

УДК 535.31 + 621.658.011
ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ ЗАКАЛЕННЫХ СТЕКОЛ
ВОЛНОВОДНЫМ И ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДАМИ

Е. А. ГОЛОД, А. В. ЗАЙЦЕВ

Научный руководитель А. В. ХОМЧЕНКО, д-р физ.-мат. наук, доц.
БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Остаточные напряжения обуславливают механическую прочность закаленного стекла и обеспечивают безопасную его эксплуатацию в автомобильной промышленности. Для контроля напряжений традиционно применяются сложные программно-аппаратные комплексы, которые на сегодняшний день не выпускаются отечественной промышленностью.

В то же время стекло при наличии в нем механических напряжений становится анизотропным, и поляризационно-оптические методы исследования возникающего двулучепреломления позволяют оценить величину и распределение таких напряжений. Однако его применение ограничивается тем, что наблюдаемые распределения интенсивности включает в себя систему темных линий, так называемых изоклин, которые искажают восстанавливаемую картину напряжений. Для прямого измерения приповерхностных напряжений можно использовать волноводные методы, тем более, что в используемых «флоат-стеклах», получаемых в процессе термомолирования над расплавом олова, формируется приповерхностный волноводный слой с отличной от остального стекла показателем преломления. Принципиальная схема установки, используемая при исследовании оптической анизотропии представлена на рис. 1.

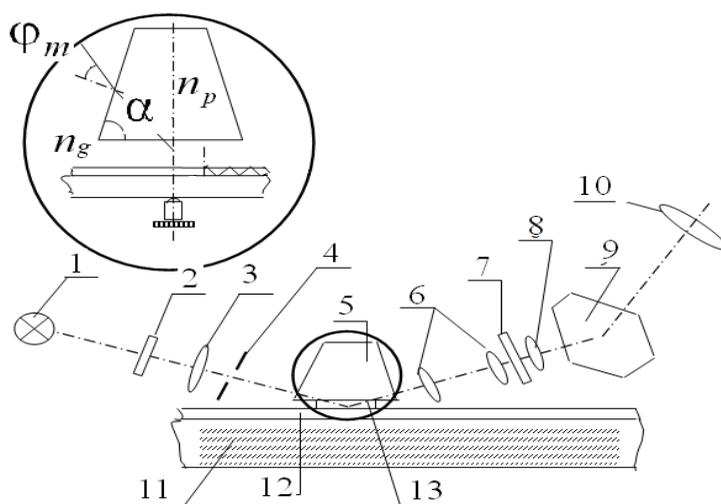


Рис. 1. Оптическая схема установки для оценки величины механических напряжений волноводным методом

Излучение лазера 1 фокусируется линзой 3 на нижней грани измерительной призмы 5. Состояние поляризации света задается поворотом поляроида 2. Размеры и угол схождения сфокусированного светового пятна на призме задаются величиной фокусного расстояния линзы 3 и ограничиваются диафрагмой 4. При измерениях призма 5 приводится в оптический контакт с поверхностным слоем 12 исследуемого изделия 13. Отраженный от границы раздела призма-стекло свет проходит через коллиматор 6, узкополосный светофильтр 7 и попадает в телескопическую систему, состоящую из длиннофокусного объектива 8 и измерительного окуляра 10, с помощью которого проводятся необходимые измерения.

Известно, что приповерхностная область плоских термически закаленных стекол находится в сжатом состоянии, а центральная область – в растянутом. Если размеры образца значительно больше его толщины, то реализуется плосконапряженное состояние. Следовательно, по закону фотоупругости первоначально изотропная стеклянная пластина после закалки станет оптически анизотропной. В соответствии с принципом Пьера Кюри поверхностный слой в первом приближении можно рассматривать как положительный кристалл с оптической осью, направленной перпендикулярно поверхности образца. В данной работе использовались волны ТЕ и ТМ поляризации. Волны ТЕ-поляризации будут соответствовать обыкновенным лучам, а волны ТМ-поляризации необыкновенным. Величина наведенной анизотропии будет равна разности показателей преломления $\Delta n = n_0^{TM} - n_0^{TE}$ материала световедущего слоя на поверхности градиентного слоя. Методы, разработанные в интегральной оптике, позволяют по измеренному спектру мод с высокой точностью определить показатель преломления n_0 и толщину d плоского однородного волноводного слоя, или параметры градиентных слоев. Эти параметры рассчитываются из дисперсионных уравнений. Вид дисперсионного уравнения зависит от закона распределения показателя преломления по глубине волноводного слоя. Известно, что измерение индуцированного напряжениями двулучепреломления на поверхности стекла при определенных условиях может быть сведено непосредственно к измерению разности волноводных ПП любых из мод одинакового номера на ТЕ- и ТМ – поляризациях света, т.е. практически $\Delta n = \Delta n_m$. Расчеты по дисперсионным уравнениям могут привлекаться только при необходимости оценки толщины флюид-слоя. Величина наведенной анизотропии будет равна разности показателей преломления $\Delta n = n_m^{TM} - n_m^{TE}$, а n_m^{TM} и n_m^{TE} рассчитываются по формуле

$$n_m = n_p \sin \left[\alpha + \arcsin \left(\frac{n_g}{n_p} \sin \varphi_m \right) \right],$$

где n_m – это n_m^{TM} или n_m^{TE} ; n_p – показатель преломления призмы; n_g – показатель преломления среды (на время измерения воздух); α – угол призмы со стороны вхождения падающего излучения; φ_m – угол возбуждения волноводной моды.

Экспериментальные результаты измерений оптической анизотропии в стекле толщиной 5 мм волноводным и поляризационно-оптическим методами представлены на рис. 2. Значения Δn , представленные точками, положение которых задано на рисунке 3, получены волноводным методом, непрерывная кривая – данные поляризационно-оптических измерений.

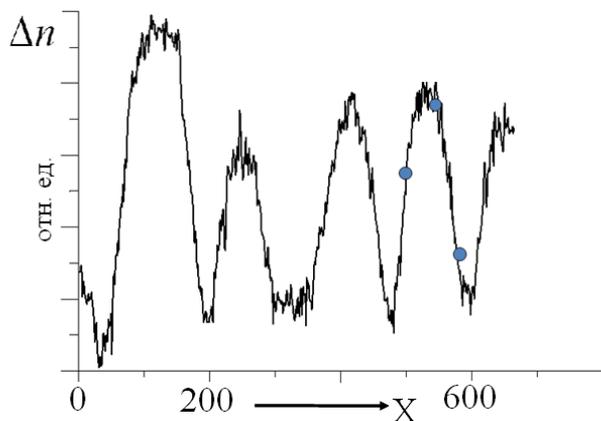


Рис. 2. Распределение величины анизотропии в стекле вдоль оси X

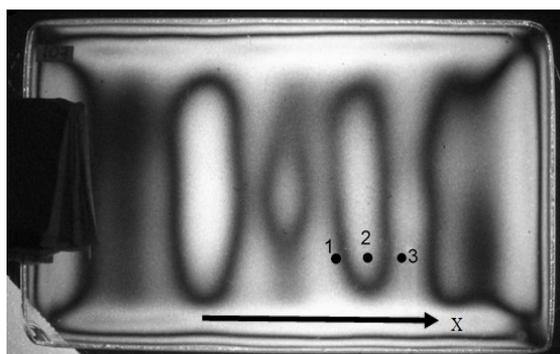


Рис. 3. Визуализация распределения напряжений в стекле, полученное поляризационно-оптическим методом

Таким образом, анализируя представленные данные можно сделать вывод, что предложенный подход позволяет оценивать величину механических напряжений, возникающих в приповерхностном слое закаленного стекла, и обеспечить калибровку поляризационно-оптической установки для контроля неоднородности распределения механических напряжений, а следовательно корректную оценку величины напряжений при устранении обусловленных влиянием изоклин искажений в регистрируемой картине.