

Глава 3 Некоторые принципы построения оптики микроскопа.

В начале этой главы хотелось бы сказать добрые слова о моём самом близком учителе, профессоре *Звереве В.А.* Раньше он был большим руководителем в советском предприятии Ломо, где проявил себя уникальным инженером, участвовавшим, в том числе в создании 6 метрового телескопа – гордости советского оптического приборостроения. Затем он стал преподавателем в профильном институте, написал несколько книг, преподавал оптические дисциплины. Он был моим научным руководителем при подготовке диссертации; мы работали “рука об руку” и весьма не формально. Мы довольно часто встречались у него дома, обсуждая не только “оптические вопросы”, но и просто беседуя на разные темы. Виктор Алексеевич не просто педагог, а человек, сумевший передать много души, творческой энергии и стремления к результату. Отличный теоретик оптики, выдающийся инженер высшей квалификации. Основа его «послужного списка» - плеяда инженеров и ученых, которых он обучал некоторым аспектам оптики. Конечно, невозможно описать все грани его таланта, не говоря уже о том, чтобы отнять у него хотя бы небольшую часть его знаний и опыта. Но он раздал все таланты - бесплатно своим ученикам и просто всем тем людям, которые работали и жили рядом с ним; он передал многим инженерам и ученым любовь к оптике и дизайну. Благодаря этому человеку российская оптическая наука развивается и укрепляется; он - одна из «легенд» русского оптического приборостроения.

3.1 Элементная база и принципы композиции оптических систем микроскопа.

3.1.1 Аберрационные свойства сферической поверхности.

Пусть на одной из линий, проходящей центр C_v сферической преломляющей поверхности и принятой в качестве оптической оси, расположена осевая точка A_{v0} предмета, как показано на Фигуре 3.1.....

..... Минимальное расстояние ρ между двумя разрешимыми штрихами тест-объекта Фуко в плоскости объекта можно определить по формуле вида

$$\rho = \psi \frac{\lambda}{2n \sin \sigma}. \quad (3.20)$$

если $n' = 1$ то диаметр выходного зрачка микроскопа

$$d' = 2f'_{oc} \sin \sigma' = 2f'_m n \sin \sigma. \quad (3.21)$$

Диаметр выходного зрачка микроскопа определяет диаметр входного зрачка глаза. Зрачок глаза представляет собой отверстие в непрозрачной радужной оболочке, через которое световой поток проникает в глаз. Диаметр зрачка глаза непостоянен и зависит главным образом от яркости воспринимаемой глазом картины. Изменение размера зрачка глаза происходит из-за сокращения одних и расслабления других мышц радужки и происходит без участия воли человека. Реакция зрачка может быть вызвана различными причинами, даже эмоциями, но, прежде всего, изменением яркости фона. По мере увеличения яркости фона диаметр зрачка уменьшается. В общем случае эта зависимость определяется по формуле [7]:

$$d_{eye} = 5 - 3th(0.4 \cdot \lg L), \quad (3.22)$$

где d_{eye} – диаметр зрачка глаза, мм;

L – яркость фона, кд / м²;

th – гиперболический тангенс: $thx = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$.

Легко убедиться, что в крайних случаях, когда $L=0$: $d_{eye} = 5 - 3 \cdot (-1) = 8$ мм, и если $L=\infty$:

$$d_{eye} = 5 - 3 \cdot 1 = 2 \text{ мм.}$$

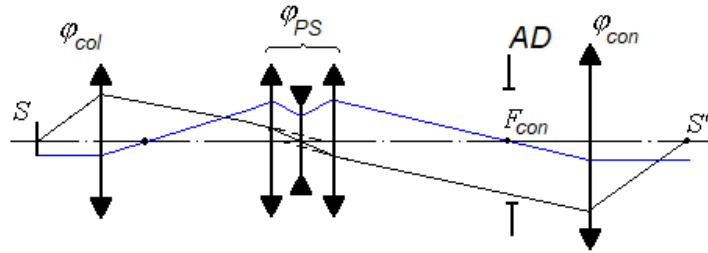
Как показано Н.И. Пинегиным [8], диаметр зрачка глаза зависит не только от яркости фона, но и от его размера: уменьшение углового размера поля при постоянной яркости фона приводит к увеличению зрачка глаза. Однако при постоянной яркости фона увеличение поля выше 5^0 - 10^0 практически не влияет на размер зрачка глаза. Чтобы определить разрешение микроскопа в сочетании с глазом, нужно, очевидно, знать свойства глаза и знать, как влияют его дефекты.

3.3 Коэффициент добротности (Q- фактор) оптической системы микроскопа.

Световой поток, формирующий изображение, приближенно будем считать равным

$$F = \pi \cdot L \sin^2 \sigma' \cdot ds' = \pi \cdot L_0 n^2 \sin^2 \sigma' \cdot ds',$$

где L_0 – редуцированная к воздуху яркость излучения; ds' – площадь изображения.



Фигура 3.15 Схема осветительного устройства микроскопа с оптической системой переменного увеличения при критическом методе освещения (первый вариант)

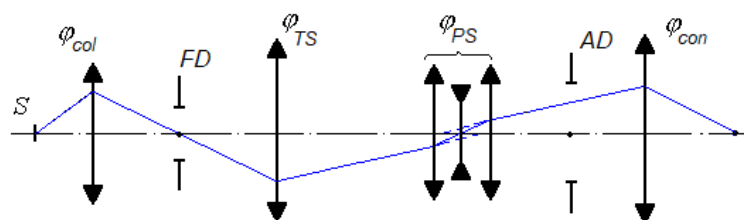
Возможным недостатком такой схемы можно считать то, что контур освещаемого поля определяется контуром поверхности источника излучения. Для исключения этого недостатка можно дополнить схему на Фигуре 3.15 системой переноса изображения φ_{TS} источника излучения, как показано на Фигуре 3.16.

Вполне очевидно, что применение системы переменного увеличения приводит к усложнению оптической схемы осветительного устройства на две линзы при однокомпонентной базовой схеме переменного увеличения и на четыре линзы при трехкомпонентной базовой схеме. Однако, требования к изготовлению этих линз весьма низки, а, следовательно, достаточно низка и трудоемкость их изготовления, при этом эффективность использования светового потока можно повысить на порядок.

3.5 Разработка фронтальных компонентов объективов микроскопов. Оптический дизайн.

Известно, что в системе светового микроскопа объектив является самой главной частью. Это признают многие исследователи, как дизайнеры оптических систем микроскопов, так и те, кто микроскоп использует в своей работе для решения прикладных задач. Именно поэтому в арсенале микроскописта как правило, имеется некоторое количество объективов, которые отличаются как потребительскими свойствами, так и степенью абберационной коррекции. Обоснованный выбор конкретного объектива для конкретных видов исследований является неотъемлемой частью работы любого микроскописта.

Однако мы практически никогда не задумываемся о том, из каких частей (линзовых и механических элементов) состоит тот или иной объектив для светового микроскопа. Вместе с тем,.....



Фигура 3.16 Схема осветительного устройства микроскопа с оптической системой переменного увеличения при критическом методе освещения (второй вариант)

3.7 Пример оптического и механического дизайна объектива для микроскопа.

Допустим, требуется выполнить оптический дизайн объектива, технические и потребительские параметры которого соответствуют указанным в некотором “Техническом задании”.

3.7.1 “Техническое задание” для дизайна:

1. Габаритные характеристики:

Линейное увеличение $V=-20$ крат.

Числовая апертура в пространстве предметов не менее $A=0.75$.

Линейное поле в пространстве предметов $2y=1.0$ мм.

Оптическая длина тубуса ∞

Заднее фокусное расстояние объектива $F'=8$ мм.

Положение входного зрачка в бесконечности.

Положение выходного зрачка (от плоскости объекта) - произвольно.....

..... их контроля и аттестации. Также выявление бракованных деталей, оптико-механических компонентов и полностью собранных объективов может быть формализовано; например, существующая концепция ASM может позволить осуществить такой контроль и “разбраковку” некачественных деталей, при достижении максимальной объективности этого процесса.

При невозможности "интегрировать" конкретный “оптический дизайн”, используя существующую номенклатуру механических деталей, могут быть разработаны другие их типоразмеры, но обязательно, с учётом и в рамках описанного инженерного решения; номенклатура деталей просто будет расширена. Такой подход, в свою очередь, даёт возможность применения типовой технологии изготовления механических деталей, наиболее полного использования специальной оснастки и контрольного оборудования.

Будем считать, что новый разрабатываемый объектив 20x0.80 относится к бюджетным объективам средней серии; он тоже требует применения описанного здесь механического дизайна.

3.7.13 Описание конструкции разработанного микрообъектива.

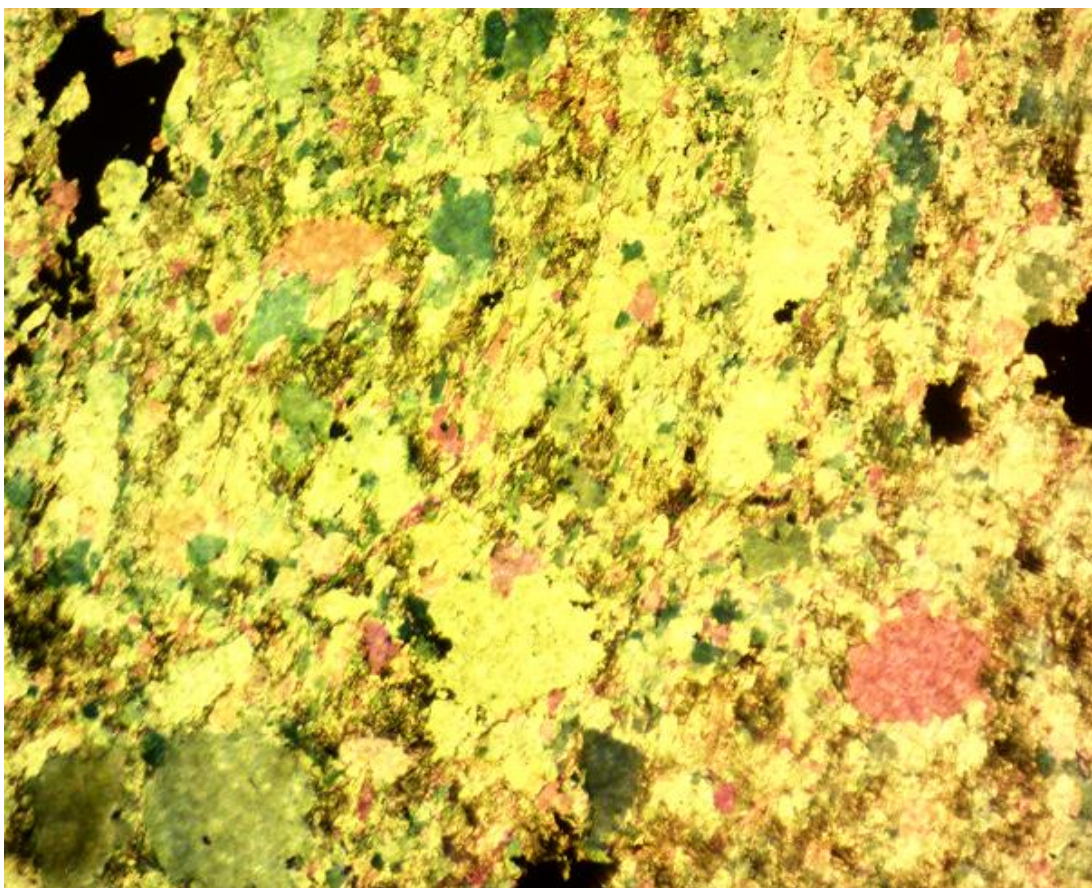
Разработанный объектив состоит из четырех линзовых компонентов. Каждый линзовый компонент устанавливается в отдельную оправу на клей; таким образом получается оптико-механический компонент. Затем каждый оптико-механический компонент подвергается механической обработке при использовании, так называемого, метода автоколлимации; при этом достигается совмещение оптической оси линзы с механической осью оправы. Все оптико-механические компоненты устанавливаются в общий сквозной (внутренний) корпус и зажимаются с двух сторон резьбовыми кольцами. В разработанном механическом дизайне этого объектива предусмотрено наличие прокладных колец между торцевым кольцом и первым узлом и между первым и вторым узлом. С их помощью достигается коррекция объектива по сферической аберрации, а также обеспечивается размер парфокальной высоты объектива 45 ± 0.015 мм.

Третий оптико-механический компонент конструкции имеет “меньший” посадочный диаметр, а в корпусе имеются четыре диаметрально расположенных отверстия, с помощью которых может осуществляться поперечное смещение (перпендикулярно оптической оси системы) этого оптико-механический компонента, и тем самым достигается центровка объектива относительно присоединительной резьбы и торца. Для надежной фиксации третьего узла зазор между этим узлом и корпусом заливается герметиком через те же отверстия. После окончательной сборки объектива на внешний корпус навинчивается декоративный колпак.

3.8 Пример дизайна стереоскопического микроскопа.

3.8.1 Физиологический и геометрический факторы стереоскопического зрения.

Человек обладает двумя глазами, поля зрения в которых практически совпадают. Поэтому оба глаза человека видят одновременно одни и те же предметы. При этом....



Фигура 3.89 Фотография реального объекта, выполненная на микроскопе МПС-2.

3.10 Микроскопы сравнения.

Назначение микроскопов сравнения определяется их названием, они предназначены для идентификации изображений сравниваемых исследуемых объектов. Отличительной особенностью микроскопов сравнения является наличие специального оптико-механического модуля, позволяющего сводить в единое визуальное пространство два изображения, получаемых посредством двух микроскопов. Можно сказать, что этот оптико-механический модуль есть главный элемент микроскопов сравнения. Но и два микроскопа, формирующих независимые первичные изображения двух объектов, подлежащих идентификации, должны быть не просто функционально схожими, а иметь одинаковые оптические и механические конструкции, комплектоваться абсолютно одинаковыми оптико-механическими узлами, такими как объективы, осветительные и прочие системы. От того насколько тщательно выполнена калибровка и юстировка микроскопов сравнения, настройка их осветительных систем, сборка объективов, регулировка фокусируемых механизмов (даже тщательный подбор источников света по спектральным и другим характеристикам) - зависит качество и достоверность проводимых исследований по идентификации предъявляемых к исследованию объектов.

3.10.1 Микроскоп сравнения МС-51.

Приведём некоторые параметры этого прибора в качестве примера описания принципа работы стандартного микроскопа сравнения. Микроскоп МС-51 является специальным микроскопом, предназначенным для исследования двух сравниваемых подобных друг другу объектов.....