

УДК 621.658.011

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-
ОПТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ
НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

А. Н. ВАСИЛЕНКО, А. В. ХОМЧЕНКО, В. Г. ГУЗОВСКИЙ
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Одной из главных проблем производства закаленных стекол является неравномерное распределение остаточных напряжений в них, возникающих в силу технологических особенностей процесса закалки. В связи с этим представляет определенный интерес визуализация такого распределения. Поляризационно-оптический метод, основанный на регистрации обусловленной напряжениями анизотропии оптических свойств материала, позволяет получить изображение всего поля напряжений в плоскости протяженного объекта.

Поляризационно-оптический метод контроля напряжений.

Величина двулучепреломления, связанная с величиной механических напряжений, может быть измерена оптическим методом при просвечивании объекта поляризованным светом. При этом регистрируемая интенсивность света является функцией двух координат и определяется как:

$$I = I_p T (\cos^2 \chi - \sin 2\alpha \cdot \sin(2(\alpha - \chi)) \cdot \sin^2(0.5\delta)), \quad (1)$$

где $I = I(x, y)$; $I_p = I_p(x, y)$ – интенсивность света на выходе из поляризатора; $T = T(x, y)$ – коэффициент учитывающий отражение света от поверхностей стекла; $\alpha = \alpha(x, y)$ – угол между оптической осью и плоскостью поляризатора (считаем, что оптическая ось параллельна поверхности стекла); χ – угол между поляризатором и анализатором; $\delta(x, y)$ – разность фаз между обыкновенной и необыкновенной волнами.

Обрабатывая регистрируемые распределения интенсивности $I(x, y)$, можно восстановить разность фаз δ в каждой точке стекла и, учитывая ее взаимосвязь с напряжением, воспроизвести поле напряжений.

Программное обеспечение контроля механических напряжений

Рассмотрим предлагаемую процедуру. Используя цифровое фоторегистрирующее устройство полярископа регистрируется распределение интенсивности прошедшего через стекло поляризованного излучения для четырех положений системы «поляризатор – анализатор». На первом этапе измерение интенсивности осуществляется с использованием системы «поляризатор – анализатор», ориентированных под углом 90° относительно друг друга, при некотором начальном произвольном угле α между оптической осью и плоскостью поляризатора (распределение $I_{\perp}^{(1)}$). Затем си-

стему «поляризатор – анализатор» ориентируют параллельно относительно друг друга, при этом угол α не изменяется, и осуществляется измерение $I_{\parallel}^{(1)}$. Далее систему «поляризатор – анализатор», ориентируют под углом 90° относительно друг друга и поворачивают на 45° относительно первоначального положения ($\alpha_2 = \alpha + 45^\circ$), а затем измеряют распределение $I_{\perp}^{(2)}$. Поляризатор и анализатор опять ориентируют параллельно относительно друг друга, при этом угол α_2 не изменяется, и осуществляется измерение $I_{\parallel}^{(2)}$.

Полученные распределения интенсивности обрабатываются следующим образом. На первом этапе рассчитывается распределение разности фаз $\delta(x, y)$

$$\delta = 2 \left\{ \arcsin \left(\pm \sqrt{\frac{I_{\perp}^{(1)}}{I_{\perp}^{(1)} + I_{\parallel}^{(1)}} + \frac{I_{\perp}^{(2)}}{I_{\perp}^{(2)} + I_{\parallel}^{(2)}}} \right) + m\pi \right\}, \quad m \in Z.$$

Вычисляется распределение $\alpha(x, y)$

$$\alpha = 0.25 \arcsin \left\{ 2 \sqrt{\frac{I_{\perp}^{(1)} I_{\perp}^{(2)}}{(I_{\perp}^{(1)} + I_{\parallel}^{(1)})(I_{\perp}^{(2)} + I_{\parallel}^{(2)})}} \middle/ \left(\frac{I_{\perp}^{(1)}}{I_{\perp}^{(1)} + I_{\parallel}^{(1)}} + \frac{I_{\perp}^{(2)}}{I_{\perp}^{(2)} + I_{\parallel}^{(2)}} \right) \right\}.$$

Затем определяются распределения напряжений по контуру:

а) на границах параллельных оси ОХ

$$\bar{\sigma}_{X\Pi}(x, y) = 3\delta(x, y) / (kCd), \quad \bar{\sigma}_{Y\Pi}(x, y) = 0;$$

б) на границах параллельных оси ОУ

$$\bar{\sigma}_{Y\Pi}(x, y) = 3\delta(x, y) / (kCd), \quad \bar{\sigma}_{X\Pi}(x, y) = 0.$$

Рассчитываются распределения напряжений во внутренних точках.

в) вдоль линии параллельной оси ОХ

$$(\bar{\sigma}_{X\Pi})_n = -\frac{1.5}{kCd} \sum_{i=1}^n \frac{(\Delta(\delta \cdot \sin 2\alpha))_n}{\Delta y} \Delta x,$$

$$\text{где } \frac{(\Delta(\delta \cdot \sin 2\alpha))_n}{\Delta y} = \frac{(\delta \cdot \sin 2\alpha)_{n+1} - (\delta \cdot \sin 2\alpha)_{n-1}}{\Delta y}.$$

$$\bar{\sigma}_{Y\Pi}(x, y) = \bar{\sigma}_{X\Pi}(x, y) - [1.5 \cdot \delta(x, y) \sin 2\alpha(x, y) / (kCd)].$$

г) вдоль линии параллельной оси ОУ

$$(\bar{\sigma}_{Y\Pi})_n = -\frac{1.5}{kCd} \sum_{i=1}^n \frac{(\Delta(\delta \cdot \sin 2\alpha))_n}{\Delta x} \Delta y,$$

$$\text{где } \frac{(\Delta(\delta \cdot \sin 2\alpha))_n}{\Delta x} = \frac{(\delta \cdot \sin 2\alpha)_{n+1} - (\delta \cdot \sin 2\alpha)_{n-1}}{\Delta x};$$

$$\bar{\sigma}_{X\Pi}(x, y) = \bar{\sigma}_{Y\Pi}(x, y) + [1.5 \cdot \delta(x, y) \sin 2\alpha(x, y) / (kCd)].$$

На заключительном этапе определяется результирующее распределение механических напряжений

$$\bar{\sigma} = \sqrt{(\bar{\sigma}_{xII})^2 + (\bar{\sigma}_{yIII})^2}$$

Процесс обработки полученных распределений интенсивности прошедшего через стекло поляризованного излучения по изложенной методике производилось при помощи разработанного специального программного обеспечения (рис. 1).

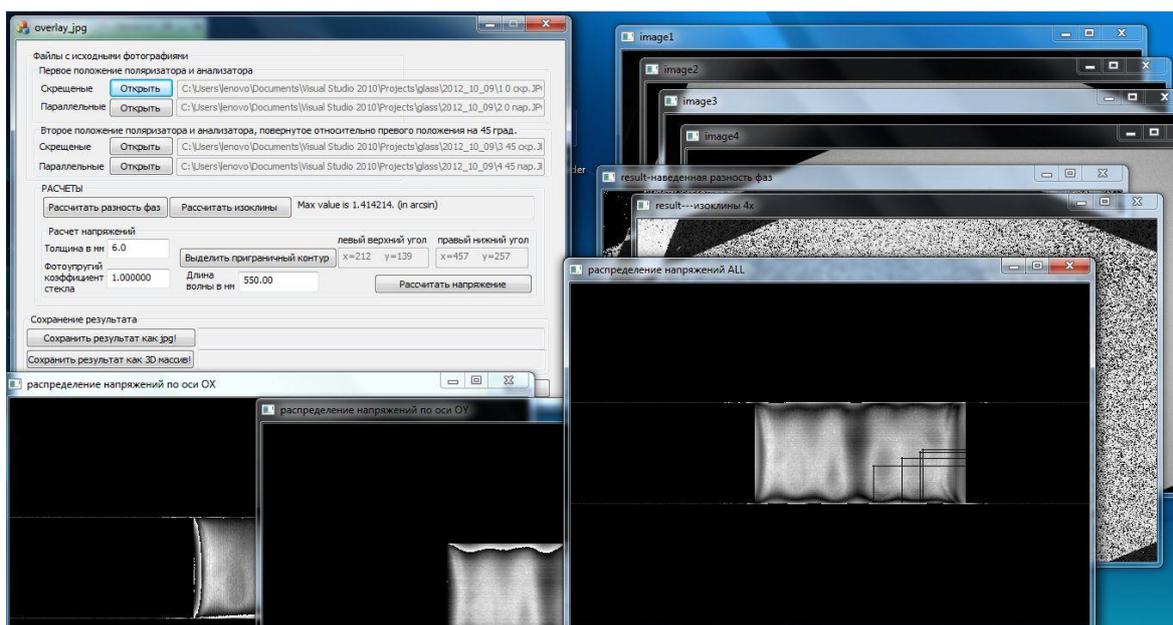


Рис. 1. Интерфейс программы для обработки распределений интенсивности, прошедшего через контролируемый объект, поляризованного излучения

На первом шаге рассчитывается разность фаз $\delta(x, y)$ (рис. 2).

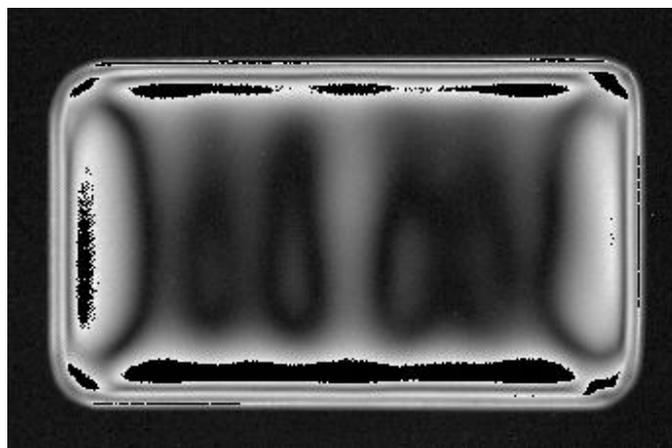


Рис. 2. Распределение разности фаз $\delta(x, y)$

Затем оценивается распределение значений угла между оптической осью и плоскостью поляризатора $\alpha(x, y)$ (рис. 3).

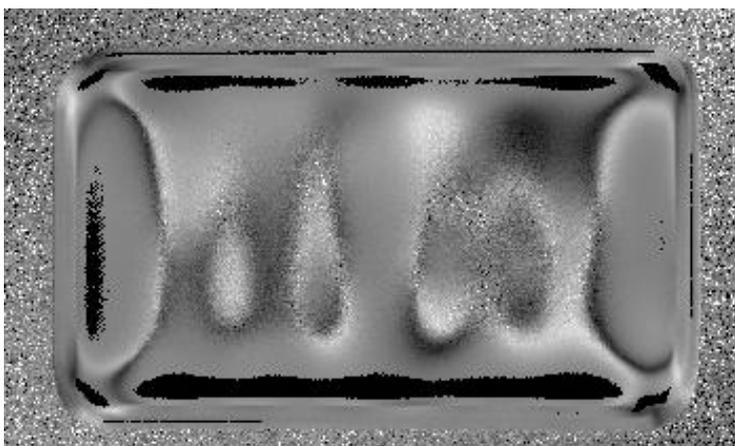


Рис. 3. Распределение значений угла между оптической осью и плоскостью поляризатора $\alpha(x, y)$

После этого рассчитывается распределение напряжений в плоскости протяженного объекта (рис. 4).

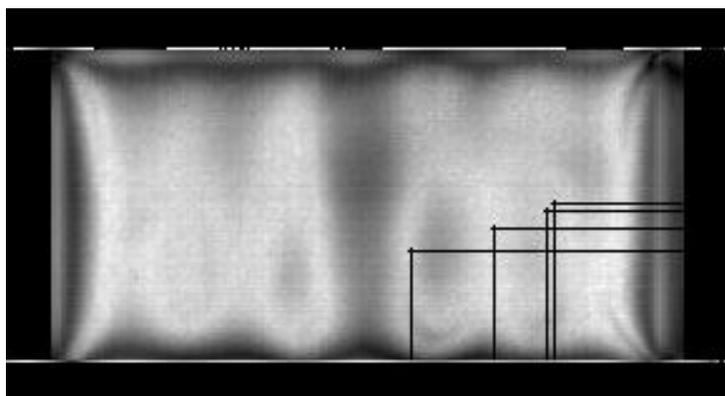


Рис. 4. Распределение механических напряжений в плоскости контролируемого объекта

Таким образом, с помощью программного пакета был реализован описанный выше способ обработки зарегистрированных распределений интенсивности прошедшего через стекло поляризованного излучения, полученных для четырех положений системы «поляризатор – анализатор». В результате обработки получено двумерное распределение разности фаз $\delta(x, y)$, значений угла между оптической осью и плоскостью поляризатора $\alpha(x, y)$, напряжений вдоль осей X и Y и результирующее распределение механических напряжений. Программный пакет позволяет получить массив абсолютных значений напряжений вдоль всей поверхности протяженного объекта.