

Унификация конструкций микрообъективов с учётом автоматизации их сборки.

С.М. Латыев Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург (812) 595-41-68, e-mail: latyev@grv.ifmo.ru ; А.Г. Табачков НПП «Фокус», Санкт-Петербург ; Д.Н. Фролов Проект Labor-Microscopes, Санкт-Петербург

Рассматриваются аспекты и результаты унификации микрообъективов, позволившие создать рациональную базовую конструкцию и типовой ряд наиболее востребованных линзовых микрообъективов, а также повысить эффективность их изготовления, сборки и контроля. В унифицированной конструкции заложена возможность автоматизации сборочных процессов в производстве микрообъективов.

Введение

Первым после согласования технического задания является оптический расчёт, в результате которого выполняются требуемые габаритные и абберационные характеристики объектива, определяется расположение его оптических силовых компонентов, моделируется прохождение лучей через систему и процесс построения изображения с требуемыми габаритными характеристиками и качеством изображения. Оптический расчёт является результатом процесса композиции расположения линз относительно друг друга в системе микрообъектива [1] и определяет исходные требования для выполнения конструктивных и технологических особенностей объектива при инженерном проектировании оптико-механической конструкции, разработке технологии производства оптических и механических деталей, сборки отдельных оптико-механических узлов и микрообъектива в целом.

Проектирование оптико-механической конструкции микрообъектива является важнейшим этапом при разработке, определяет внешний вид, габаритные, потребительские характеристики объектива, обуславливает количество и конфигурацию механических деталей, особенности базирования и крепления линз в оправе и узлов в корпусе, обеспечивает возможность реализации юстировочных подвижек узлов в корпусе. Оптико-механическая конструкция микрообъектива предопределяет применение элементов автоматизации процесса его сборки и контроля результирующего качества [2].

Комплексная унификация конструкций объективов, представляющая собой унификацию их оптических и оптико-механических конструкций является необходимым условием для возможности разработки элементов автоматизированной сборки и аттестации микрообъективов.

Унификация технических характеристик объективов

Технические характеристики всех вновь разрабатываемых микрообъективов должны быть унифицированы в соответствии с техническим регламентом, который согласован мировыми производителями этого вида техники. В современных микроскопах применяются микрообъективы, рассчитанные для бесконечной оптической длины тубуса (с дополнительной фокусирующей системой), а выбор ряда фокусных расстояний микрообъективов определяет габариты микроскопа. Унифицированными являются габариты и присоединительные размеры объективов к микроскопам, особенности расположения на корпусе и внешнего вида надписей, носящих информационный характер. Наиболее оптимальным решением стало бы обеспечение взаимозаменяемости отечественных объективов с зарубежными аналогами. Это позволило бы комплектовать отечественными объективами микроскопы различных мировых производителей.

При проектировании микрообъективов, имеющих унифицированные технические характеристики используются новые методики и подходы к оптическому расчету, проектированию оптико-механических конструкций, разработке технологий изготовления деталей, а также сборки и контроля микрообъективов. Используются наиболее рациональные унифицированные конструкции объективов, современные технологии их изготовления, сборки и контроля. Необходимость унификации, в свою очередь, обусловлена требованиями снижения затрат на проектирование и производство микрообъективов, внедрением элементов автоматизации сборочных и юстировочных операций.

Унификация оптических конструкций

Оптические конструкции микрообъективов, представляющие собой результаты оптических расчётов, для микрообъективов, как правило, достаточно сложны, включают несколько элементов – одиночных в форме мениска, двух и трёхсклеенных компонентов. К характеристикам унификации оптических конструкций можно отнести такие параметры как принципиальная оптическая схема, степень абберационной коррекции, оптические материалы, используемые оптические покрытия, клеи и др. Кроме того, конструкция любого микрообъектива может быть построена как сочетание, композиция некоторых базовых оптических компонентов с заранее известными габаритными и абберационными свойствами. К таким компонентам можно, отнести одиночные мениски, положительные одиночные и двусклеенные линзы, используемые в «средней» части микрообъективов, и другие. В качестве примера приведём описание унифицированной оптической конструкции, представленной на рисунке 1, объектива с оптической коррекцией стигмахромат (отечественный шифр ОСХ) [3]. Она используется в качестве базовой в нескольких

микрообъективах, имеющих различные линейные увеличения, изготавливаемых в настоящее время промышленностью.

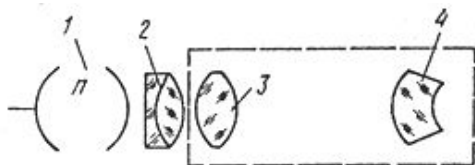


рис.1

Унифицированная оптическая конструкция микрообъектива содержит два компонента, первый из которых включает «n» фронтальных положительных линз 1 и двусклеенную линзу 2, а второй состоит из одиночных двояковыпуклой линзы 3 и мениска 4. Благодаря использованию данного решения были получены варианты ахроматических объективов микроскопа с различным количеством фронтальных положительных компонентов $n=0-3$. Отличительной особенностью конструкции является наличие «n» последовательно расположенных вдоль оптической оси одиночных положительных компонентов, установленных перед двусклеенной линзой, количество которых в оптической схеме объектива выбирается из соотношения: $n = \frac{f'_2}{f'_{об}} - 1$, где f'_2 , $f'_{об}$ - приведенные фокусные расстояния второго компонента и объектива в целом соответственно. Это позволяет проводить расчёт микрообъективов с различными линейными увеличениями и числовыми апертурами.

Унификация оптико-механических конструкций

Унификация конструкций и механических деталей микрообъективов направлена на снижение номенклатуры деталей, специализированного оборудования и оснастки, широкое использование хорошо отработанных типовых технологических процессов изготовления деталей и их сборки в рамках единой оптико-механической конструкции объектива. Также унификация помогает существенно сократить сроки и затраты на проектирование, снижает количество мерительного инструмента, позволяет избежать переналадок технологического оборудования. Поэтому проведение унификации уже на стадии проектирования микрообъектива является весьма актуальной задачей от эффективности решения которой в большой степени зависит пригодность объектива к серийному производству.

Разработанная нами базовая модель оптико-механической конструкции микрообъектива позволила реализовать возможность получения весьма большого количества различных вариантов объективов, используя ограниченное количество механических деталей в соответствии с выбранными параметрическими рядами их размеров. Это, в свою очередь,

позволило провести унификацию деталей по конфигурации, размерам и форме, а также заложить возможность автоматизации их сборки и юстировки.

На рисунке 2 представлена модель базового микрообъектива, в котором применена комплексная унификация конструкции объектива. На ссылках указаны основные унифицированные механические детали.

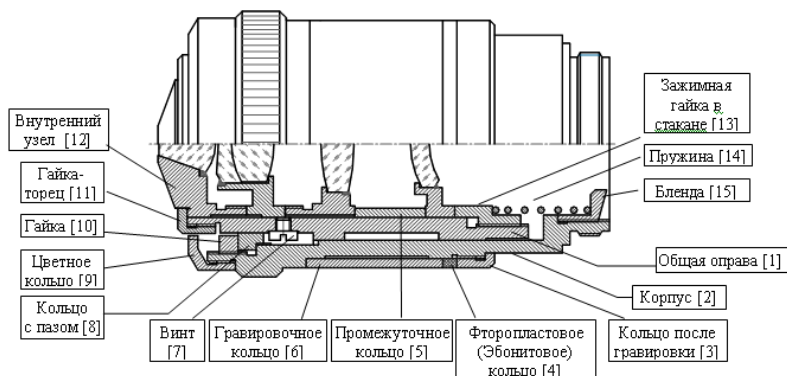


рис.2

На основе этой унифицированной конструкции реализована линейка из шести модифицированных параметрических рядов механических деталей объективов стигмахроматов (ОСХ), что позволяет осуществить типовой процесс сборки более 350 вариантов различных микрообъективов. Уровень унификации характеризуется коэффициентом применимости механических деталей и составляет от 65 до 100%.

«Виртуальное качество» микрообъективов

Идея «виртуального качества» [5], её естественного элемента «виртуальной сборки» может рассматриваться как действенный инструмент при назначении и оптимизации значений допусков в схеме объектива, позволяет определить в оптико-механической конструкции значение регулируемого воздушного промежутка (в сложных объективах их может быть два), а также отказаться от «подвижного» перпендикулярно оптической оси компонента [6]. Кроме того, использование системы «виртуального качества» позволило провести исследование комплексного влияния отклонений от расчётных значений конструктивных параметров узлов, компонентов микрообъектива вместе и каждого из них отдельно - на результирующее качество изображения.

При «виртуальной сборке» нужно измерить практически все реальные значения деталей и узлов, предназначенных для дальнейшей сборки целой партии микрообъективов, выявить их погрешности и, создав банк данных для дальнейших расчётов в системе «виртуальное качество», скомплектовать детали и узлы. Затем, осуществив расчёт «виртуального качества», можно приступить к реальной сборке партии микрообъективов, используя те или иные комбинации деталей и узлов. Таким образом, реальная сборка и оценка качества изображения микрообъектива осуществляются в

полном соответствии с результатами «виртуальной сборки» и «виртуального качества».

Вместе с тем, «виртуальную сборку» можно рассматривать лишь как один из возможных инструментов автоматизации сборки микрообъективов и то лишь для ограниченной их номенклатуры. Серьёзные препятствия использования инструмента «виртуальной сборки» в процессе производства объективов, связаны с измерениями деталей, поскольку количество таких измерений очень велико и каждое из них достаточно трудоёмко, требует специальной методики и оснастки. При аттестации, например, прецизионных высокоапертурных фронтальных линз микрообъективов непреодолимым препятствием для этого метода является недостижимая на практике требуемая точность измерений. В целом, целесообразность такой автоматизации зависит от количества и номенклатуры изготавливаемых микрообъективов.

Автоматизация сборочных процессов

Автоматизация сборочных процессов и обеспечения целевых показателей качества микрообъективов (качества изображения, высоты и «центровки») основано на адаптивной селекции компонентов и сборочных процессов по результатам «виртуальной» модели сборки. Специфическими особенностями этой автоматизации являются трудности, обусловленные жёсткими точностными параметрами линз и механических деталей, их сочетаний при расположении в единой конструкции.

Проблема автоматизации сборки микрообъективов носит комплексный характер, поскольку в результате её проведения требуется достичь в реально изготовленном объективе «дифракционно-ограниченного» качества изображения, которое оценивается долями рабочей длины волны. При этом считается, что не только автоматизация сборки микрообъективов, но и автоматизация оценки их качества, если и реализуемы «теоретически», на практике не возможны. Считается, что исключить весьма трудоёмкий процесс дополнительной юстировки собираемого объектива не представляется возможным, даже если все детали изготовлены без отклонений от требований конструкторской и технологической документации.

Практическая реализация комплексной автоматизации сборки микрообъективов пока не достигнута. Но проводятся теоретические и прикладные исследования, разрабатываются варианты её решения [7]. Создание унифицированных конструкций микрообъективов, реализующих методы группового проектирования и изготовления линз, механических деталей, оптико-механических узлов и объективов в целом, стало одним из первых практических результатов этих работ.

Использование методики адаптивно-селективной сборки (АСС), ставшая следующим шагом в поиске рациональной методологии, отвечающей концепции групповой сборки объективов, была адаптирована ко всем этапам производства микрообъективов от расчёта оптических систем до

аттестации готовых изделий. На этапе оптического расчёта, например, использование АСС позволило устранить не полное соответствие оптического расчета реальному расположению узлов в собранном микрообъективе. На основе АСС может быть создана методика инженерного расчёта допусков, базирующаяся на законах распределения технологических погрешностей в реально изготовленных узлах и компонентах.

Линзовый объектив должен отвечать целому ряду требований к техническим параметрам, надежности, минимизации габаритов и другим, но основными показателями качества собранного микрообъектива являются абберационное качество создаваемого изображения, обеспечение высоты и соосности (центричность) его оптической и механической осей.

Конструкции микрообъективов с элементами автоматизации сборки

Создание конструкций, позволяющих автоматизировать частично или полностью процесс сборки и контроля микрообъективов, является весьма сложной инженерной задачей, в настоящее время проводятся исследования для выявления эффективности применения нескольких инженерных решений.

Идея унификации фронтальных компонентов микрообъективов (по признаку выполнения в них условия исправления неизопланатизма) уже на стадии оптического расчёта и способа автоматизации их контроля [8] может оказаться полезной при реализации элементов автоматизации изготовления «простых» ахроматических объективов при крупносерийном производстве.

Успех в достижении автоматизации сборки и контроля качества зависит также от уровня развития элементной базы изделий системотехники и микроэлектроники, которые в настоящее время, не в полной мере соответствуют критериям, определяемым сложными оптическими системами.

Основной принцип работы элементов автоматизированных систем состоит в проекции изображения выбранного в качестве эталона, тест-объекта на приёмник оптического изображения для последующего исследования. По результатам исследования (с помощью специализированных алгоритмов) информация по исполнению юстировочных операций в собираемом микрообъективе в целом или его отдельном узле передаётся элементам используемой при автоматизации роботизированной системы.

Литература:

1. Д.Н. Фролов Синтез оптических систем линзовых микрообъективов. Оптический журнал, том 69, № 9, 2002, стр. 16-20

2. С.М. Латыев Конструирование точных (оптических) приборов, СПб, Политехника, 2007.
3. Д.Н. Фролов, Н.В.Королёва «Ахроматический объектив микроскопа» Патент РФ 1767466, опубликован 07.10.92
4. Д.Н. Фролов, К.-Р. Zocher, С.М. Латыев, В.С. Падун Разработка, конструкция и производство микрообъективов под комплексным аспектом адаптивно-селективной сборки (АСС) Качество машин: Международный научно-технический сборник. Вып. 1. СП-б.: Изд-во Политехнического университета, 2006, стр. 9 – 13
5. D.N. Frolov, O.A Vinogradova. Ease of Manufacturing and Definition of the Tolerances for Fabrication and Assemblies of Microobjectives. 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium Technische Universität Ilmenau 19.-23. September 2005, p.93–94.
6. С.М. Латыев, А.П. Смирнов, Д.Н.Фролов, А.Г. Табачков, Р. Тезка. Обеспечение целевых показателей качества при автоматизации сборки микрообъективов. Оптический журнал. 2010.Т.77, №1, с.49-53.
7. С.М. Латыев, А.П. Смирнов, А.А. Воронин, Б.С. Падун, Е.И. Яблочников, Д.Н. Фролов, А.Г. Табачков, Р.Тезка, П Цохер. Концепция линии автоматизированной сборки микрообъектива на основе адаптивной селекции его компонентов Оптический журнал. 2009. Т. 76. № 7. С. 79–83.
8. О. А. Vinogradova, A.D. Pavliy, A.D. Frolov, D.N. Frolov Calculation optical systems of lenses objectives with using elements of adaptive-selection assembly. The 7th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication, “ODF'10, Yokohama,” April 19-21, 2010 p.79–80