

УДК 535.5 + 621.658.011 : 620.1

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТОНКОСТЕННЫХ СТЕКЛЯННЫХ КОНТЕЙНЕРАХ

И. М. КУХАРЕНКО, И. С. САВИЦКИЙ, И. У. ПРИМАК, А. В. ХОМЧЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

UDC 535.5 + 621.658.011 : 620.1

PHOTOELASTIC MECHANICAL STRESS MEASUREMENT IN THIN-WALLED GLASS CONTAINERS

I. M. KUHARENKO, I. S. SAVITSKY, I. U. PRIMAK, A. V. KHOMCHENKO

Аннотация. Описан способ измерения механических напряжений в тонкостенных стеклянных контейнерах малого размера. Продемонстрирована возможность измерения распределения двулучепреломления в стеклянных контейнерах методами поляризационной интерферометрии и интегральной оптической поляриметрии. Исследованы возможности и границы применения метода при анализе распределения величины механических напряжений в таких объектах, используемых в качестве терморазрывных чувствительных элементов системы пожаротушения. Установлена зависимость распределения разности фаз, полученная в результате обработки распределений интенсивности поляризованного излучения, прошедшего через исследуемый объект, от величины нагрузки на термочувствительный элемент, что позволяет оценивать в нем механические напряжения.

Ключевые слова: закаленное стекло, поляриметрия, поляризационная интерферометрия, интегральная оптическая поляриметрия, метод измерения, остаточные напряжения, распределение двулучепреломления.

Abstract. The technique for testing of mechanical stress in in small thin-walled glass containers is presented. It is shown possibility of the testing of birefringence distribution in containers by polarization interferometry and modified integrated photoelasticity technique. The possibilities and application borders of the technique at analysis of the mechanical stress distribution in such object, used as the detector elements in the stewing fire system, are studied. The birefringence distribution as result of the processing of their images, recorded at polarized light, is obtained. The obtained dependency of the birefringence distribution on the load value on the thermosensitive element allows to determine the mechanical stress, is received.

Keywords: tempered glass, polarimetry, polarization interferometry, photoelastic stress measurement, measurement technique, residual stress, birefringence distribution.

Остаточные напряжения являются одной из важнейших характеристик изделий из стекла с точки зрения их прочности. В течение десятилетий методы оптической поляриметрии были наиболее широко используемыми методами контроля качества в стекольной промышленности. Напряжения в стеклянных изделиях осесимметричной формы в большинстве случаев определяют таким образом. Однако некоторые изделия имеют несимметричную форму. Определение трехмерных полей напряжений в целом в этих изделиях требует применения сложных методов, которые в тонкостенных объектах обычно малоэффективны. Известно применение интегральной оптической поляримет-

рии для определения напряжений в несимметричных контейнерах, но такой подход не обеспечивает высокой точности при контроле трехмерных объектов малых размеров. Более того, методы оптической поляриметрии нельзя применять для измерения малых значений механических напряжений. В работе приведены результаты исследований по разработке и созданию установки поляризационной интерферометрии для измерения напряжений в таких объектах, используемых в качестве терморазрывных чувствительных элементах системы пожаротушения.

Для исследования распределения технологических механических напряжений в объеме таких малых трехмерных объектов создана установка, представленная на рис. 1. Использование цифрового фоторегистрирующего устройства и разработанного программного продукта для дискретного сканирования изображения в выбранном сечении объекта позволяют получать распределение напряжений в объеме контролируемого объекта (рис. 2).



Рис. 1. Установка для контроля распределения напряжений в тонкостенных стеклянных контейнерах

a)



б)

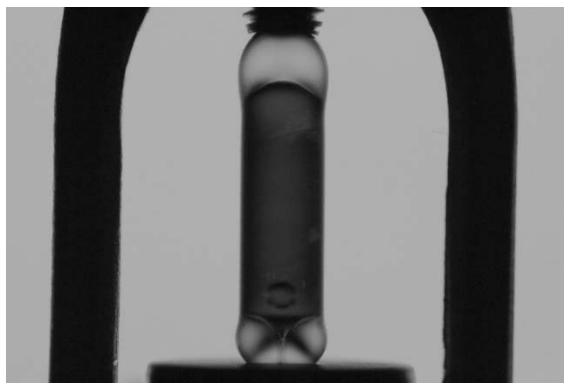


Рис. 2. Изображение (*a*) и иллюстрация распределения напряжений в колбе терморазрывного чувствительного элемента (*б*)

Принципиальная схема установки, реализующей данный метод измерения разности фаз анизотропных материалов, представлена на рис. 3. В качестве источника света использован ЖК-монитор с люминесцентной подсветкой 1, свет от которого, пройдя через поляризатор 2, становится поляризованным. Линейно-поляризованный свет, проходя через исследуемый контейнер 3, в котором присутствуют механические напряжения, изменяет свое состояние поляризации (в стекле возникают обыкновенная и необыкновенная волны). После этого излучение, проходя через анализатор 4, скрещенный с поляризатором 2 (под углом 90°), попадает в фоторегистрирующее устройство 7. При этом регистрируемая интенсивность света (см. рис. 2, б) является функцией координат и величины механических напряжений в отдельной точке исследуемого объекта.

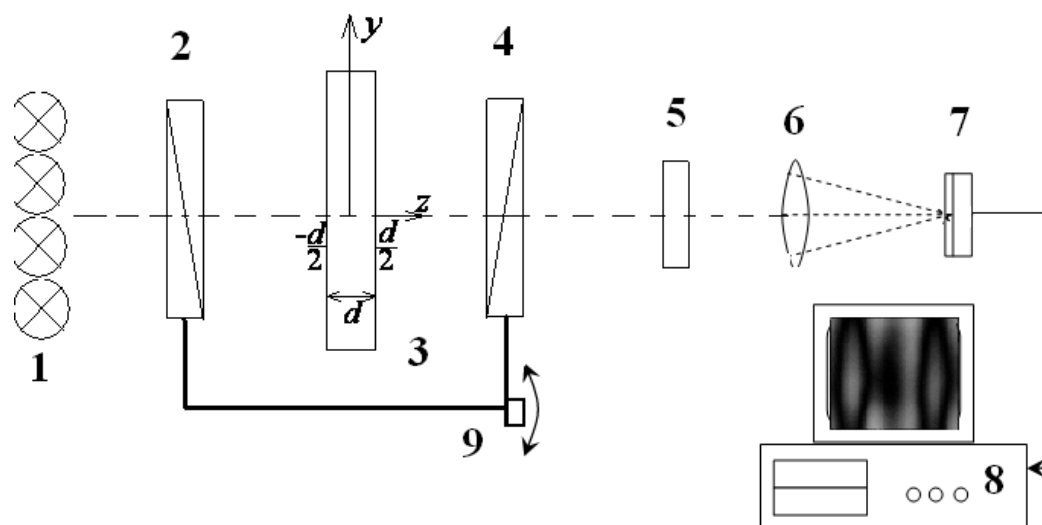


Рис. 3. Схема измерительной установки: 1 – источник света; 2 – поляризатор; 3 – контролируемое автомобильное стекло; 4 – анализатор; 5 – светофильтр; 6 – объектив; 7 – фоторегистрирующее устройство; 8 – компьютер; 9 – система поворота

Исследованы возможности метода для определения малых значений механических напряжений в цилиндрических контейнерах диаметром 3 мм, основанного на регистрации и обработке изображений контролируемого объекта в поляризованном свете. Поляризационно-оптические измерения возникающего двулучепреломления позволяют оценить величину и распределение этих напряжений. Программное обеспечение позволяет проводить анализ изображений исследуемого объекта в поляризованном свете и определять в соответствии с предложенным алгоритмом величину механических напряжений и их распределение в поперечном сечении образца. При наличии напряжений коэффициент пропускания в каждой отдельной точке образца связан с величиной механических напряжений, поэтому, измеряя распределение интенсивности света, можно анализировать (рис. 4) и оценивать величину механических напряжений.

Установка обеспечивает контроль распределения и оценку величины остаточных механических напряжений в терморазрывном чувствительном элементе системы пожаротушения.

Величина механических напряжений оценена также независимым методом с использованием динамометрического ключа с предустановкой крутящего момента, погрешность установки – 6 % (рис. 5).

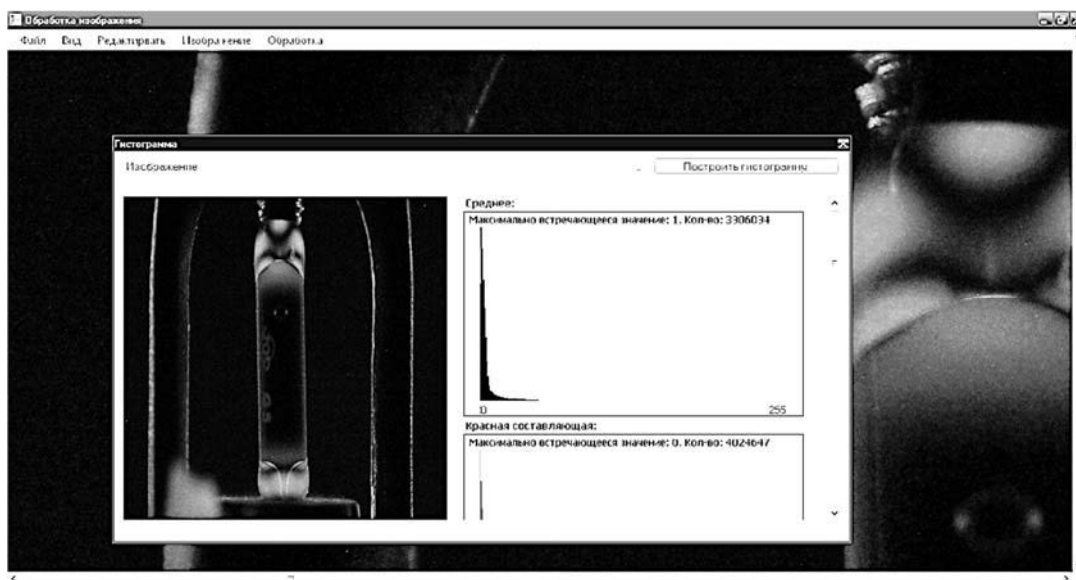


Рис. 4. Анализ поляризационных интерферогамм

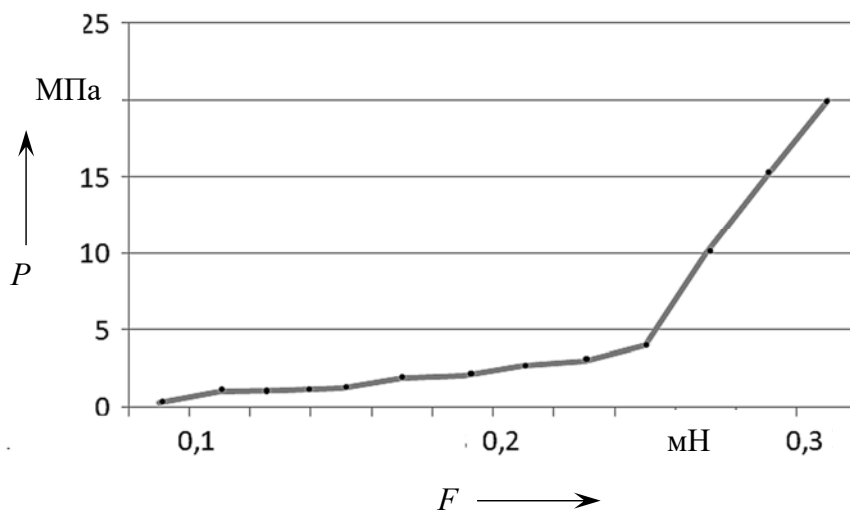


Рис. 5. Зависимость механических напряжений в колбе от приложенной нагрузки

Таким образом, показана возможность определения малых значений механических напряжений в цилиндрических стеклянных контейнерах диаметром 3 мм, наименьшее значение регистрируемых напряжений – 0,1 МПа.

E-mail: avkh@bru.by.