

ФИЗИКА

УДК 535.31 + 621.658.011

*А. В. Хомченко, И. У. Примак, А. Н. Василенко*

**АНАЛИЗ ПОЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗАКАЛЕННОМ СТЕКЛЕ МЕТОДОМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ**

UDC 535.31 + 621.658.011

*A. V. Khomchenko, I. U. Primak, A. N. Vasilenko*

**ANALYSIS OF MECHANICAL STRESS FIELDS IN TEMPERED GLASS BY MEANS OF POLARIZATION INTERFEROMETRY**

**Аннотация**

Исследованы возможности и границы применения поляризационно-оптического метода анализа распределения величины двулучепреломления в закаленных стеклах большой площади. Выполнена калибровка измерительной установки с использованием стандартного метода оценки качества закаленного стекла. Продемонстрирована возможность контроля распределения величины механических напряжений вдоль поверхности закаленного стекла по результатам обработки его изображений в поляризованном свете.

**Ключевые слова:**

закаленное стекло, поляриметрия, контроль распределения двулучепреломления в плоскости стекла.

**Abstract**

The possibilities and limitations of using the polarization techniques for testing the birefringence distribution in large-area tempered glass are presented. The measuring device has been calibrated by using the standard technique for tempered glass parameter determination. The possibility of testing the distribution of mechanical stresses in tempered glass is demonstrated based on the results of the processing of their images recorded at polarized light.

**Keywords:**

tempered glass, polarimetry, control/testing of birefringence distribution in tempered glass.

**Введение**

В промышленности и строительной отрасли широко применяются изделия из стекла. Для улучшения механических свойств стеклянных изделий их поверхность обычно подвергается упрочнению. В ряде случаев упрочнение выполняется методом термической закалки. Закаленное стекло используется при изготовлении задних и боковых стекол наземного

транспорта. Механические и оптические характеристики такого стекла определяются характером и режимами его закалки. В процессе закалки стекло нагревается до температуры ~ 600 °С, а затем охлаждается воздушным потоком таким образом, что его поверхности охлаждаются более интенсивно в сравнении с внутренней частью, что и приводит к появлению механических напряжений [1, 2]. Напряжения обеспечивают прочность закаленного



стекла и обуславливают его безопасную эксплуатацию. Процессы закалки стекла известны давно и достаточно хорошо исследованы [3–8], а проблему контроля параметров закаленных стекол можно решить, учитывая тот факт, что стекло при наличии в нем механических напряжений становится анизотропным, и поляризационно-оптические методы исследования позволяют оценить величину и распределение этих напряжений [9–11]. Измерения интенсивности поляризованного света, прошедшего через исследуемый образец, в каждой его точке дают возможность оценить анизотропию стекла, и т. к. коэффициент пропускания стекла связан с главными значениями напряжений, – определить их величину. При этом следует отметить, что, измеряя распределение интенсивности света, можно анализировать и оценивать механические напряжения в отдельной точке стекла, но достаточно сложно это выполнить для протяженных анизотропных объектов. В то же время для разработки эффективной технологии закалки и современного технологического оборудования необходим анализ возникающего распределения механических напряжений вдоль всей поверхности образца.

Величина сжимающих напряжений, возникающих в модифицированном приповерхностном слое упрочняемых изделий, определяет их качество и зависит от параметров технологического процесса. Поэтому измерение механических напряжений является удобным способом контроля как качества изделий, так и технологических процессов их изготовления. Известно несколько физических методов определения напряжений, однако широкое распространение на производстве и в лабораторной практике получил поляризационно-оптический метод, но и он недостаточно точен и надежен. Значительная погрешность поляризационно-оптического метода обусловлена, во-первых, тем, что небольшие изменения растягивающих напряжений в центре закаленной стеклянной пластины

вызывают существенные изменения сжимающих напряжений, концентрирующихся в сравнительно тонком поверхностном слое [2, 4]. Во-вторых, отношение растягивающих и сжимающих напряжений непостоянно, а зависит от степени закалки и режимов упрочнения. Поэтому для получения надежных результатов сжимающие напряжения должны измеряться непосредственно на поверхности стекла. Очевидно также, что поляризационно-оптический метод годится для локального определения прочности стекла и не может быть применен к готовым, в особенности искривленным, изделиям.

Таким образом, разработка методов и средств контроля и обработки зарегистрированного распределения интенсивности света, прошедшего через закаленное стекло, является актуальной задачей.

### *Методика эксперимента*

Для контроля параметров закаленных стекол обычно применяются поляризационно-оптические методы исследования, основанные на измерении обусловленной механическими напряжениями анизотропии оптических характеристик материала и позволяющие получить представление о распределении механических напряжений в стекле. Оптическая схема используемой измерительной установки приведена на рис. 1.

В устройстве световой пучок от протяженного источника света 1, прошедший через поляризатор 2, попадает на исследуемый протяженный образец 3. Далее пучок света проходит через анализатор 4, светофильтр 5, фокусируется системой линз 6 на фотоэлектрическую матрицу 7, подключенную к компьютеру 8. Таким образом, используемая установка позволяет зарегистрировать распределение  $I(x, y)$  при определенной взаимной ориентации протяженного образца, поляризатора и анализатора. Синхронный поворот поляризатора и анализатора относительно исследуемого об-



разца на  $45^\circ$  осуществляется с помощью системы поворота 9. В устройстве линейно-поляризованный свет, проходя через исследуемое стекло 3, в котором

присутствуют механические напряжения, изменяет состояние поляризации (в стекле возникают обыкновенная и необыкновенная волны).

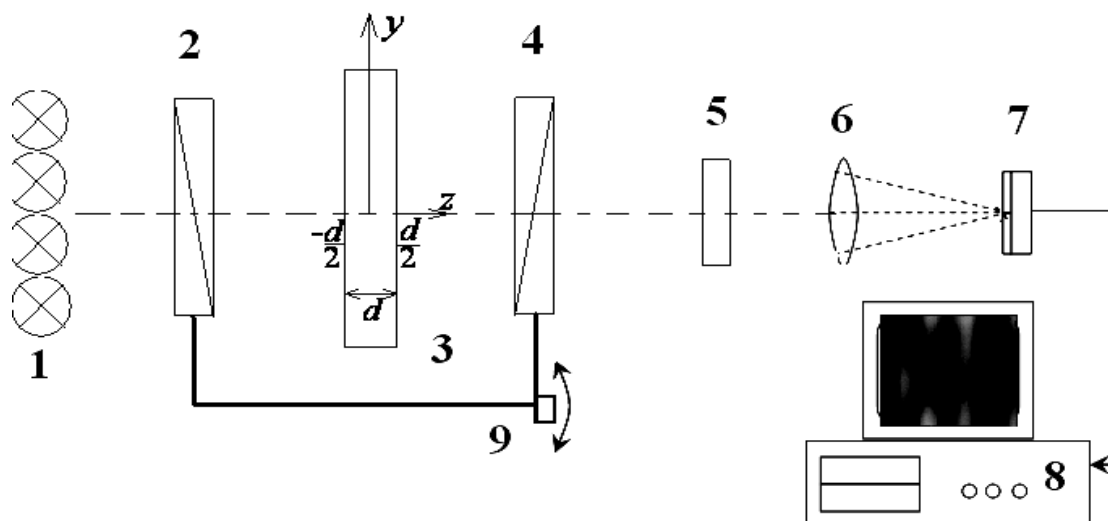


Рис. 1. Схема измерительной установки: 1 – источник света; 2 – поляризатор; 3 – контролируемое автомобильное стекло; 4 – анализатор; 5 – светофильтр; 6 – объектив; 7 – фоторегистрирующее устройство; 8 – компьютер; 9 – система поворота

После этого излучение, проходя через анализатор 4, скрещенный с поляризатором 2 (под углом  $90^\circ$ ), попадает в фоторегистрирующее устройство 7. Использование современной цифровой техники в качестве фоторегистрирующего устройства позволяет получать изображение, иллюстрирующее распределение напряжений вдоль поверхности стекла. При этом регистрируемая интенсивность света (рис. 2) является функцией двух координат и определяется как [10]

$$I(x, y) = I_p T \sin^2(2\alpha) \sin^2(\delta/2), \quad (1)$$

где  $I_p$  – интенсивность света на выходе из поляризатора;  $T$  – коэффициент, учитывающий отражение света от поверхностей стекла  $z = -d/2$  и  $z = d/2$ ;  $\alpha$  – угол между оптической осью и углом поляризатора;  $\delta$  – разность фаз между обыкновенной и необыкновенной волнами (в общем случае  $\alpha(x, y)$  и  $\delta = \delta(x, y)$ ).

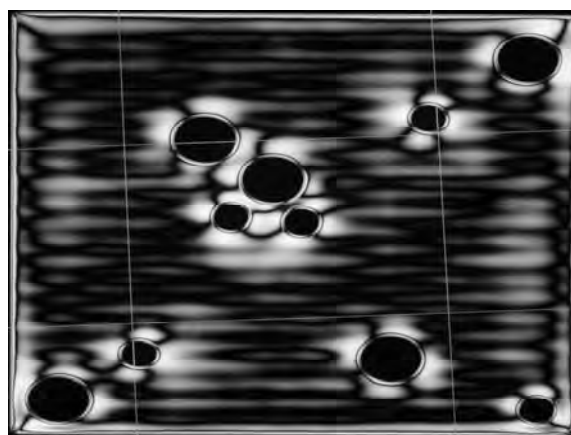


Рис. 2. Регистрируемое распределение интенсивности света, прошедшего через исследуемый неоднородный анизотропный объект



Обрабатывая регистрируемые распределения интенсивности  $I(x, y)$ , можно восстановить  $\delta(x, y)$  в каждой отдельно взятой точке стекла и, учитывая взаимосвязь фазы волны с механическими напряжениями, оценить их величину. Однако применение поляризационных методов ограничивается тем, что наблюдаемые распределения интенсивности включают в себя систему темных линий, так называемых изоклин, которые определяются распределением  $\alpha = \alpha(x, y)$  в стекле и искажают восстанавливаемую картину напряжений. Анализ результатов исследования распределения интенсивности света, прошедшего через исследуемый анизотропный образец, свидетельствует о том, что изоклины существенно искажают регистрируемую картину и не позволяют адекватно восстановить распределение напряжений. Данную проблему можно решить для рассматриваемой точки исследуемого стекла, устанавливая  $\alpha = 45^\circ$  (в этом случае

$I = I_0 |T|^2 \sin^2(\delta/2)$ ), но в протяженном стекле, где направление главных напряжений в каждой точке различно, это невозможно выполнить для всего поля напряжений. Известные способы позволяют избавиться от изоклин только в отдельных точках либо небольших областях восстанавливаемой картины [10] путем использования двух четвертьволновых пластинок, которые размещают с обеих сторон стекла. Изоклины исчезают, если оси четвертьволновых пластинок наклонены под углом  $45^\circ$  к плоскости поляризатора и анализатора. В то же время использование специальных компенсаторов существенно усложняет контроль напряжений в изделиях больших размеров.

### **Визуализация распределения величины двулучепреломления в плоскости закаленных стекол**

В приведенной на рис. 1 принципиальной схеме устройства линейно-поляризованный свет, пройдя через ис-

следуемое стекло, в котором присутствуют механические напряжения, меняет состояние поляризации, проходит через анализатор и попадает в фоторегистрирующее устройство. При этом регистрируемая интенсивность света (см. рис. 2) является функцией двух координат и определяется как [10]

$$I(x, y) = I_p T (\cos^2 \chi - \sin(2\alpha) \times \sin(2(\alpha - \chi)) \sin^2(\delta/2)), \quad (2)$$

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

Обрабатывая регистрируемые распределения интенсивности  $I(x, y)$ , можно восстановить разность фаз  $\delta$  в отдельной точке стекла или небольшой его области и, учитывая ее взаимосвязь с напряжением, определить величину напряжений. Однако это невозможно сделать для протяженных объектов, таких как, например, закаленные стекла и изделия из них.

Обычно наблюдаемое распределение интенсивности включает в себя систему темных линий, так называемых изоклин, положение которых определяется распределением  $\alpha = \alpha(x, y)$  в стекле (при  $\alpha = 0$  или  $\alpha = \pi/2$  интенсивность света в данной точке образца может быть равной нулю, даже если напряжения отличны от нуля).

В рамках отработки процедур визуализации и диагностики напряжений в протяженном объекте исследованы специально изготовленные закаленные стекла. При этом использован алгоритм фильтрации изоклин, искажающих картину восстанавливаемых напряжений, который основан на регистрации двух картин распределений интенсивности



света, прошедшего через исследуемое стекло и систему «поляризатор – анализатор», скрещенных под углом  $90^\circ$ . Дальнейшая обработка сводится к сложению в каждой точке поверхности стекла соответствующих интенсивностей света для указанных двух картин. В этом случае в результирующей картине распределения интенсивности света изоклины отсутствуют.

### Оценка параметров неравномерности остаточных напряжений

В поляризационной интерферометрии неоднородных анизотропных сред при измерении распределения величины двулучепреломления в плоскости протяженного объекта, заключающемся в регистрации интенсивности монохроматического света, прошедшего через поляризатор, исследуемый протяженный образец, анализатор, скрещенный с поляризатором под углом  $90^\circ$ , как функции двух координат, исследуемое распределение интенсивности прошедшего света  $I_1$  и  $I_2$  измеряют для двух ориентаций системы «поляризатор – анализатор» относительно исследуемого образца [12]:

– для произвольной ориентации

$$I_1(x, y) = I_p T \sin^2[2\alpha(x, y)] \times \sin^2 \frac{\delta(x, y)}{2}; \quad (3)$$

– после поворота системы «анализатор – поляризатор» относительно первоначального положения на угол  $45^\circ$

$$I_2(x, y) = I_p T \cos^2[2\alpha(x, y)] \times \sin^2 \frac{\delta(x, y)}{2}, \quad (4)$$

где  $I_p$  – интенсивность света на выходе из поляризатора;  $T$  – коэффициент, учитывающий отражение света от поверхностей стекла;  $\alpha$  – угол между оптиче-

ской осью и углом поляризатора;  $\delta$  – разность фаз между обыкновенной и необыкновенной волнами.

При этом переход из начального положения, которое выбирается произвольно, во второе осуществляется путем синхронного поворота системы «поляризатор – анализатор» на  $45^\circ$ , а поляризатор и анализатор в обоих положениях остаются ориентированными под углом  $90^\circ$  относительно друг друга.

После этого вычисляемое распределение  $I(x, y) = I_1(x, y) + I_2(x, y)$  уже не зависит от значения угла  $\alpha$  в данной точке образца:

$$I(x, y) = I_1 + I_2 = I_p T \sin^2 \frac{\delta(x, y)}{2}, \quad (5)$$

где  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_p$ ,  $T$  – экспериментально измеренные величины в каждой точке протяженного образца.

Таким образом, использование предложенного подхода позволяет из распределения (5) определить значение разности фаз  $\delta(x, y)$ , а следовательно, и величину двулучепреломления  $\Delta(x, y)$  при любой ориентации образца относительно системы «поляризатор – анализатор»:

$$\Delta(x, y) = \frac{\arcsin[(I / I_p T)^{1/2}]}{\pi d} \lambda = \frac{\arcsin[((I_1 + I_2) / I_p T)^{1/2}]}{\pi d} \lambda,$$

где  $\lambda$  – длина волны излучения;  $d$  – толщина исследуемого образца.

В данном выражении величина двулучепреломления в каждой точке образца определяется через экспериментально измеренные параметры  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_p$ ,  $T$ . Учитывая взаимосвязь фазы волны с напряжениями [9], можно определить распределение механических напряжений в плоскости исследуемого неоднородного образца.





### Калибровка измерительной установки на основе статистической обработки изображения разрушенного стекла

В стандартной схеме контроль качества закаленных стекол, согласно [14], осуществляется путем разрушения стекла и анализа размера и веса полученных осколков. Такой подход не позволяет контролировать всю выпускаемую продукцию, что приводит нередко к снижению ее качества. Для установления взаимосвязи между распределением величины механических напряжений и изображением осколков разрушенного закаленного стекла необходимо произвести сравнение и статистическую обработку полученных изображений. Следует отметить, что при разрушении закаленного

стекла внутренние напряжения разрывают образец на осколки и после этого идентифицировать положение осколков в плоскости исходного изделия не представляется возможным. Данная проблема была решена путем нанесения на поверхность стекла клеящейся прозрачной пленки, которая при разрушении стекла не позволяет разлетаться осколкам и сохраняет все части в исходном положении. Для проведения статистического анализа изображений разрушенного стекла необходима их некоторая дополнительная аппаратная обработка, которая дает возможность выделить отдельные осколки стекла и их границы. Схема установки и пример полученного с ее помощью изображения разрушенного стекла представлены на рис. 3.

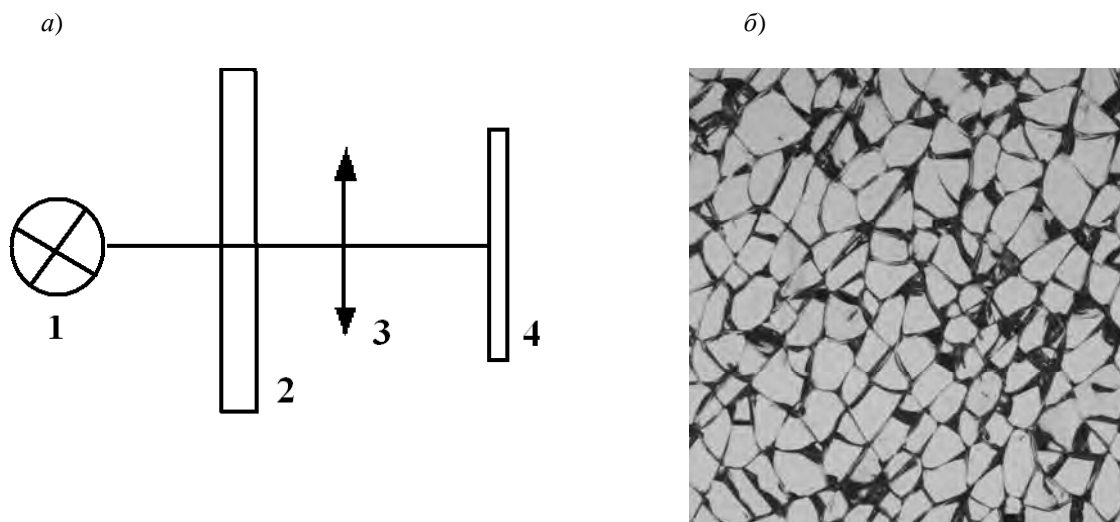


Рис. 3. Принципиальная оптическая схема установки (а) и полученное с ее помощью изображение разрушенного стекла (б): 1 – источник света; 2 – образец разрушенного листового стекла; 3 – линза; 4 – матрица фотоприемников

Рассмотрим задачу определения числа осколков на основе обработки изображения разбитого стекла. Процедура построения бинарного изображения границ объектов обычно складывается из двух последовательных операций: выделения контуров и их пороговой обработки. В результате данной операции формируется изображение, функция яркости которого существенно отличается

от нуля только в областях резких изменений яркости изображения. Пороговой обработкой из этого изображения формируется контурный объект. Выбор порогового значения яркости изображения должен производиться исходя из следующих соображений: при слишком высоком пороге могут появиться разрывы контуров, а слабые перепады яркости не будут обнаружены, а при низком контрасте из-за



шумов и неоднородности областей могут появиться ложные контуры.

На начальном этапе нахождение границ осколков осуществлялось посредством определения фиксированного значения яркости изображения, близкого к среднему арифметическому значению. Такой подход позволил, в принципе, достаточно хорошо находить границы при выполнении условия одинаковой освещенности исследуемой части разбитого стекла. Однако для неоднородно освещенного стекла применение данного подхода не оправдывает себя, и построенные границы осколков не совпадают с реальными, поэтому следующим этапом нахождения границ осколков можно использовать их поиск на основе градиента пространственной функции яркости.

Сегментация, которая представляет собой процесс разбиения изображения на группы с учетом подобия характеристик пикселей, основана на том, что каждый пиксель изображения может быть связан с некоторыми визуальными свойствами, такими как яркость, цвет и текстура. В пределах одной части объекта эти атрибуты изменяются относительно мало, тогда как при переходе через границу от одного объекта к другому обычно происходит существенное изменение одного из этих атрибутов, т. е. необходимо найти вариант разбиения изображения на такие множества пикселей, чтобы указанные ограничения удовлетворялись в максимально возможной степени. Таким образом, сегментация подразделяет изображение на составляющие его области или объекты. Та степень детализации, до которой доводится такое разделение, зависит от решаемой задачи, т. е. сегментацию следует прекратить, когда интересные объекты оказываются изолированными. В данном случае сегментация изображения производилась до тех пор, пока не выделятся все осколки разрушенного закаленного стекла. Сегментация изображения осуществлялась в два этапа. Первый этап по выделению границ проводился с использованием

алгоритма Канни [15], который состоял из пяти отдельных шагов: сглаживание или фактически размытие изображения для удаления шума; поиск градиентов, в ходе которого границы отмечаются там, где градиент изображения приобретает максимальное значение; проведение пороговой фильтрации, при которой вероятные границы определяются порогами; трассировка области неоднозначности, когда границы определяются путём подавления всех краёв, не связанных с выделенными границами. Операция сглаживания или размытия изображения для удаления шума осуществлялась с помощью функции Гаусса (фильтр Гаусса). Для нахождения максимума градиента изображения использовался алгоритм Собеля, который часто применяют в алгоритмах выделения границ и по своей сути представляет собой дискретный дифференциальный оператор, вычисляющий приближенное значение градиента яркости изображения. Результатом применения оператора Собеля в каждой точке изображения является нахождение вектора градиента яркости в этой точке либо его нормированного значения.

В результате применения алгоритма Канни к обработке изображения разбитого стекла (см. рис. 3, б) получалось изображение границ, соответствующих наибольшему значению градиента яркости (рис. 4).

Так как границы из-за несовершенного первоначального изображения (недостаточное и неравномерное освещение, блики и т. д.) имеют в некоторых местах разрывы, то возникла дополнительная задача замкнуть контуры осколков разрушенного стекла, полученных на предыдущем этапе. Эта задача частично может быть решена при применении последовательных морфологических преобразований изображения, таких как дилатация и эрозия [16]. Результат показан на рис. 5. В процессе последовательного применения данных операций происходит сглаживание острых краев. Следует



отметить, что в зависимости от размера структурного элемента этих преобразований возможно замыкание больших разрывов контуров осколков и сглаживание острых краев, что может привести

к значительной потере площади анализируемых осколков. При этом также возможна «потеря» изображений более мелких осколков.

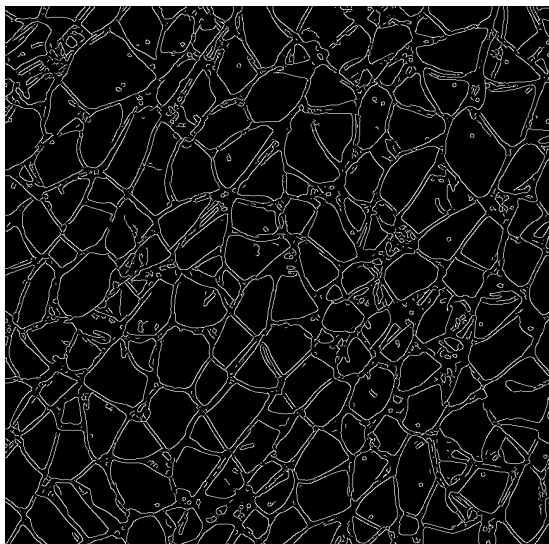


Рис. 4. Результат нахождения границ осколков

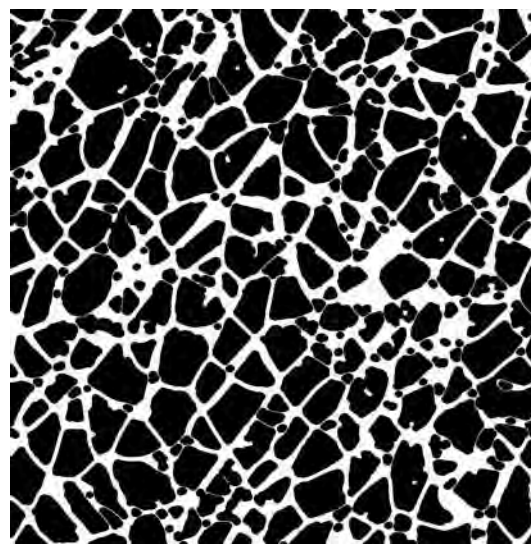


Рис. 5. Результат применения морфологической обработки

После выполненной комплексной обработки изображения статистический анализ распределения осколков разрушенного стекла не вызывает затруднений, притом каждый осколок стекла на полученном изображении вписывается в прямоугольник с минимальной остаточной площадью и производится подсчет осколков, их площади и размеров. В результате проведенных исследований разработан алгоритм и создан программный продукт для статистической обработки изображения разрушенного закаленного стекла, позволяющий производить подсчет числа и размера осколков, анализировать наличие осколков, размеры которых превышают заданные значения. На рис. 6 приведены распределение интенсивности  $I(x, y)$  света, полученное методом поляризационной интерферометрии, и наложенная на него картина разрушенного исследуемого стекла.

При этом в области больших значений напряжений, следовательно, и ве-

личины  $\Delta(x, y)$  регистрируются более мелкие осколки разрушенного стекла, а результаты обработки распределения интенсивности поляризованного света, прошедшего через исследуемый образец, удовлетворительно коррелировали с данными статистического анализа изображения разрушенного образца.

### Заключение

Анализируя представленные данные, можно сделать вывод, что предложенный подход дает возможность оценивать величину механических напряжений, возникающих в приповерхностном слое закаленного стекла, а разработанный алгоритм лег в основу программного продукта, позволяющего производить статистическую обработку изображений разрушенного закаленного стекла и обеспечить калибровку установки поляризационной интерферометрии неоднородных анизотропных сред и





изделий из них, а следовательно, и корректную оценку величины механических напряжений при устранении обуслов-

ленных влиянием изоклин искажений в регистрируемом распределении двулучепреломления.

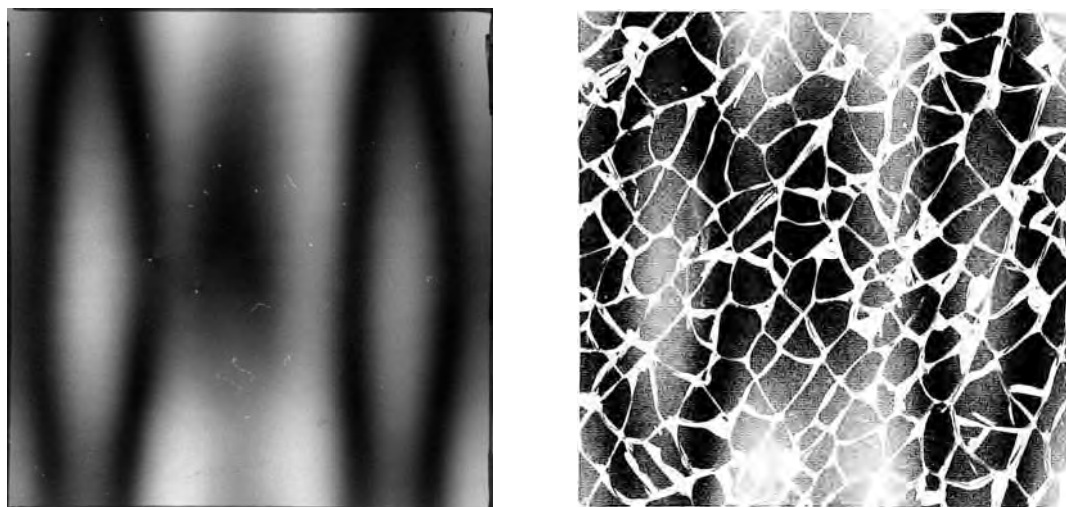


Рис. 6. Распределение интенсивности света в неоднородном закаленном стекле и наложенное на него изображение осколков разрушенного исследуемого стекла

Таким образом, измеряя распределение интенсивности света, можно анализировать и оценивать распределение

закалочных и остаточных механических напряжений в плоскости протяженных объектов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шутов, А. М.** Проблемы закалки тонкого стекла и их решение / А. М. Шутов // *Стекло и керамика*. – 1992. – № 4. – С. 8–9.
2. **Шабанов, А. Г.** Методика прогнозирования стекла при закалке / А. Г. Шабанов, А. И. Шутов, В. П. Марков // *Стекло и керамика*. – 1992. – № 5. – С. 10–11.
3. Исследование особенностей процесса производства закаленных стекол для наземного транспорта / В. М. Кульбенков [и др.] // *Вестн. Белорус.-Рос. ун-та*. – 2012. – № 1. – С. 136–146.
4. **Brodland, G. W.** Curved-ray technique to measure the stress profile in tempered glass / G. W. Brodland, A. T. Dolovich // *Opt. Eng.* – 2000. – Vol. 39, № 9. – P. 2501–2505.
5. **Хомченко, А. В.** Измерение распределения разности фаз при линейном двулучепреломлении в твердых телах с внутренними напряжениями / А. В. Хомченко, И. У. Примак, А. Н. Василенко // *Изв. ГГУ им. Ф. Скорины. Сер. Естественные науки*. – 2016. – № 3 (96). – С. 124–131.
6. Модуляционная поляриметрия термоупругости, индуцированной тепловым излучением в стекле / И. Е. Матяш [и др.] // *ФТТ*. – 2014. – Т. 56, № 7. – С. 1439–1445.
7. Gradient scattered light method for non-destructive stress profile determination in chemically strengthened glass / S. Hodemann [at al.] // *J Mater Sci*. – 2016. – Vol. 51. – P. 5962–5978.
8. A new method for tempering stress measurement in glass panels / H. Aben [at al.] // *Estonian J. of Engineering*. – 2013. – Vol. 19, № 4. – P. 292–297.
9. **Миндлин, Р.** Изучение напряжений методом фотоупругости / Р. Миндлин // *УФН*. – 1940. – Т. 23, № 1. – С. 16–66.
10. Оптические свойства кристаллов / А. Ф. Константинова [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1995. – С. 88–94.
11. **Абен, Х. К.** Интегральная фотоупругость / Х. К. Абен. – Таллин : Валгус, 1975. – С. 95–112.



12. **Хомченко, А. В.** Поляризационная интерферометрия напряженных состояний в стекле / А. В. Хомченко // Весн. Магілёўскага дзярж. ун-та імя А. А. Куляшова. Сер. В. – 2018. – № 1. – С. 66–73.
13. **Най, Дж.** Физические свойства кристаллов и их описание при помощи тензоров и матриц / Дж. Най. – Москва : Мир, 1967. – 386 с.
14. **ГОСТ 32565–2013.** Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 30 с.
15. **Canny, J.** A Computational Approach to Edge Detection / J. Canny // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 1986. – Vol. Pami-8, № 6. – P. 679–698.
16. **Гонсалсс, Р.** Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалсс, Р. Вудс. – Москва : Техносфера, 2005. – 1072 с.

*Статья сдана в редакцию 20 декабря 2018 года*

**Александр Васильевич Хомченко**, д-р физ.-мат. наук, доц., Белорусско-Российский университет.  
**Игорь Ульянович Примак**, канд. физ.-мат. наук, доц., Белорусско-Российский университет.  
**Андрей Николаевич Василенко**, ассистент, Белорусско-Российский университет.

**Alexander Vasilyevich Khomchenko**, DSc (Physics and Mathematics), Associate Prof., Belarusian-Russian University.

**Igor Ulyanovich Primak**, PhD (Physics and Mathematics), Belarusian-Russian University.

**Andrey Nikolayevich Vasilenko**, assistant lecturer, Belarusian-Russian University.

