

Раздел 4. ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ И ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ (ОИС)

(ЛК №1)

Интерференционные приборы контроля качества поверхности

Методы оптического неразрушающего контроля (ОНК) применяют для обнаружения микрон неоднородностей и шероховатости поверхности, для измерения толщины прозрачных пленок. Применяемые для этих целей приборы обладают рядом достоинств: независимостью результатов измерения от материала объекта контроля (ОК), допустимостью смещения ОК в поле зрения прибора, высокой точностью, быстродействием, возможностью автоматизации.

Различают три класса приборов для контроля топографии поверхностей и объемных поверхностных дефектов:

1) Приборы для контроля шероховатости поверхностей; в этом случае производится интегральная оценка микрорельефа поверхности.

2) Приборы для контроля и измерения дефектов и микрогеометрии. При этом контролируются отдельные дефекты в изделиях и измеряется глубина дефекта.

3) Приборы для контроля плоскостности высококачественных (в основном, полированных) поверхностей и измерения толщины прозрачных пленок. Этими приборами обнаруживаются дефекты типа однородного изгиба, завалов, сложного изгиба (коробления), сколов.

Интерференционные приборы контроля шероховатости поверхности.

§§ Параметры шероховатости

В процессе изготовления и обработки деталей возникает *шероховатость* их поверхностей. Под шероховатостью понимают совокупность неровностей, образующих рельеф поверхности. Шероховатость поверхности в значительной степени оказывает влияние на трение, износостойкость, прочность механических деталей, качество изображения в случае оптических деталей (линз, зеркал, призм и т. д.).

Контроль шероховатости (чистоты) поверхностей является важным технологическим процессом. Оценка шероховатости осуществляется качественными и количественными методами. Качественный метод оценки основан на сравнении обработанной поверхности с образцами шероховатости. Сравнение осуществляется визуально с помощью лупы или микроскопа. Визуальные методы оценки шероховатости поверхности отличаются простотой и высокой точностью, так как основаны на хорошей различительной способности сенсорных систем человека. Рабочие образцы шероховатости стандартизованы и выпускаются с шероховатостью разных классов, полученной точением, фрезерованием, строганием, шлифованием, растачиванием, развертыванием, протягиванием, полированием и доводкой. При этом существенно, чтобы образец и изделие были изготовлены из одного материала и одинаково обработаны.

Количественный метод оценки основан на измерении неровностей специальными приборами.

Шероховатость поверхности нормируется 14-ю классами (табл.1.1) и оценивается по системе средней линии 1 (рис. 1.1) параметрами высоты неровностей R_a и R_z , измеряемых в пределах базовой длины l . Базовая длина зависит от класса шероховатости: например, для 9-12 классов она равна 0,25 мм, для 13-14 классов – 0,08 мм. За среднюю линию профиля принимается линия, разделяющая измеренный профиль таким образом, чтобы сумма квадратов расстояний y_1, y_2, \dots, y_N точек профиля до этой линии была минимальной в пределах базовой длины.

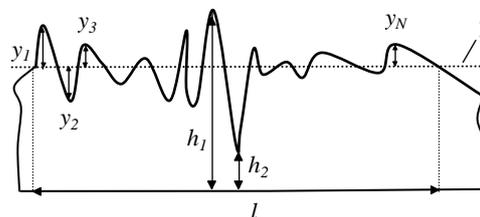


Рис. 1.1. Профиль поверхности

Параметр R_a – среднее арифметическое отклонение точек действительного профиля от средней линии:

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^N |y_i|}{N}, \quad (1.1)$$

где N – число измеряемых точек.

Параметр R_z – средняя разность высот пяти наивысших и пяти наименее точек на базовой длине профиля, измеренных от линии, параллельной средней:

$$R_z = \frac{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4) + \dots + (h_9 - h_{10})}{5}. \quad (1.2)$$

Таблица 1.1

Класс точности поверхности	Обозначение	Среднее арифметическое отклонение профиля R_a , мкм	Высота неровностей R_z , мкм	Базовая длина l , мм
1	∇1	40 – 80	160 – 320	8
2	∇2	20 – 40	80 – 160	
3	∇3	10 – 20	40 – 80	
4	∇4	5 – 10	20 – 40	2,5
5	∇5	2,5 – 5	10 – 20	
6	∇6	1,25 – 2,5	6,3 – 10	0,8
7	∇7	0,63 – 1,25	3,2 – 6,3	
8	∇8	0,32 – 0,63	1,6 – 3,2	
9	∇9	0,16 – 0,32	0,8 – 1,6	
10	∇10	0,08 – 0,16	0,4 – 0,8	0,25
11	∇11	0,04 – 0,08	0,2 – 0,4	
12	∇12	0,02 – 0,04	0,1 – 0,2	
13	∇13	0,01 – 0,02	0,05 – 0,1	0,08
14	∇14	- 0,01	- 0,05	

§§ Интерференция света

Для ОНК шероховатости поверхностей применяют в основном интерферометры – приборы, действие которых основано на явлении интерференции света. *Интерференцией* света называют явление, которое возникает при наложении когерентных световых волн, в результате чего происходит перераспределение светового потока в пространстве состоящее в том, что в одних местах возникают максимумы, в других – минимумы освещенности.

Результат интерференции света, наблюдаемый на экране или регистрируемый с помощью объективных фотоприемников, называется интерференционной картиной (КИ). Интерферировать могут только когерентные волны, линейно поляризованные в одной плоскости. Когерентными являются волны, имеющие одинаковые частоты, одинаковые направления колебаний вектора \mathbf{E} и разность фаз, не изменяющуюся во времени, достаточном для наблюдения. Такие волны имеют одну определенную частоту ν и называются монохроматическими. Когерентными источниками излучения являются лазеры. Все реальные источники света некогерентные. Когерентные волны в приборах получают специальными способами.

В простейшем случае интерференции двух монохроматических волн с амплитудами E_{01} , E_{02} и фазами φ_1 , φ_2

$$E_1 = E_{01} \sin \varphi_1, \quad E_2 = E_{02} \sin \varphi_2$$

амплитуда E_0 и начальная фаза результирующей волны находится путем геометри-

ческого сложения амплитуд E_1 и E_2 исходных световых волн:

$$E_0^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02}\cos(\varphi_2 - \varphi_1);$$

Из приведенных соотношений следует, что амплитуда E_0 , а следовательно, и интенсивность I ($I \sim E^2$) результата интерференции зависят от разности фаз $\varphi_2 - \varphi_1 = \Delta\varphi$:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos\Delta\varphi.$$

Экстремальные значения результирующей интенсивности получаются следующими:

$$I_{\max} = (\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2})^2 \quad \text{при } \Delta\varphi = \pm 2\pi m;$$

$$I_{\min} = (\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2})^2 \quad \text{при } \Delta\varphi = \pm \pi(2m+1),$$

где m – целое число ($m = 0, 1, 2, \dots$).

При равенстве интенсивностей исходных световых волн ($I_1 = I_2 = I$), $I_{\max} = 4I$, $I_{\min} = 0$.

Если первая волна проходит путь l_1 в среде с показателем преломления n_1 , а вторая волна – путь l_2 в среде с показателем преломления n_2 , то разность фаз в точке наложения волн

$$\Delta\varphi = 2\pi\Delta/\lambda_0,$$

где λ_0 – длина волны в вакууме, Δ – оптическая разность хода волн

$$\Delta = n_2 l_2 - n_1 l_1.$$

Условия наблюдения максимумов и минимумов интенсивности принято записывать через оптическую разность хода Δ : если Δ равна четному числу полуволн, наблюдают максимум, если нечетному – минимум интенсивности:

$\Delta = \pm 2m \cdot \lambda_0/2$ ($m = 0, 1, 2, \dots$) – условие интерференционного максимума,

$\Delta = \pm (2m+1) \cdot \lambda_0/2$ ($m = 0, 1, 2, \dots$) – условие интерференционного минимума.

Качество интерференционной картины оценивают контрастом, для количественной характеристики которого используется физическая величина, называемая видимостью K :

$$K = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}).$$

Максимальный контраст ($K_{\max} = 1$) можно получить только в случае равенства интенсивностей интерферирующих пучков.

§§ Интерференция света в тонких пленках. Многолучевая интерференция.

Рассмотрим подробнее интерференцию света при его падении на тонкую прозрачную плоскопараллельную пластинку толщиной d с показателем преломления n (рис. 1.2). Если коэффициент отражения поверхностей пластины незначителен, т.е. близок к нулю (например, для стекла $R = 0,04$), то обычно пренебрегают вкладом в результирующую интерференционную картину лучей, которые претерпели два и больше отражений, а рассматривают двухлучевую интерференцию в отраженном (лучи 1 и 2), или в проходящем свете (лучи 1' и 2'). Пучок

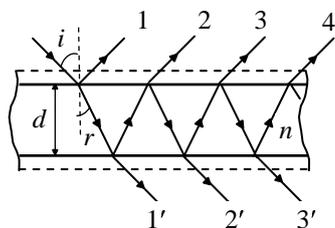


Рис. 1.2

параллельных лучей падает под углом i на пластинку. В точке падения частично отбивается, а частично преломляется в пластинку под углом r , отражается от нижней поверхности и выходит в воздух под углом i . Лучи 1 и 2 когерентны, при наложении интерферируют. Результат интерференции зависит от оптической разности хода Δ

этих лучей. Нетрудно показать, что для отраженного света

$$\Delta = 2dn \cos r \pm \frac{\lambda_0}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda_0}{2}.$$

Если выполняется условие

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda_0}{2} = \pm 2m \frac{\lambda_0}{2}, \quad (1.3)$$

наблюдается максимум интерференции в отраженном свете, если

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda_0}{2} = \pm(2m + 1) \frac{\lambda_0}{2}, \quad (1.4)$$

наблюдается минимум интерференции в отраженном свете.

Из условий (3) и (4) видно, что если толщина d и угол падения i везде одинаковы, то во всех точках на поверхности пластины может возникать максимум интерференции для света какой-нибудь одной длины волны λ , т.е. при освещении пластины белым светом она будет иметь один цвет.

Возможны другие случаи. Если угол падения i везде одинаков, а толщина пластинки d разная (клин), тогда максимум интерференции света длины волны λ_1 будет наблюдаться в точках клина с толщиной d_1 , для длины волны λ_2 максимум будет наблюдаться в точках клина с толщиной d_2 и т.д. Картина интерференции имеет вид разноцветных полос, которые называют *полосами равной толщины*.

Если угол падения i в разных точках пластины разный (например, при освещении пластины точечным источником света), а толщина пластинки d одинакова, тогда максимум интерференции света с длиной волны λ_1 будет наблюдаться в тех точках пластинки, где угол падения равен i_1 , с длиной волны λ_2 в точках пластинки, где угол падения равен i_2 и т.д. Возникает картина интерференции в виде разноцветных полос, которые называется *полосами равного наклона*.

Рассмотрим случай *многолучевой интерференции*. Если же коэффициент отражения от поверхностей пластины сравнительно большой (порядка единицы), следует учитывать вклад всех лучей (рис. 1.2). На практике увеличение R обычно достигается путем нанесения на поверхности высокоотражающих покрытий, в качестве которых чаще всего используются слои серебра (пунктирные линии на рис. 1.2). Интерференция в таком случае называется *многолучевой*.

Распределение яркости полос при многолучевой интерференции отличается от синусоидального, свойственного двухлучевой (рис. 1.3). Характерной особенностью многолучевой интерференционной картины в проходящем свете при значениях R близких к единице является чередование контрастных и узких максимумов и широких минимумов. В отраженном свете наблюдается дополнительная картина в виде узких темных полос на почти равномерном светлом фоне. Полосы значительно уже, что определяется коэффициентом отражения сравниваемых поверхностей. При коэффициенте отражения $R = 0,94$ распределение яркости полосы почти прямоугольное.

§§ Интерферометры. Принцип действия.

Большинство известных в настоящее время интерферометров построено на ба-

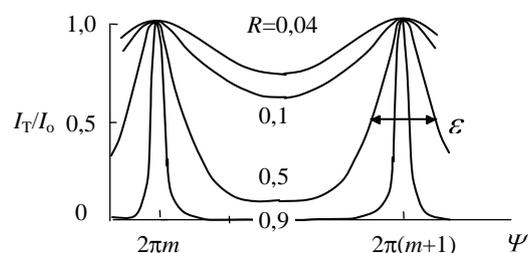


Рис. 1.3. Распределение интенсивности в интерференционных полосах для разных значений коэффициента отражения

зе классических интерференционных схем Рэлея, Майкельсона, Физо, Маха-Цендера и Фабри-Перо.

В зависимости от назначения существуют различные конструкции интерферометров, однако, принцип их действия в основном один и тот же. Световые волны от каждой светящейся точки источника света разделяются в приборе на две или несколько частей, которые проходят пути различной длины и вновь соединяются друг с другом. Благодаря этому налагающиеся световые волны приобретают определенную оптическую разность хода Δ , являются когерентными и интерферируют.

В обычных интерферометрах разность хода когерентных волн достаточно мала (порядка 100-200 мкм) и сохраняет постоянную величину в течение промежутка времени, достаточного для наблюдения интерференции. В интерферометрах, применяемых для контроля топографии поверхности, один из интерферирующих лучей отражается от эталонной поверхности, а другой - от контролируемой.

§§ Микроинтерферометры.

Интерферометры, предназначенные для измерения высоты микронеровностей или следов обработки на металлических или других поверхностях малой шероховатости, называют микроинтерферометрами. Измерение высоты микронеровностей осуществляется по искривлению полос равной толщины. Но оптический прибор, предназначенный для наблюдений мелких неровностей, должен обладать большим увеличением и высокой разрешающей способностью. Поэтому микроинтерферометры представляют собой сочетание интерферометра типа Майкельсона (реже Физо) и микроскопа. Основные требования к микроинтерферометрам установлены ГОСТ 9847-79. Главным из них является чувствительность прибора, которая должна быть не менее 0,05 полосы. За чувствительность прибора принят изгиб интерференционной полосы на ступени, напыленной на стеклянной плоской пластине, выраженный в долях полосы, которая может быть видима в поле зрения прибора и измерена с помощью отсчетного устройства.

Основные характеристики микроинтерферометров приведены в таблице 1.2:

Таблица 1.2

Параметры	МИИ-4	МИИ-9	МИИ-10
R_a , мкм	0,16-0,02	0,16-0,02	2,5-0,04
R_z , мкм	0,1-0,25	0,1-0,25	
[×] при визуальном наблюдении	490	500 и 700	375 и 500
[×] при фотографировании	260	125	200
Поле зрения, мм	0,32	0,35 и 0,25	0,48 и 0,36

Однако и такие высокие характеристики, как показала практика измерений, оказываются недостаточными для надежного измерения малой шероховатости с $R_z = 0,1-0,025$ мкм. Разработан новый прибор с $\times 1860$ и полем зрения 0,11 мм.

На рис. 1.4 показана схема двухлучевого интерферометра Линника. В ее основу положен принцип действия интерферометра Майкельсона. Световой пучок, идущий от источника света 1 (лампа накаливания), проходит через конденсор 2 и диафрагму 3, светоделительным (полупрозрачным) зеркалом 4, делится на два когерентных пучка, которые фокусируются объективами 5 и 5' на эталонное зеркало 6 и

контролируемую поверхность 7, соответственно. После отражения от эталона и изделия пучок проходит через те же элементы схемы и фокусируется линзой 8 в плоскости диафрагмы 9, в которой с помощью окуляра 10 наблюдают интерференционную картину взаимодействия эталонного и рабочего пучков света. Наблюдаемая интерференционная картина соответствует интерференции в воздушном слое, образованном зеркалом 7 и мнимым изображением (6', пунктирная линия) эталонного зеркала 6 в делительной пластине 4. Зеркало 6 расположено так, что зеркала 7 и 6' образуют воздушный клин, поэтому возникают полосы равной толщины, локализованные в плоскости клина и представляющие собой параллельные линии. Для их наблюдения используют перемещающийся объектив 10, фокальная плос-

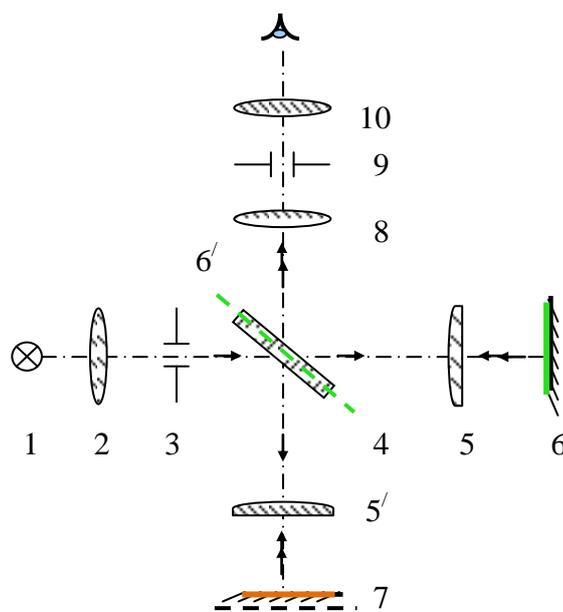


Рис. 1.4

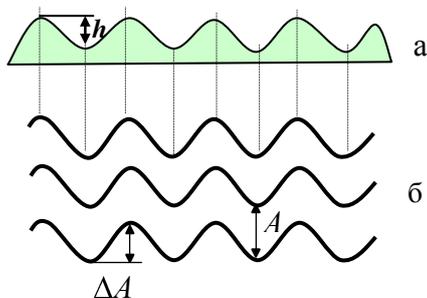


Рис. 1.5 а – профиль поверхности; б – вид интерференционной картины.

кость которого совмещена с поверхностью зеркала 7. Ширину и направление интерференционных полос можно регулировать наклоном зеркал.

Полосы искривлены в соответствии с профилем контролируемой поверхности (рис. 1.5). Форму интерференционных полос воспроизводит в большом масштабе профиль контролируемого участка поверхности. Кривизну полос (величину изгиба ΔA) измеряют с помощью окулярного микрометра.

Она является количественной характеристикой микронеоднородностей поверхности изделия. Измерения можно проводить в белом или монохроматическом свете. При работе в белом свете высота неровности

$$h = 0,27\Delta A/A \text{ (мкм)}, \quad (1.5)$$

где ΔA - величина изгиба интерференционной полосы, A - величина интервала между полосами. При работе в монохроматическом свете

$$h = \lambda\Delta A/2A, \quad (1.6)$$

где λ – длина волны света.

Микроинтерферометры Линника (МИИ – 4, 5, 9, 10) предназначены для определения высоты неровностей поверхностей в пределах от 1–0,03 мкм. Оптические системы интерферометров имеют увеличение 490 раз и поле зрения 0,32 мм. Для расширения верхнего предела измерения интерферометров предложены различные устройства. Микроинтерферометры МИИ-4 и МИИ-5, снабженные интерференционным клиновым компенсатором Карташова, позволяют измерять неровности от 4 до 30 мкм,

Если риски и ступеньки на поверхности ОК имеют у верхнего и нижнего краев достаточную отражательную способность, применяют *интерференционно-индикаторный метод*: интерференционные полосы наводят на резкость сначала на

дно риски, а затем на ее край. Глубина риски определяется величиной перемещения микрообъектива. Этим методом можно определить глубину неровностей от 20 до 100 мкм.

§§Иммерсионно-репликовый метод

МИИ-10 (разновидность МИИ-4) имеет специально пониженную чувствительность. Предназначен для измерения сравнительно грубых поверхностей с параметрами шероховатости 2,5–0,04 мкм. В МИИ-10 контролируют не саму поверхность, а ее отпечаток (реплику) на прозрачной пленке, помещенной в специальную камеру с иммерсионной жидкостью. Иммерсионно-репликовый метод применяют при контроле шероховатости крупногабаритных изделий, внутренних поверхностей, а также поверхностей труднодоступных участков ОК. Предварительно делают слепок (реплику) с поверхности изделия. Помещают его в кювету с иммерсионной жидкостью. Наблюдая такие ОК с разными жидкостями под микроскопом, иммерсионную жидкость подбирают так, что ее показатель преломления примерно был равен показателю преломления слепка. Располагают кювету в фокальной плоскости микроинтерферометра и исследуют обычным способом.

Иммерсионная система (и.с.) - система, в которой пространство между предметом и первой линзой заполнено иммерсионной жидкостью. Применение иммерсии дает возможность повысить апертуру ($A = n \cdot \sin u$, где u - половина угла между крайними лучами, входящими в объектив, n - показатель преломления среды между предметом и первой линзой объектива, а, следовательно, и разрешающую способность микроскопа. "Сухая" система не может иметь $A > 1$ ($n = 1$), и.с. имеет $A = 1,3$ (масляные); 1,6 (монобромнафталиновые). В и.с. уменьшается рассеяние света и тем самым увеличивается контрастность изображения. И.с. позволяют исследовать объекты, находящиеся на разной глубине в иммерсионной жидкости, путем погружения в нее объектива. В и.с. применяют иммерсионный набор, состоящий из 98 жидкостей с n от 1,408 до 2,15).

§§Сочетание микроинтерферометра с двойным микроскопом

Для контроля ОК, параметр шероховатости которого $R_z = (3-80)$ мкм (с 3 по 8 класс чистоты), применяют *оптический профилометр* Коломийцева. Он представляет собой сочетание микроинтерферометра с двойным микроскопом. Его оптическая схема показана на рис. 1.6

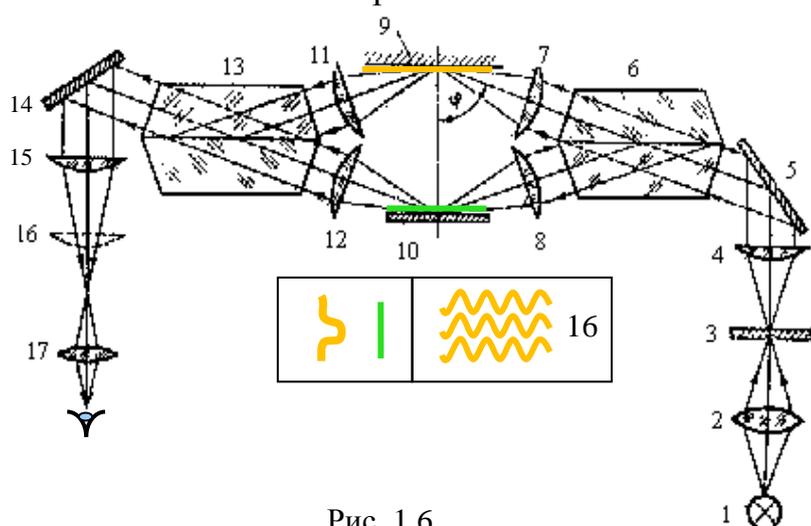


Рис. 1.6

Свет от источника 1 с помощью конденсора 2 освещает щель 3, расположенную в фокусе коллиматора 4.

Объектив 7 с помощью зеркала 5 и светоделительной призмы 6 проецирует изображение щели 3 на контролируемую поверхность 9, а объектив 8 проецирует то же изображение на зеркало 10. После отражения пучки попадают в объективы 11 и 12, соединяются призмой 13 и зеркалом 14, направляются в объектив 15 - 17.

В поле зрения окуляра 17 наблюдаются две линии, представляющие изображение щели. Если на контролируемой поверхности имеются неровности, то одно из изображений будет искривлено в соответствии с неровностью контролируемой по-

верхности. При этом прибор работает в режиме двойного микроскопа: проецирующего и микроскопа наблюдения. Второе изображение щели, построенное объективами 8, 12 и 15 не участвует в оценке исследуемой поверхности. Оно используется при работе прибора в качестве интерферометра. Включив цилиндрическую линзу 16, прибор можно использовать как интерферометр. При этом в окуляр видны интерференционные полосы, параллельные изображениям щели. О величине неровностей судят по степени изгиба интерференционных полос.

§§ *Многолучевые интерферометры* (МИИ-11)

Многолучевые интерферометры являются более совершенными по сравнению с двухлучевыми. Они позволяют обнаруживать неровности порядка $2-10^{-3}$ мкм. (МИИ-11).

Принципиальная схема МИИ-11 основана на классической схеме Физо. Оптическая схема многолучевого интерферометра представлена на рис. 1.7. Свет от источника 1 (ртутная лампа низкого давления, дающая монохроматическое излучение, выделяемое фильтром 10) проходит через диафрагму 2 и конденсор 3. Конденсор дает параллельный пучок, который падает на полупрозрачное зеркало 4. Отраженный от него свет проходит пластинку 5, накладываемую на контролируруемую поверхность 6.

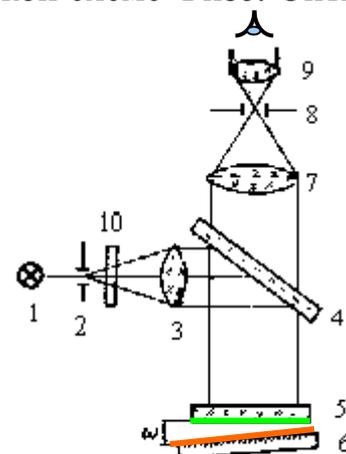


Рис. 1.7

На контролируемую поверхность 6 и нижнюю сторону пластинки 5 наносят тонкие высокоотражающие слои. В качестве высокоотражающих слоев чаще всего используют слои серебра толщиной не более 100 нм. Между пластинкой 5 и ОК 6 возникает интерференция многократно отраженных лучей (свет многократно отражается от слоев серебра). Картину интерференции, локализованную на поверхности пластинки, рассматривают в микроскоп (элементы 7, 8, 9). Если поверхности пластинки и изделия параллельны, в окуляр микроскопа наблюдают интерференционные *полосы равного наклона* (при интерференции в плоскопараллельном слое). Если поверхности составляют малый угол ω (рис. 1.7), то наблюдают *полосы равной толщины* (при интерференции в клине). Неровности ОК приводят к искривлению полос. Их измеряют с помощью окулярного микрометра. Пределы измерения $2-0,01$ мкм, точность $0,002$ мкм.

В МИИ-11 применяют микроскоп с $\times 60$, линейным полем зрения $2,8$ мм и апертурой объектива $0,1$. Можно контролировать поверхности с коэффициентом отражения $0,3-1$. Основной недостаток – малая апертура объектива микроскопа (иначе не помещается эталонная пластинка).

§§ *Интерферометры компараторного типа*

Интерферометры *компараторного* типа позволяют одновременно наблюдать две интерференционные картины. (Компаратор - [лат. comparator сравнивающий] - название измерительных приборов, принцип действия которых основан на сравнении измеряемой величины с эталонной.) Одна картина формируется изделием, другая – эталоном шероховатости (обычно это изделие того же типа, что и контролируемое). О качестве изделия судят по степени различия этих картин.

Примером прибора *компараторного* типа является интерференционный микроскоп сравнения (ИМС) В.И. Саркина (рис. 1.8). Свет от источника 1 падает на

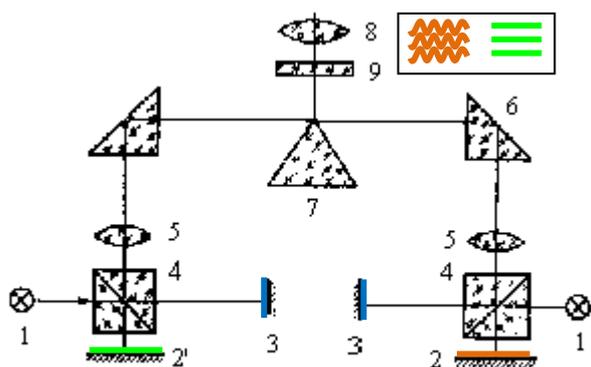


Рис.1.8

образец 2 и эталон 2' и с помощью призмы 4, зеркал 3, объективов 5 и призм 6 и 7 формирует два интерференционные картины в фокальной плоскости 9 окуляра 8. О качестве изделия судят по степени различия этих картин.

Различные интерферометры компараторного типа применяют в оптической промышленности для контроля формы точных оптических деталей.

Спектральный диапазон микроинтерферометров можно существенно расширить, используя преобразователи изображения. Это позволяет распространить хорошо отработанные методы контроля на материалы, непрозрачные в видимой области спектра.

Большинство интерферометров позволяют осуществлять контроль как в отраженном, так и в проходящем свете. В последнем случае они представляют собой *оптические толщинометры* высокой точности и применяются для измерения толщины различных пленок, прозрачных покрытий и т.п.

Контроль высококачественных поверхностей и измерение толщины прозрачных пленок.

§§ОНК плоскости изделий

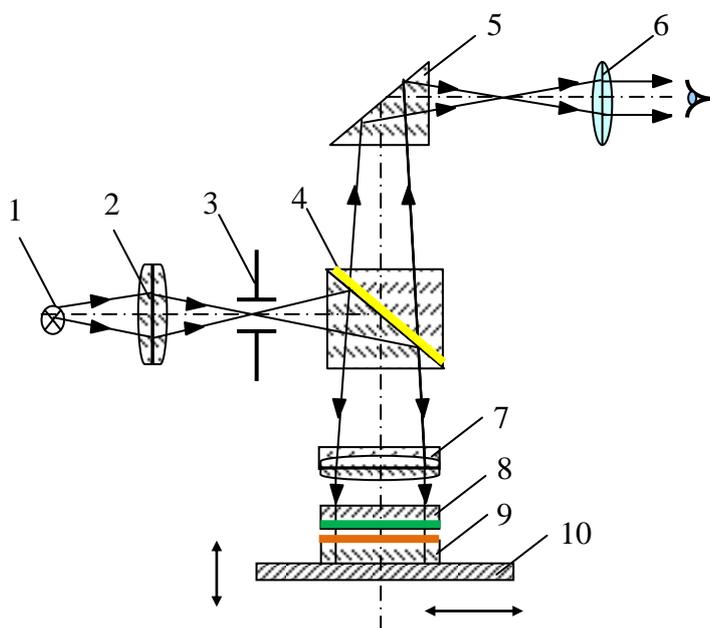


Рис. 1.9

В воздушном промежутке между пластинами 8 и 9 возникает явление интерференции (образуются полосы равной толщины). Отраженные световые пучки на обратном пути проходят призму-куб 4, отражаются от гипотенузной грани призмы 5 и собираются в фокальной плоскости объектива 7. Интерференционную картину можно рассматривать с помощью окуляра 6.

Плоскостность контролируемой детали оценивают по форме интерференционных полос (рис. 1.10). Их ширину и направление регулируют наклоном стола 10. Если поверхность исследуемой детали идеально плоская, то интерференционные

Оптическая схема типового интерферометра Физо для контроля плоскостности оптических поверхностей представлена на рис. 1.9. Пучок света от квазимонохроматического источника 1 (например, ртутной или натриевой лампы) собирается с помощью конденсора 2 на отверстии в диафрагме 3 и, отразившись от полупрозрачной гипотенузной грани призмы-куба 4 (или полупрозрачной пластины), падает на объектив 7. Параллельный пучок лучей, вышедший из объектива 7, отражается от плоской поверхности образцовой пластины 8 и поверхности исследуемой детали 9. В воз-

полосы будут прямолинейными. Отступления от плоскости приводят к искривлению полос. Измерив величину искривления полос ΔA и ширину полос A можно определить размер Δh дефекта на поверхности исследуемой детали с помощью соотношения (1.6).

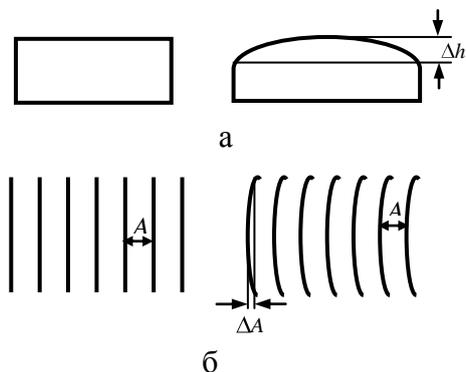


Рис. 1.10

а – вид поверхности, б – картина интерференции

2 и рассеиватель 3 падает на зеркало 4. Отраженный от зеркала свет коллиматором 5 направляется на поворотную призму 6. Зеркалом 8 свет направляется в телекамеру 9. Интерферограммы наблюдаются на телевизионном мониторе 10 и могут обрабатываться на микроЭВМ. Пластины 7 можно располагать вертикально, чтобы исключить ее прогиб. Особенностью прибора является возможность контроля *плоскостности* тонких прозрачных, а также шлифованных пластин за счет малых углов падения на объект контроля. Точность измерений (цена одной интерференционной полосы) 1 мкм при излучении лазера $\lambda = 0,63$ мкм. Размер контролируемой пластинки - до 100×100 мм².

Лазерный телевизионный интерферометр аналогичного назначения, работающий по схеме Физо (с нормальным падением лучей на объект), обеспечивает точность контроля плоскостности 0,5 мкм.

§§ Измерение толщины пленок.

Практический интерес представляет измерение толщины пленок. Интерферометр Линника (рис.1.4) или интерферометр типа Физо (рис. 1.9) позволяет измерять толщину прозрачных и непрозрачных пленок, но при условии, что часть подложки не покрыта пленкой. Толщину пленки определяют по смещению интерференционных полос, возникающих в зазоре между поверхностью подложки (основы) с пленкой и поверхностью эталонного образца – прозрачной оптической детали.

Если воздушный зазор освещать светом, возникает две смещенные друг относительно друга системы интерференционных полос. Ход лучей и поле зрения прибора представлены на рис. 1.12. Одна система полос образуется при отражении

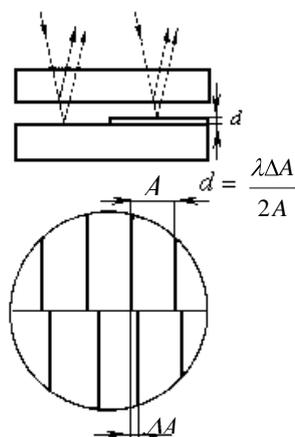


Рис. 1.12

Для неконтактного контроля плоскостности изделий применяют прибор ОД-10Г (рис. 1.11). Принцип его действия основан на интерференционном сравнении эталонной и исследуемой поверхностей. Эталонной поверхностью служит гипотенузная грань призмы.

Контролируемая пластинка 7 на трех сферических опорах располагается параллельно эталонной грани призмы с зазором 0,2–0,5 мм. Излучение лазера 1

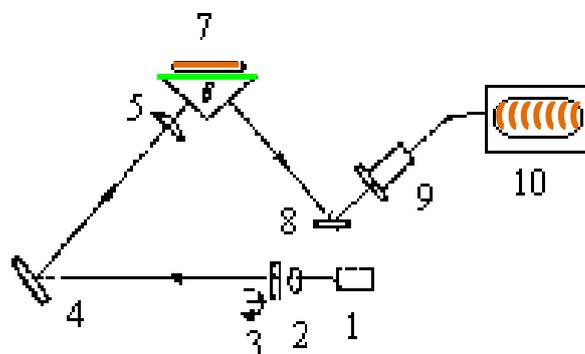


Рис. 1.11

световых лучей от поверхностей образца и чистой подложки. Вторая система полос образуется при отражении лучей от поверхностей образца и пленки. Толщину пленки вычисляют по формуле, аналогичной формуле (6)

$$d = \frac{\lambda \Delta A}{2A}, \quad (1.7)$$

где λ – длина волны света, A – ширина полос, ΔA – смещение полос (рис.1.12).

Этот способ, строго говоря, не отвечает требованиям оптического неразрушающего контроля, так как пленка должна не полностью покрывать подложку. Однако часто наряду с изготовлением ОК, одновременно изготавливаются образцы для измерения толщины пленок (т.н. «свидетели»).