

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПРОБНЫХ СТЕКЛОЛ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Наборы пробных стекол являются основным измерительным инструментом, используемым при производственном контроле кривизны поверхностей оптических деталей: линз, призм, окошек и т.д.

Пробное стекло представляет собой стеклянную или кварцевую пластину, одна из поверхностей которой, так называемая измерительная поверхность, имеет заданный радиус кривизны R . Измерительная поверхность пробного стекла изготавливается с большой точностью и служит эталоном. Представление о точности изготовления пробных стекол дает таблица.

Класс точности	Допускные отношения $\frac{\Delta R}{R} 100\%$			
	$R=10-1000$ (мм)	$R=1000-2000$ (мм)	$R=2000-5000$ (мм)	$R=5000-20000$ (мм)
А	± 0.03	± 0.06	± 0.09	± 0.15
Б	± 0.05	± 0.10	± 0.15	± 0.25
В	± 0.10	± 0.20	± 0.30	± 0.50

Для плоских измерительных поверхностей ($R = \infty$), изготовленных с еще большей точностью, отклонение от плоскости для стекол классов А, Б, и В не превышает соответственно 0.0025, 0.0030, 0.0040.

При наложении измерительной поверхности пробного стекла на испытываемую поверхность проверяемой оптической детали между ними может возникнуть воздушный зазор. Форма и величина зазора определяется различием в кривизне сравниваемых поверхностей.

При соответствующем освещении пробного стекла возникает интерференция лучей света, отраженных от верхней и нижней границ воздушного зазора. Наблюдаемая визуально интерференционная картина воспроизводит профиль воздушного зазора и позволяет судить о кривизне испытываемой поверхности проверяемой оптической детали. Схема наблюдения интерференции в методе пробных стекол приведена на рис.1.

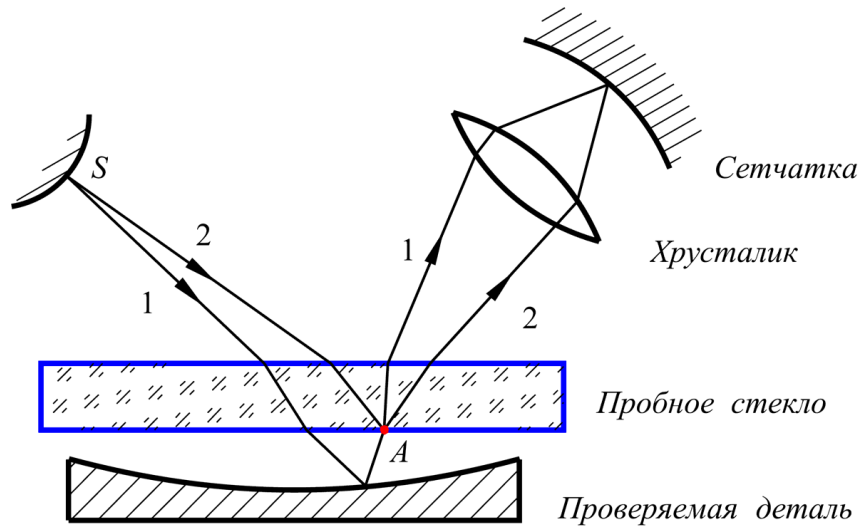


Рис. 1. Схема наблюдения интерференционных полос в методе пробных стекол

Глаз наблюдателя фокусируется на верхнюю границу зазора (это нетрудно сделать, т.к. именно в этом случае интерференционные полосы видны четко). Изображение наблюдаемой точки образуется на сетчатке глаза при помощи лучей 1 и 2. Эти лучи выходят из общей точки S источника света и являются когерентными. Результат интерференции в точке A , определяемый оптической разностью хода лучей 1 и 2 на участке SA , воспроизводится на сетчатке глаза наблюдателя. В интерференционном изображении точки A участвуют и другие пары когерентных лучей, выходящие из близких к S точек источника и попадающие в зрачок глаза.

Теория метода

Найдем разность хода лучей 1 и 2, возникшую за счет воздушного зазора (рис.2). Так как при наблюдении глаз наблюдателя располагается на расстоянии наилучшего зрения (250 мм), а диаметр зрачка не превышает 4 мм, то угол между интерферирующими лучами является малым. Поэтому при вычислении разности хода лучи 1 и 2 можно считать параллельными.

Оптическая разность хода лучей 1 и 2 равна

$$\Delta = CBA - nAD, \quad (1)$$

где n – показатель преломления верхнего стекла. Из рисунка следует, что

$$CBA = \frac{2h}{\cos r}, \quad (2)$$

$$AD = AC \cdot \sin i = 2h \cdot \operatorname{tg} r \cdot \sin i, \quad (3)$$

где h – толщина слоя воздуха вблизи точки A , i и r – углы падения и преломления лучей соответственно. Из этих соотношений получаем:

$$\Delta = \frac{2h}{\cos r} (1 - n \cdot \sin i \cdot \sin r).$$

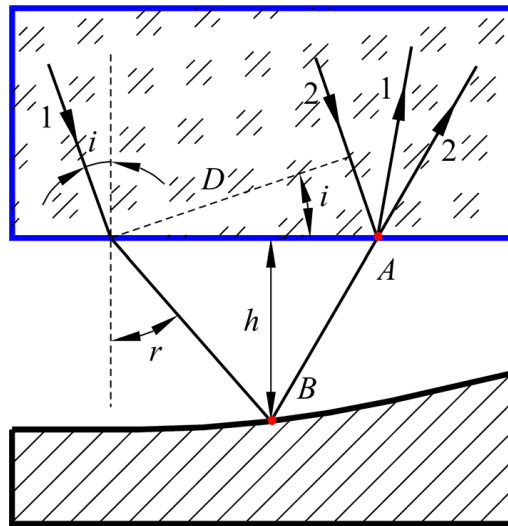


Рис. 2. Ход лучей в воздушном зазоре между пробным стеклом и контролируемой деталью

Принимая во внимание закон преломления $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n}$, получим:

$$\Delta = 2h \cdot \cos r. \quad (4)$$

Для тех точек воздушного зазора, где $\Delta = \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$, в результате интерференции происходит усиление света. При освещении монохроматическим светом на поверхности зазора виден ряд светлых полос, разделенных темными полосами, для которых

$$\Delta = \lambda/2, 3\lambda/2, 5\lambda/2, \dots$$

Правую часть (4) следует дополнить слагаемым $\lambda/2$, обусловленным изменением фазы на π для луча, отраженного от границы «воздух – стекло». Однако в методе пробных стекол эта постоянная поправка является несущественной.

В белом свете интерференционные полосы окрашены, так как условие максимума для разных длин волн λ выполняется при различных разностях хода. Переход от любой интерференционной полосы одного цвета к другой полосе того же цвета соответствует изменению разности хода на одну длину волны.

При больших расстояниях от глаза до пластины различие в углах падения лучей на отдельные ее участки мало и его можно не учитывать. Поэтому наблюдаемые полосы можно рассматривать как полосы равной толщины. Форма полос воспроизводит профиль воздушного зазора между стеклянными пластинами.

Если поверхность является поверхностью вращения, то интерференционные полосы имеют вид правильных концентрических колец. Отклонение от заданной кривизны поверхности называют общей ошибкой N и выражают числом интерференционных колец, возникающих благодаря зазору. Допускаемая величина N указывается обычно в чертеже оптической детали. Отступление колец или полос (в случае плоской поверхности) от правильной формы определяет наличие местных неровностей поверхности или местных ошибок. Их величина выражается в долях ширины полос и обозначается на чертежах ΔN .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе предлагается определить качество поверхности (отклонение от плоскости) для нескольких стеклянных пластин при помощи пробного стекла с плоской ($R = \infty$) измерительной поверхностью и оценить величину общей и местной ошибок. При наложении испытуемой поверхности на пробное стекло могут иметь место следующие типичные случаи:

- 1) Испытуемая поверхность является плоской и не имеет дефектов. При этом при нажиме на край пробного или испытуемого стекла между ними возникает воздушный зазор в виде плоского клина. Интерференционная картина имеет вид равноотстоящих прямых полос, параллельных ребру клина (рис.3,а). При перемене точки нажима полосы остаются прямыми. Клиновидный зазор может возникнуть и без специального нажима за счет неплотного прилегания стекол.
- 2) Испытуемая поверхность является выпуклой (“бугор”) или вогнутой (“яма”). В этом случае интерференционная картина представляет собой ряд концентрических колец (рис.3,б; 3,в). Определить знак кривизны можно путем равномерного нажима на края пробного или испытуемого стекла: в первом случае центр картины смещается к точке нажима (рис.3,г), во втором – в противоположную сторону (рис.3,д).

Если кольца имеют форму окружности, то это свидетельствует о равенстве кривизны поверхности детали в любом сечении. Неправильная форма колец свидетельствует о различии кривизны поверхности в разных сечениях

Для оценки величины зазора – общей ошибки - следует подсчитать число колец какого-либо одного цвета. Каждое кольцо соответствует изменению зазора на $\lambda/2$.

- 3) Если величина воздушного зазора соответствует ошибке менее одного кольца, то знак кривизны определяется нажимом на край стекла в одной точке. Общая ошибка N кривизны поверхности в этом случае характеризуется кривизной полос и определяется стрелой их прогиба, выраженной в долях ширины полосы H :

$$N = \frac{h}{H},$$

где N – общая ошибка, h – стрела прогиба, H – ширина полосы. Для оценки h и H следует провести хорду к дуге полосы и касательные к двум соседним полосам (рис.3,д).

- 4) Испытуемая поверхность имеет местные ошибки. Это приводит к деформации колец или полос на соответствующем участке поверхности. При “яме” местные изгибы полос направлены выпуклостью в сторону точки нажима, при “бугре” в противоположную сторону. Величину местной ошибки ΔN оценивают в долях ширины полосы так же, как и в предыдущем случае (рис.3,е).

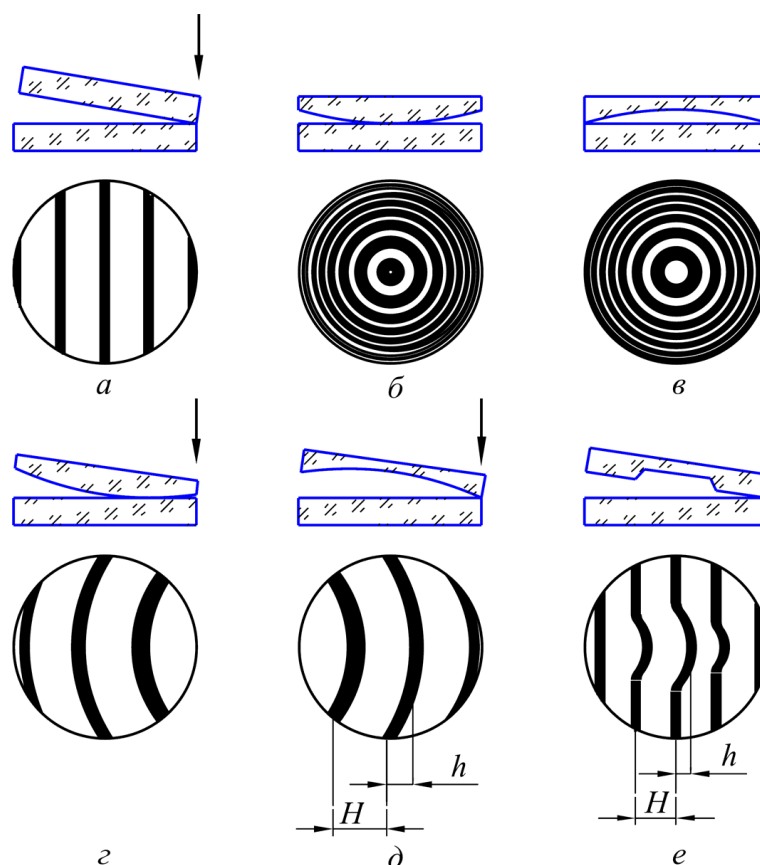


Рис. 3. Вид интерференционных картин, наблюдаемых при различных формах контролируемой поверхности стеклянных пластин

Порядок выполнения работы

1. Перед каждым измерением рабочую поверхность пробного стекла и испытываемую поверхность пластины обезжирить спиртом или эфиром и протереть сухой фланелью.
2. Положить пробное стекло на подложку из черного материала для уменьшения отражения от нерабочей поверхности.
3. Включить источник рассеянного света.
4. Осторожно наложить испытываемую поверхность детали на рабочую поверхность пробного стекла (или наоборот).
5. Выждав 1-2 мин, необходимые для стабилизации интерференционной картины, проанализировать профиль поверхности испытываемой детали. Зарисовать форму интерференционных полос и изобразить профиль поверхности.
6. Оценить величину общей и местной ошибки испытываемой поверхности.
7. Составить отчет о проведенной работе.

Примечание: Поверхности пробного стекла и испытываемых деталей оберегать от механических повреждений.

Контрольные вопросы

1. Что такое пробное стекло и каким требованиям оно должно удовлетворять?
2. Какова оптическая схема и методика контроля качества оптических деталей?
3. Получите математическое условие интерференции световых лучей в воздушном зазоре между пробным стеклом и испытуемой деталью.
4. Дайте определение общей и местной ошибок и поясните порядок их нахождения на конкретных примерах.

Литература

1. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. М.: Гостехиздат, 1957. Т.3.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976.
3. Захарьевский А.П. Интерферометры. М.: Оборониз, 1952.
4. Бардин А.Н. Технология оптического стекла. М.: Промстройиздат, 1955.