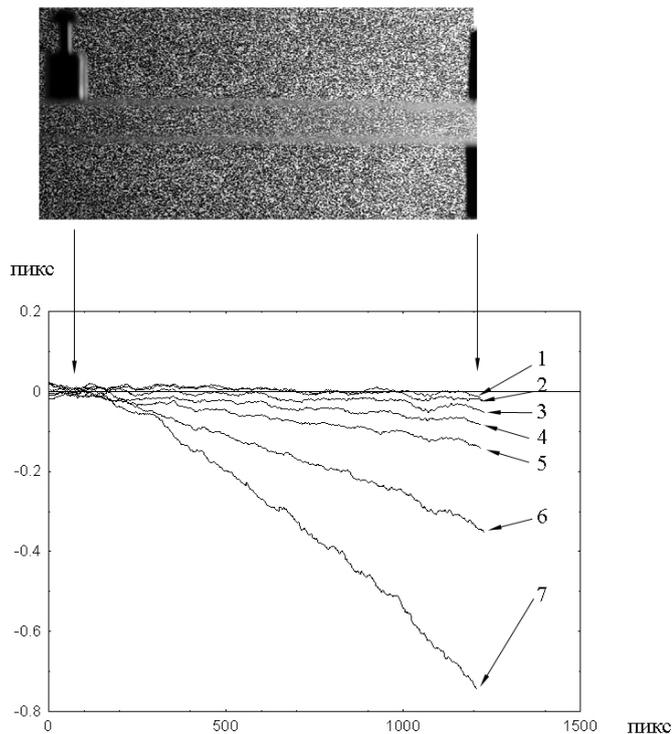


Рис. 3. Дозированная нагрузка балки. Горизонтальная ось – координаты вдоль балки в пикселях, вертикальная ось – вертикальное смещение структуры фона. Кривые 1 – 7 соответствуют различным нагрузкам: 1 – 1 г, 2 – 2 г, 3 – 5 г, 4 – 10 г, 5 – 20 г, 6 – 50 г, 7 – 100 .

Распределение напряжений в балке – не просто линейная функция координаты, а имеет более сложную форму. Для более наглядной визуализации была взята более широкая полоса из оргстекла. Она зажималась в тиски и нагружалась локально, вертикально вниз (рис. 4 а)).

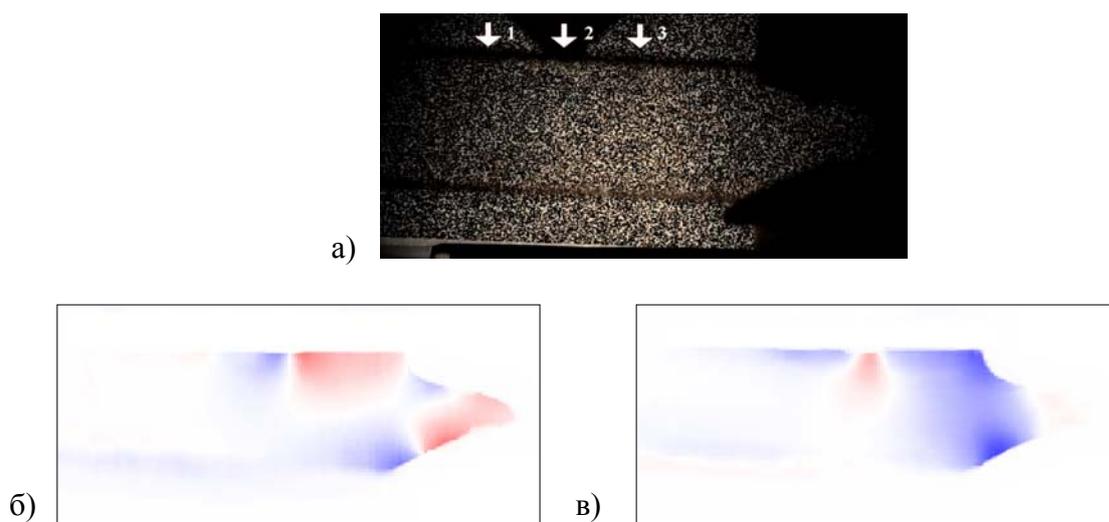


Рис. 4. а) Схема нагрузки широкой балки. б) Горизонтальная компонента сдвига фоновой структуры. в) Вертикальная компонента. Красный цвет – сдвиг вправо и вниз, синий – влево и вверх

Сравнивались два изображения – в нагруженном состоянии и в ненагруженном. Тем самым не учитывались напряжения, возникающие в пластине при сжатии в тисках. На рис. 4

б) и в) показаны горизонтальная и вертикальная компоненты сдвига фоновой структуры при нагрузке в точке 3. Максимальные величины горизонтальных сдвигов – порядка одного пикселя и в положительном, и в отрицательном направлении. В поле вертикальных сдвигов превалирует направление вверх, максимальные сдвиги в области закрепления детали – до 3-х пикселей. В окрестности точки приложения нагрузки локальный вертикальный сдвиг вниз, величина до одного пикселя.

На рис.5 для иллюстрации показано векторное представление сдвигов фоновой структуры по полю пластины.

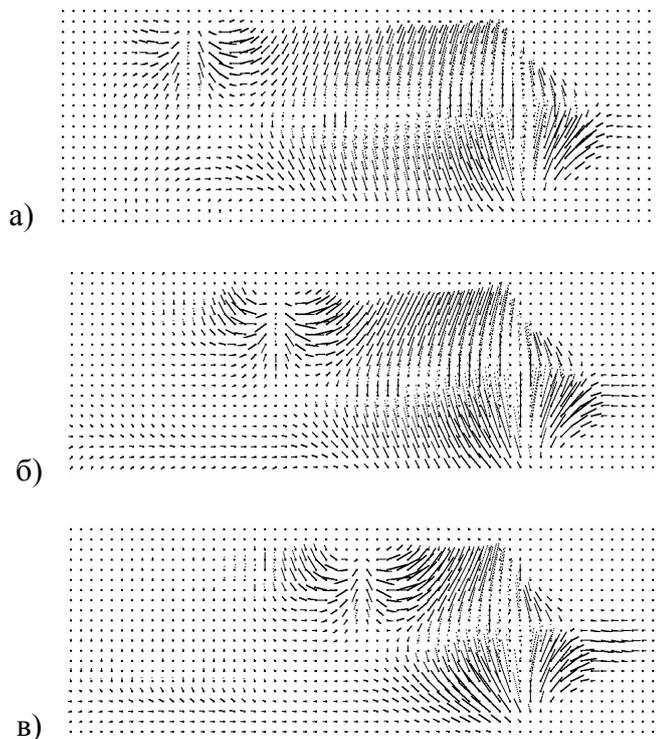


Рис. 5. Векторное представление поля сдвигов фоновой структуры. Варианты а), б), в) соответствуют нагрузке в точках 1, 2, 3

A.V.Kraiski, E.M.Kudriavtsev, T.V.Mironova, T.T.Sultanov

*P.N.Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences  
119991, Moscow, Leninsky pr., 53. E-mail: [tania@itep.ru](mailto:tania@itep.ru)*

### **STUDY OF ELASTIC STRESSES IN TRANSPARENT MATERIALS BY CORRELATION METHOD**

*Visualization method is proposed for elastic stresses in transparent materials (for example plexiglas) by measuring the change of the optical density. The gradient of the optical density is measured using correlation method. Model experiment was done with different configurations of transverse static load applied to a plexiglas sample of section 5x5 mm. It is shown that the cross section of the displacement of the background picture corresponds to the stress distribution in the sample.*

**CORRELATION METHOD, OPTICAL DENSITY, ELASTIC STRESSES**