

ЛЕКЦИЯ 8 Применение оптических устройств для контроля геометрии и качества объекта контроля

8.1 Микроскопы в оптическом неразрушающем контроле

Микроскопы находят применение при контроле интегральных схем и других прецизионных изделий.

Устройство, принцип действия и основные характеристики простого (монокулярного) микроскопа подробно рассмотрены в лабораторной работе №2 методического пособия «Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу "Оптичний контроль" / Ред. О.П. Сук. – Харків: ХДПУ, 1999. – 52 с».

Наиболее широко применяют *стереомикроскопы*, их выпускают в двух модификациях, соответствующих схемам Грену и Аббе.

Схема Грену состоит из двух оптических каналов (угол между оптическими осями которых 12-18°), что облегчает работу по рассматриванию дефектов, так как при этом глаза оператора конвергированы (сведены) под углом, соответствующим рассматриванию объектов, расположенных в непосредственной близости от оператора. Таким образом, условия работы на микроскопе соответствуют естественным условиям наблюдения близких объектов.

В *схеме Аббе* оптические оси окуляров параллельны, что приводит к некоторому несоответствию условий работы при контроле близких объектов, так как оптические оси глаз в естественных условиях параллельны только при наблюдении удаленных объектов. В то же время в *схеме Аббе* легче реализовать плавное (панкратическое) изменение масштаба изображения, что удобно при контроле, высокоразрешающих проекционных стереосистем.

Технические характеристики некоторых стереомикроскопов приведены в табл. 8.1.

Для измерений средней точности используют измерительные микроскопы различных конструкций оптико-механического типа.

Для контроля прецизионных изделий типа фотошаблонов СБИС применяют телевизионные (ТВМ) и фотоэлектрические (ФЭМ) микроскопы, имеющие высокое пространственное разрешение (до 0,01 мкм при полях зрения порядка 0.1 мм). В связи с малым полем измерения в ТВМ и ФЭМ объекты больших размеров перемещаются с помощью точных программируемых приводов (обычно в пределах 300-500 мм). При этом абсолютная погрешность позиционирования изделия составляет 0,01-0,1 мм. Таким образом, в этих приборах реализуется принцип комбинированного сканирования объекта – высокоточного сканирования в малом поле измерения и менее точного сканирования, но имеющего большие пределы перемещения.

Таблица 8.1

Тип микроскопа	Страна фирма	Диапазон увеличения (панкратического)	Поле зрения, мм	Рабочий отрезок, мм	Примечания
1	2	3	4	5	6
Пластивал	Германия	8 – 50	6–40	100	Растровый стереозэкран
Дайноскоп	Англия	8 – 100	1,8 -20	20 – 110	Селекция стереопар с помощью вращающегося растрового экрана
Инфоскоп	Япония	(1–6)	5 – 31	88	Схема Грену с дополнительным каналом эталонного изображения

1	2	3	4	5	6
М - 8	Швейцария	(6 – 50)	4–34	87	Схема Грену с плавным изменением масштаба изображения
СМЦ - 8	Япония	(1–20)	4–40	87	Схема Грену с щелевым отверстием
Стереос - 1	Англия, Виккерс	9 – 200	0,8 – 20	19 – 61	Схема Грену
М – 450	Швейцария	(16–180)	1,6 – 13,2	32	Снабжен планирующим столбиком с дискретностью 0,05 мм в пределах ± 100 мм для контроля фотошаблонов
Марк - 5	США, ГИА	(10 – 45)	2,5 – 20	100	Снабжен осветителем темного поля для контроля обработанных алмазов
Мак - С	Австрия,	50 – 200	1–26	45	Схема Грену
С – 8	Германия	8–160	1 – 48	100	То же
Майоблик	Франция,	7 – 200	1 – 20	110	То же
ЕС	Германия	6 – 320	0,6 – 28	140	То же
Циклоптик	США, АОС	7– 40	6 – 30	100	Схема Аббе
Стереовар	США, ББТ	3–100	2 – 43	90	То же
Технивар	Германия	5–50	2–44	100	»
Цитовал	Германия	(5–50)	2 –44	100	»
МБС - 9	Россия	3–120	2–40	109	»
МССО	Россия	4–120	2–44	109	»

8.2 Эндоскопы

Эндоскопами (бороскопами) называют приборы для контроля внутренних поверхностей и обнаружения дефектов в труднодоступных местах. Их применяют в различных отраслях машиностроения, например, для осмотра лопаток турбин и внутренней поверхности камер сгорания авиационных двигателей, визуального контроля трубопроводов различного назначения реакторов и т. п.

Принцип действия эндоскопов заключается в осмотре объекта с помощью специальной оптической системы, позволяющей передавать изображение на значительное расстояние (до

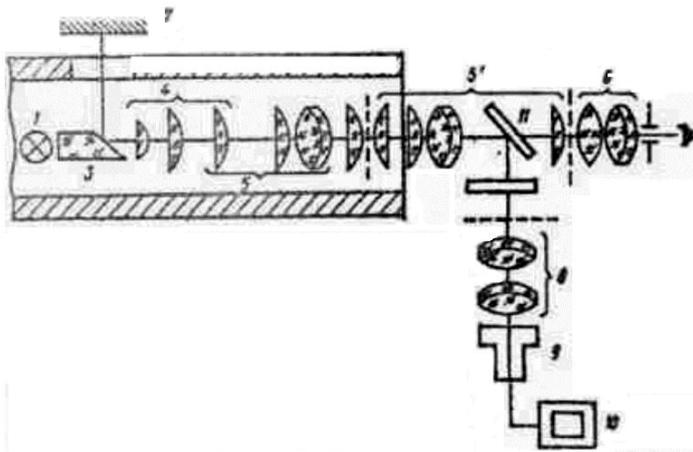


Рис. 8.1

нескольких метров). При этом отношение длины эндоскопа к его поперечному сечению $\gg 1$. Увеличение эндоскопов невелико и составляет 0,5 - 5. В современных эндоскопах можно определить не только размер, но и глубину дефектов методом светового сечения с помощью специальной насадки (точность $\pm 0,02$ мм).

Существуют линзовые, волоконно-оптические и комбинированные эндоскопы.

Оптическая схема линзовых эндоскопов показана на рис. 8.1.

Эндоскоп состоит из источника света 1 для освещения объекта, сменной призмной или зеркальной насадки 3, изменяющей направление и размеры поля зрения прибора, объектива 4, основной передающей оптической системы 5 и окуляра 6. Сменная оптическая система 5' служит для увеличения рабочей длины прибора или подключения телевизионной системы наблюдения, состоящей из видикона 9 и монитора 10. Зеркало 11 и объектив 8 предназначены для проектирования изображения поверхности объекта контроля 7 на мишень видикона 9. С помощью сменных призмных насадок 3 можно осуществлять наблюдение с кольцевым полем обзора (при поиске дефектов во время предварительного осмотра) или с боковым направлением визирования (при детальном изучении поверхностей).

Конструктивно линзовые эндоскопы выполняют в виде корпуса цилиндрической формы, внутри которого размещены все элементы прибора. Обычно в комплект входит несколько трубок. Общее число линзовых элементов может достигать 40-50, что приводит к большим потерям света. На корпусе прибора нанесена шкала для определения местоположения дефекта по длине изделия. Эндоскопами некоторых моделей можно фотографировать дефекты с помощью фотоприставки. В качестве источников освещения применяют лампы накаливания различной мощности (до 100 Вт). В некоторых приборах призмную насадку можно наклонять с помощью механической тяги, расширяя этим поле обзора эндоскопа.

Линзовые эндоскопы обычно представляют собой жесткую конструкцию. Однако существуют приборы, имеющие участки корпуса с гибкой оболочкой, которые изгибаются в пределах $5 - 10^\circ$.

Линзовыми эндоскопами можно обнаруживать царапины, трещины, коррозионные пятна, выбоины и другие дефекты размерами 0,03-0,08 мм в изделиях длиной до 10 м и диаметром 5-100 мм и более.

Возможности технической эндоскопии существенно расширены благодаря использованию *волоконных эндоскопов*. В основе устройства этого типа приборов лежат волоконно-оптические элементы или волоконные световоды.

Волоконные световоды представляют собой набор тонких светопроводящих нитей диаметром 10 - 20 мкм (световодов), собранных в жгут. Каждый элементарный световод покрыт снаружи тонким слоем (1 - 2 мкм) прозрачного вещества с более низким показателем преломления.

На границе световод – оболочка происходит полное внутреннее отражение света, входящего в основную нить, что обеспечивает его прохождение по световоду с минимальным ослаблением. Максимальный угол U_{\max} , под которым свет может войти в световод без нарушения условия полного внутреннего отражения, определяется по формуле

$$U_{\max} = \arcsin \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

где U — апертурный угол; n_1 и n_2 — показатели преломления сердцевины и оболочки. При $n_1 = 1,7 - 1,8$ и $n_2 = 1,5$ $U_{\max} \approx 60^\circ$. При значительных размерах световода число отражений бывает более 10^6 . Это приводит к ослаблению сигнала, которое связано с длиной световода экспоненциальной зависимостью. Коэффициент пропускания световодов составляет примерно 40 ... 50 % на 1 м длины.

Спектр пропускания световода определяется свойствами материала, из которого он изготовлен. Обычные световоды из стекла прозрачны в области 0,4 — 2 мкм. Для работы в ультрафиолетовой области используют кварцевые волокна, прозрачные в диапазоне 0,2 -4 мкм. В инфракрасном диапазоне (0,9 - 10 мкм и более) применяют волокна из специальных халькогенидных бескислородных стекол.

При использовании световодов следует иметь в виду, что они могут сильно деполаризовать проходящий свет.

Световоды для передачи световой энергии изготавливают из беспорядочно уложенных волокон. Для передачи изображения используют волоконно-оптические элементы с

упорядоченном структурой. При этом число элементарных волокон может превышать 10^6 пар на 1 см^2 . Торцы световодов полируют.

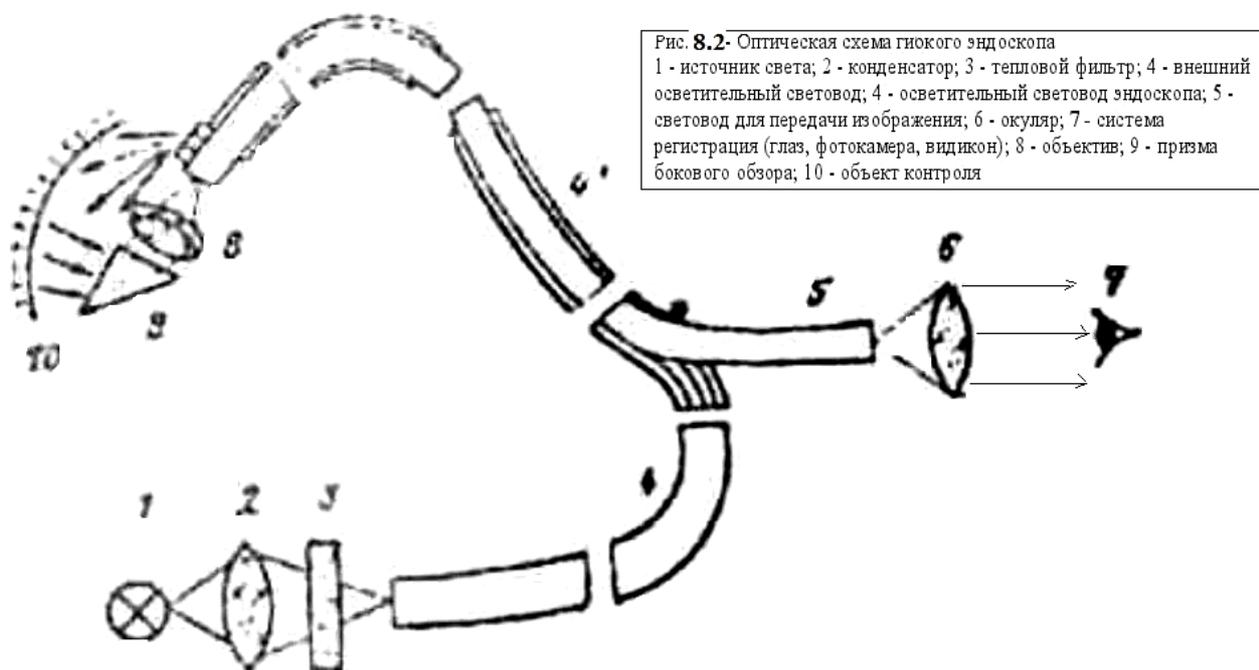
Разрешающая способность серийных световодов составляет в среднем $15 - 20 \text{ мм}^{-1}$. Лучшие образцы могут иметь разрешающую способность до 50 мм^{-1} .

В целом волоконные световоды, используемые в эндоскопах, пока уступают по качеству изображения линзовым системам. Однако разрабатываются меры по устранению мозаичной структуры изображения в световодах и повышению их разрешающей способности.

Волоконные световоды обладают преимуществами, делающими их незаменимыми при решении многих задач. Так, они позволяют передавать изображение без искажения при их изгибе по любому криволинейному профилю. Высокая световая эффективность световодов используется при создании осветительных систем эндоскопов. При этом источник света располагается вне прибора, что позволяет исключить нагрев изделия.

Волоконные осветители «холодного» света могут иметь торцы любой формы, например кольцевой, что обеспечивает высокую равномерность освещения объекта.

Оптическая схема гибкого волоконно-оптического эндоскопа показана на рис.8.2.



Источник света 1 (обычно галогенная лампа мощностью $100 - 300 \text{ Вт}$) с помощью конденсора 2 через тепловой фильтр 3 освещает торец осветительного жгута 4, который механически соединяется с осветительным жгутом 4', расположенным внутри корпуса эндоскопа, и подсвечивает объект контроля 10. Изображение поверхности объекта с помощью призмы 9, объектива 8, регулярного световода 5 и окуляра 6 наблюдают визуально или фотографируют.

Конструктивно эндоскопы выполняют в виде блока осветителя с осветительным световодом длиной $1,5 - 2,5 \text{ м}$ и собственно эндоскопа. Многие модели имеют механизм дистанционной фокусировки объектива и изгиба передней части эндоскопа (обычно длиной до 100 мм) в пределах $\pm 100^\circ$ (радиус изгиба достигает 25 мм при диаметре эндоскопа $5 - 10 \text{ мм}$). Корпус эндоскопа обычно заключен в герметичный металлорукав гибкой или полужесткой конструкции.

Можно создать технические эндоскопы с параллельным соединением жгутов для одновременного наблюдения нескольких точек объекта.

Для получения изображений можно применять жгуты с пониженной разрешающей способностью. Существуют и жесткие волоконно-оптические эндоскопы. Для них характерны повышенное качество изображения и простота конструкции. Выпускают также

комбинированные системы жестких эндоскопов, в которых изображение, передается оптической системой, а объект освещается волоконно-оптическим световодом.

8.3 Приборы автоматического контроля линейных размеров

Оптико-электронные приборы контроля геометрии изделия имеют преимущества, которые способствуют их широкому внедрению в практику неразрушающих испытаний:

- независимость результатов измерений от материала объекта контроля;
- допустимость относительно больших смещений изделия в поле зрения прибора за счет применения специальных оптических систем с параллельным (телецентрическим) ходом лучей;
- высокую точность;
- быстрдействие;
- возможность автоматизации.

Отсутствие измерительных усилий особенно важно при контроле объектов с малой шероховатостью поверхности, изделий из материалов с малой механической прочностью.

Существующие приборы для контроля геометрии изделий принято делить на фотокомпенсационные, фотоследящие и фотоимпульсные. Кроме того, иногда в отдельную группу выделяют телевизионные, лазерные и растровые системы.

Действие *фотокомпенсационных приборов* основано на сравнении двух световых потоков, один из которых частично перекрывается контролируемым изделием, а другой — подвижной заслонкой-эталонном, положение которой при равенстве потоков характеризует размер изделия.

При контроле *фотоследящим методом* положение каждой границы изделий определяется бесконтактно следящей системой.

Наиболее распространены *фотоимпульсные приборы*. Их действие основано на применении развертки изображения для образования светового импульса, длительность которого определяется размером изделия. Преимуществом их является нечувствительность к изменению параметров воздушной среды, что особенно важно при эксплуатации прибором в тяжелых производственных условиях, например на прокатных станах.

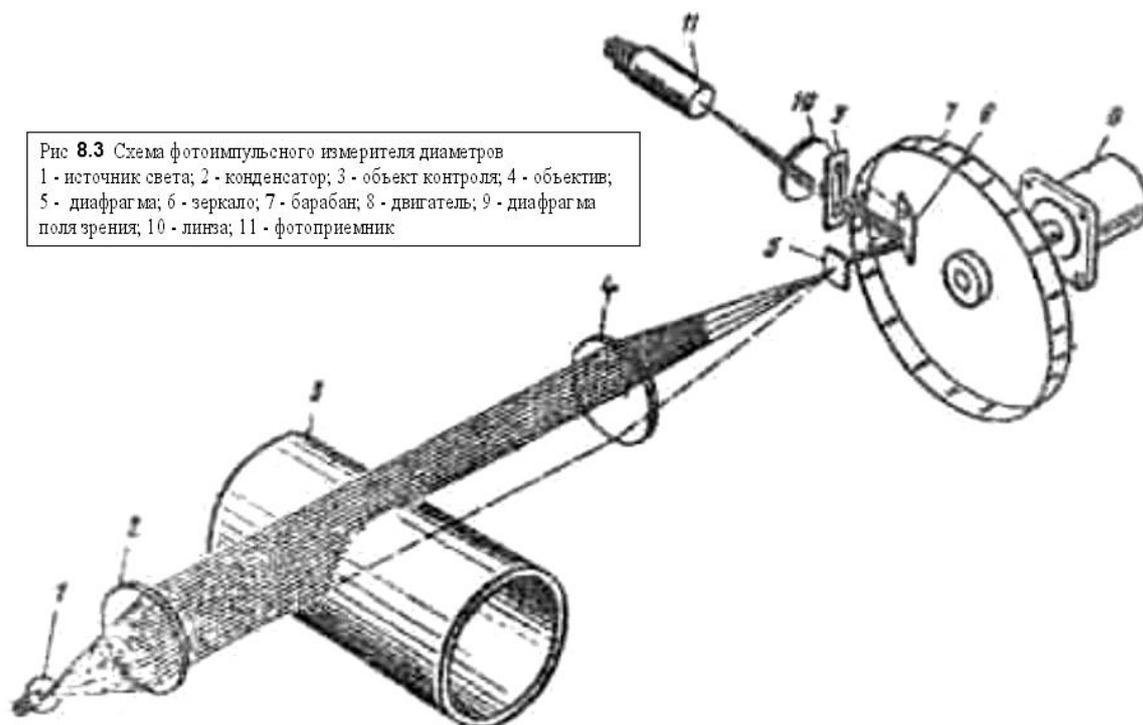


Рис. 8.3 Схема фотоимпульсного измерителя диаметров
1 - источник света; 2 - конденсатор; 3 - объект контроля; 4 - объектив;
5 - диафрагма; 6 - зеркало; 7 - барабан; 8 - двигатель; 9 - диафрагма
поля зрения; 10 - линза; 11 - фотоприемник

Действие фотоимпульсного измерителя диаметров (рис. 8.3) основано на развертке оптического изображения контролируемой трубы с помощью цилиндрического непрозрачного вращающегося барабана со щелями и определении длительности

образующихся при этом импульсов света. Постоянная времени приборов этого типа для оптико-механических сканирующих систем составляет $10^{-2} - 10^{-3}$ с, для электронных устройств $10^{-4} - 10^{-6}$ с.

Структурная схема системы контроля геометрии включает источник подсветки и преобразователь световых сигналов в электрические. В ряде случаев, например при контроле горячего проката ($800 \dots 1050$ °С), подсветка отсутствует и используется собственное излучение объекта.

Основной частью оптической системы этих приборов является объектив для получения изображения контролируемого изделия.

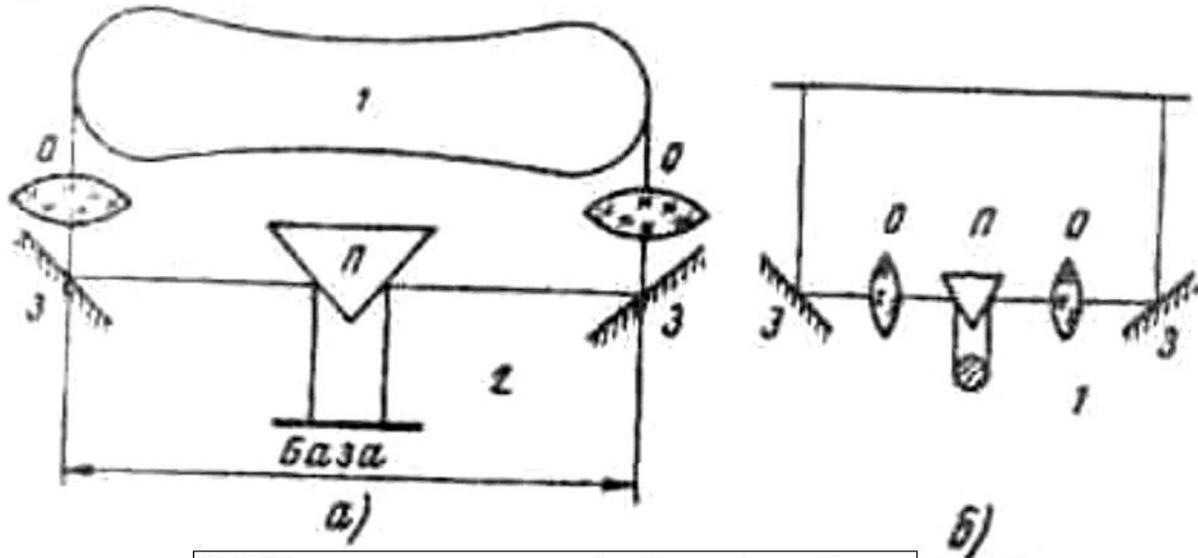


Рис. 8.4 Схемы контроля размеров с помощью базовой системы а) - макрообъектов (система сведения); б) микрообъектов (система раздвоения изображения); 1 - объект; 2 - плоскость сканирования; 0 - объектив; 3 - зеркало; П - призма

Часто применяют базовую систему измерений, позволяющую свести измерения объекта к определению краевых зон его изображения. Типовые схемы оптических систем этого рода показаны на рис. 8.4.