

47. Использование голограммных поляризаторов для определения дефектов стекла шлирен методом

Н. К. Павлычева, Н. А. Петрановский, В. Л. Газизова, А. И. Ганиева

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева —
КАИ, Казань, Россия

В докладе описана установка, позволяющая исследовать дефекты стекла шлирен методом. Установка содержит осветитель, ирисовую диафрагму, вогнутое сферическое зеркало диаметром 250 мм и радиусом кривизны 1250 мм. Исследуемый образец стекла устанавливается перед сферическим зеркалом. Его изображение регистрируется видеокамерой и передается в ноутбук. Для расширения возможностей шлирен метода в установку включены голограммные поляризаторы, что позволило определять в стекле не только наличие свилей, но и обнаруживать остаточные внутренние напряжения.

Ключевые слова: Голограммные поляризаторы, Дефекты стекла, Теневой шлирен метод.

Цитирование: Павлычева, Н. К. Использование голограммных поляризаторов для определения дефектов стекла шлирен методом / Н. К. Павлычева, Н. А. Петрановский, В. Л. Газизова, А. И. Ганиева // HOLOEXPO 2019 : XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — С. 248–252.

Введение

Теневые приборы применяются для исследования неоднородности в прозрачных средах. При исследовании прозрачных и слабо окрашенных стекол используют теневой шлирен метод [1]. Этот метод позволяет либо рассматривать на экране, либо регистрировать изображение стекла в виде контрастных теневых картин (полос, закалочных пятен), показывающих колебания оптической плотности света при прохождении его через толщину стекла. Отклонение лучей света может быть вызвано изменением показателя преломления света (химическая свиль) или изменением толщины стекла (термическая свиль или свиль, вызванная деформацией слоистой структуры стекла). При наличии в исследуемом образце стекла двойного лучепреломления появляются искривления и изменение окрашенности в изображении полос, вызванные различными видами свилей. Кроме того, двойное лучепреломление в стекле характеризует остаточные внутренние напряжения (натяжения), появляющиеся при остывании стекла. Остаточные напряжения влияют на механическую прочность стекла, а так как листовое стекло используется в строительстве зданий, то определение напряжений в стекле актуально. Использование поляризаторов расширяет возможности теневых приборов, т. к. позволяет обнаружить не только неоднородности в стекле (свили), но и остаточные внутренние напряжения [2]. Голограммные дифракционные решетки — поляризаторы (назовем их для краткости голограммными поляризаторами) являются высокоэффективными линейными поляризаторами для широкого диапазона длин волн (от средней ИК-диапазона спектра до

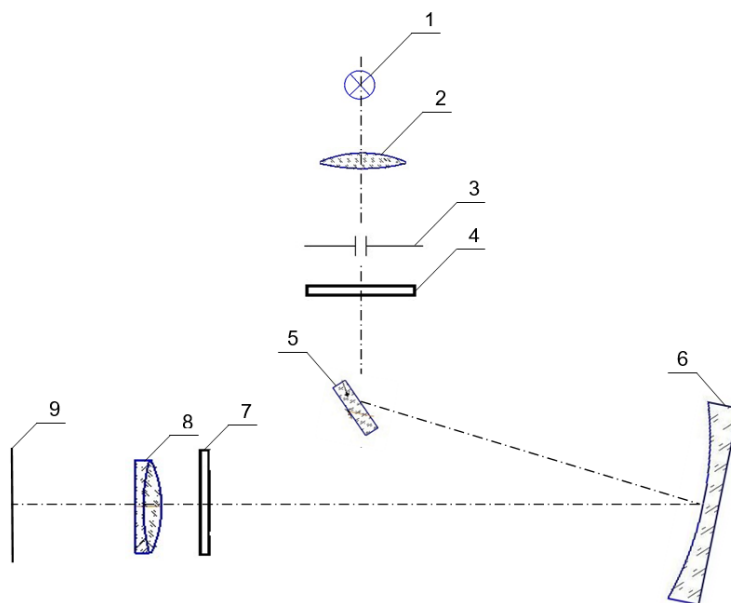


Рис. 1. Оптическая схема установки для исследования дефектов стекла

радиоволн) и обладают высокими физическими и эксплуатационными характеристиками [3]. Их поляризующая способность достигает 99 % и выше, а коэффициент пропускания до 0,9 от пропускания подложки, на которой они изготовлены. При работе в приборах они, в отличие от других поляризаторов, нечувствительны к углу падения излучения и могут успешно работать в сходящихся и расходящихся потоках излучения. Они имеют сравнительно малый вес и малую толщину. Их используют в видимой области спектра в офтальмологических приборах и поляризационных микроскопах. Голограммный поляризатор можно рассматривать как анизотропно проводящую плоскость, проводимость которой в направлении, параллельном проводникам, почти не отличается от проводимости сплошной металлической поверхности, а в направлении, перпендикулярном проводникам, она равна нулю. Электромагнитная волна, падающая на решётку, стремится возбудить в ней ток, направление которого совпадает с направлением электрического вектора падающей волны. Поэтому для волн с колебанием электрического вектора, параллельным проводникам, она ведёт себя, как проводник, т. е. отражает упавшее на неё излучение, а для волн с колебанием электрического вектора, перпендикулярным проводникам, она ведёт себя как прозрачный диэлектрик.

Исследование дефектов стекла

Наиболее распространены теневые приборы, обеспечивающие установку образцов в параллельном ходе лучей. Оптическая схема классического шликерного прибора содержит источник излучения, конденсор, коллиматорный и приемный объективы. Разработанная нами установка является квази-шликерной — в ней в качестве коллиматорного и приемного объективов используется одно сферическое зеркало с радиусом кривизны 1250 мм и диаметром 250 мм, в центре кривизны которого установлена ирисовая диафрагма. Принципиальная оптическая схема установки приведена на рисунке 1. В состав установки входят источник излучения 1, конденсор 2, ирисовая диафрагма 3, поляризатор 4, плоское зеркало 5, сферическое

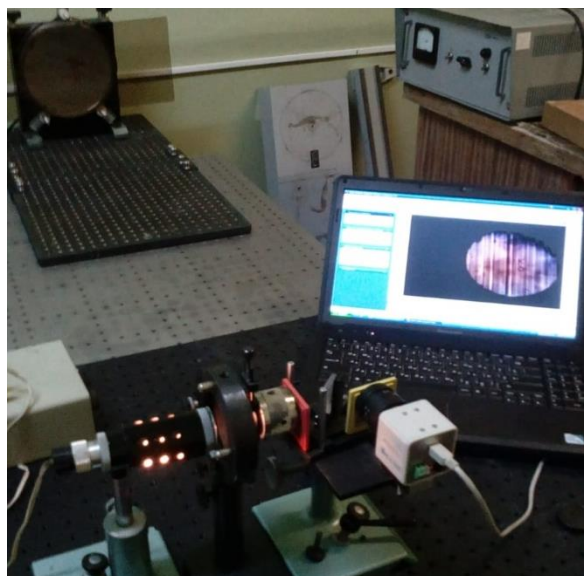


Рис. 2. Общий вид установки для исследования дефектов стекла

зеркало 6, анализатор 7, объектив видеокамеры 8, плоскость фокусировки 9. Исследуемый образец устанавливается перед сферическим зеркалом. В качестве источника излучения с конденсором использовался стандартный осветитель, входящий в комплект оптической скамьи ОСК-2.

В качестве поляризатора и анализатора использованы голограммные дифракционные решетки-поляризаторы ($\nu = 4000 \text{ мм}^{-1}$) из комплекта голограммных оптических элементов, разработанного в рамках проекта «Разработка учебно-методического лабораторного комплекса «Основы дифракционной оптики и голографии» для довузовского, вузовского и послевузовского уровней подготовки» по госконтракту № 02.740.11.0557 от 22.03.10 [3]. Представленная установка позволяет качественно оценить разность хода, которая характеризует остаточные внутренние напряжения по интерференционной окраске наблюдаемой картины, т. е. установка работает как полярископ. Если после поляризатора ввести одноволновую фазовую пластинку, а перед анализатором — четвертьволновую пластинку, появляется возможность количественной оценки по разности хода обыкновенного и необыкновенного лучей. В качестве приемника излучения использована цветная телевизионная 2-х мегапиксельная видеокамера VEC-245-USB, соединенная с персональным компьютером. В камере использован объектив с фокусным расстоянием 40 мм, который проектирует изображение исследуемого образца стекла на фотоприемник. На рисунке 2 представлен внешний вид установки.

Для исследования были использованы следующие образцы стекла:

- оптическое стекло без дефектов,
- оптическое стекло со свиями,
- оптическое стекло со свиями и внутренними натяжениями,
- листовое стекло со свиями,
- листовое стекло со свиями и внутренними натяжениями.



а) без голограммных поляризаторов



б) с голограммными поляризаторами

Рис. 3. Оптическое стекло без дефектов

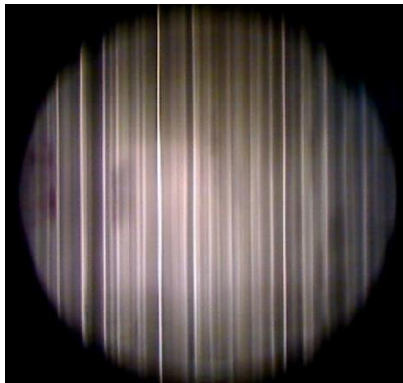


а) внутренние натяжения

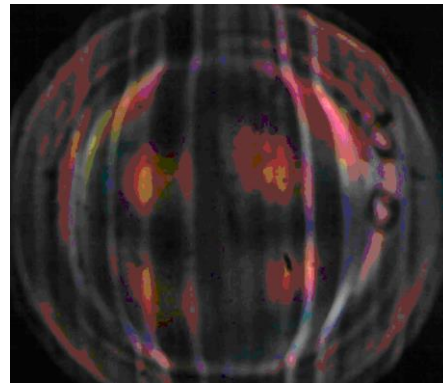


б) свили и внутренние натяжения

Рис. 4. Оптическое стекло с дефектами



а) свили



б) свили и внутренние натяжения

Рис. 5. Листовое стекло с дефектами

На рисунке 3 приведены изображения образцов оптического стекла, не имеющего свилей и внутренних натяжений. Установка голограммных поляризаторов привела лишь к уменьшению освещенности изображения. На рисунках 4–5 представлены результаты исследования стекла, имеющего дефекты, при введении в оптическую схему голограммных поляризаторов.

На рисунке 4 приведены изображения образцов оптического стекла, имеющего дефекты. На рисунке 4а представлено изображение образца оптического стекла со свиллями, на рисунке 4б — со свиллями и внутренними натяжениями. На рисунке 5 приведены изображения

образцов листового стекла, имеющего дефекты. На рисунке 5а представлено изображение образца листового стекла со свиллями, на рисунке 5б — со свиллями и внутренними напряжениями.

Заключение

Таким образом, использование голограммных поляризаторов в установке для исследования дефектов стекла теньвым методом позволило не только определять наличие свиллей, но и качественно оценить остаточные внутренние напряжения в стекле.

Список источников

- [1] **Дубовик, А. С.** Фотографическая регистрация быстропротекающих процессов — М.: Наука. — 1964. — 468 с.
- [2] **Белозеров, А. Ф.** Оптические методы визуализации газовых потоков — Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. — 2007. — 747 с.
- [3] **Вендеревская, И. Г.** Основы дифракционной оптики и голографии / И. Г. Вендеревская, А. В. Лукин, А. Н. Мельников и др. под ред. Н. К. Павлычевой — Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. — 2011. — 188 с.