

РАСЧЕТ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 681.7.028.2

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ БАЗИРОВАНИЯ ЛИНЗ В ОПРАВАХ

© 2015 г. Буй Динь Бао, аспирант; С. М. Латыев, доктор техн. наук;
П. А. Белойван, студент; А. Г. Табачков, канд. техн. наук

Университет ИТМО, Санкт Петербург

E-mail: buidinhbao@mail.ru, smlatyev@yandex.ru

В статье проведен анализ проблем базирования линз в оправках на примере известных методов их сборки. В процессе анализа показана взаимосвязь конструкторских и технологических решений с точностными параметрами станочного оборудования. Рассмотрен способ автоматизированной центровки линз при их вклейке в оправы, приводятся конструкции оправ, разработанные для повышения точности центровки линз.

Ключевые слова: линзы, оправы, центровка, юстировка.

Коды OCIS: 220.0220; 230.0230.

Поступила в редакцию 29.01.2015.

Введение

Технологический процесс сборки объективов должен быть построен так, чтобы обеспечить наилучшую взаимную центровку оптических поверхностей системы, выдержать с требуемой точностью воздушные промежутки между несклеиваемыми поверхностями и не допустить деформаций поверхностей. При изготовлении линз после обработки их рабочих поверхностей каждую линзу центрируют на специальных станках, обрабатывая абразивным кругом наружную цилиндрическую поверхность линзы так, чтобы совместить геометрическую ось этой поверхности с оптической осью линзы. Если цилиндрическая поверхность линзы будет выбрана в оправе объектива в качестве сборочной базы, то несовпадение оптической и геометрической осей характеризует децентрировку линзы, величина которой определяется разностью радиусов кривизны линзы по краю ее световой зоны. В оправе линза в осевом направлении базируется на одну из своих рабочих поверхностей или базовую (плоскую, иногда коническую) фаску.

В радиальном направлении ее смещения ограничиваются посадкой по цилиндрической поверхности (за исключением базирования по конической фаске). Данное базирование линз обычно применяется в насыпной конструкции осветительных устройств или в оправках объективов, которые обладают достаточно малыми относительными отверстиями. Как показал многолетний опыт применения, линзы, предварительно центрированные и закрепленные в оправках, позволяют построить процесс сборки оптических систем более технологичным. Однако при этом следует учитывать погрешности изготовления оправы, которые определяют расположение центров кривизны рабочих поверхностей линзы на базовой оси оправы (если одна из рабочих поверхностей линзы плоская, то она должна располагаться перпендикулярно базовой оси оправы), что будет рассмотрено ниже и представлено на рис. 1.

Базирование линзы в оправе удалось упростить и повысить качество сборки, применив метод, предложенный Линником В.П. и Радченко П.Д. [1, 2]. Этот метод сборки заключается

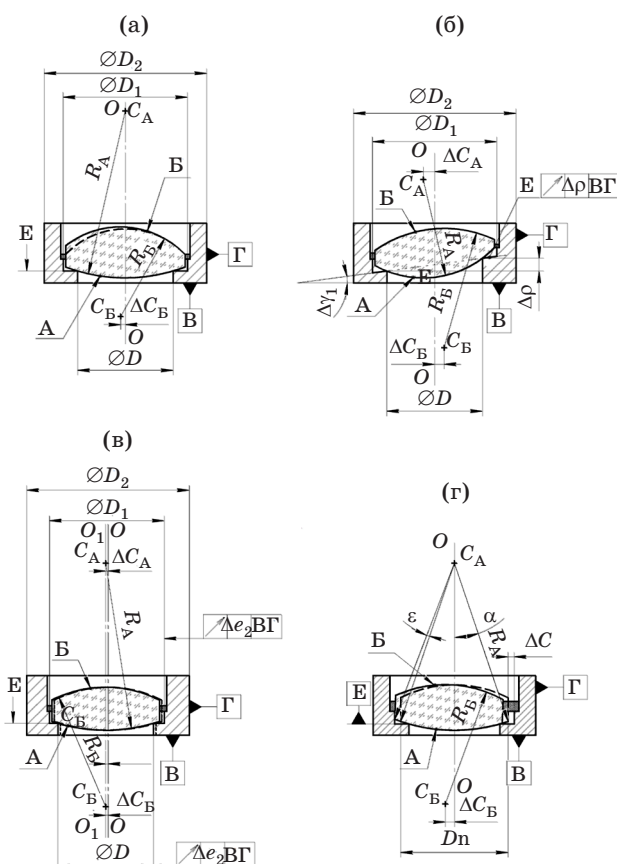


Рис. 1. Погрешности, вызывающие децентрировки рабочих поверхностей линзы относительно базовой оси оправы.

в том, что линзы предварительно закрепляют без центрировки в своих оправках, имеющих припуски на обработку наружных поверхностей. Затем оправки с линзами устанавливают на специальном “плавающем” патроне, который позволяет с помощью регулировочных винтов совместить оптическую ось линзы с осью шпинделя центрировочного станка. После этого наружные поверхности оправ окончательно обрабатывают (от оптической оси – “результативно”). Очевидные преимущества сборки линз в оправках, которая не требует точной центрировки самой линзы и предварительного точного изготовления оправки методом Линника–Радченко, определили создание специалистами ряда фирм весьма дорогостоящего специализированного оборудования для автоматизации этого процесса [3].

Альтернативой методу результативной обработки является процесс центрировки линз в оправках, изготовленных в номинальный размер, в процессе их вклейки в оправки. Данное обстоятельство стало в настоящее время воз-

можным благодаря созданию прецизионных станков, позволяющих существенно повысить точность изготовления оправ линз, разработке автоматизированного оборудования для сборки линзовых узлов и контроля децентрировок линз в оправках, а также благодаря внедрению клеящих веществ быстрого отверждения. Способ основан на том, что до момента затвердевания клеящего вещества возможна юстировка линзы относительно базовой оси оправки. Благодаря относительной простоте автоматизации процесса сборки некоторые фирмы стали производить автоматизированные станции для вклейки и центрировки линз и других оптических деталей в их оправках, которые существенно дешевле станций для результативной обработки оправ [4, 5].

Оправка линзы и линза имеют многочисленные погрешности, влияющие на центрировку, поэтому ее выполнение с необходимой точностью требует проведения анализа погрешностей собираемых деталей и погрешностей, возникающих при вклейке и центрировке линзовых узлов на автоматизированной станции.

Погрешности, вызывающие децентрировки линз при базировании в оправках

При закреплении линзы в оправке необходимо, как было сказано выше, обеспечить расположение ее центров кривизны рабочих поверхностей на базовой оси оправки (если одна из рабочих поверхностей линзы плоская, то она должна располагаться перпендикулярно базовой оси оправки). Под базовой (ВГ) осью понимается ось цилиндрической базовой поверхности Г оправки, проходящая перпендикулярно ее плоской базовой поверхности В (см. рис. 1). Децентрировки (смещения центров кривизны с базовой оси оправки или наклон плоской поверхности линзы) возникают из-за технологических погрешностей при изготовлении линз и оправ.

Децентрировка Δe_1 самой линзы при ее изготовлении (согласно ГОСТ 2.412-81) задается позиционным допуском, допуском формы (разнотолщиной) или допуском перпендикулярности плоской поверхности. Поэтому, например, при установке линзы в оправку базовой поверхностью А на опорный торец Е гнезда оправки (рис. 1а) центр кривизны C_B поверхности В сместится с базовой оси ВГ оправки

на величину, равную позиционному допуску на эту погрешность

$$\Delta C_{B\Delta e_1} = \Delta e_1.$$

Неперпендикулярность $\Delta\gamma_1$ (биение $\Delta\rho$) опорного торца Е гнезда оправы (рис. 1б) приводит к децентрировкам центров кривизны обеих рабочих поверхностей линзы, пропорциональным их радиусам:

$$\Delta C_{A\Delta\gamma_1} \approx R_A \Delta\gamma_1 = R_A \Delta\rho / D,$$

$$\Delta C_{B\Delta\gamma_1} \approx (R_B - d) \Delta\gamma_1 = (R_B - d) \Delta\rho / D,$$

где d – толщина линзы по оси.

Эксцентриситет (биение) Δe_2 отверстия D в посадочном торце E оправы (в случае выполнения условия самоцентрировки линзы, когда в сопряжении отнимаются смещения линзы по осям Z, X, Y) или посадочного отверстия D_1 оправы (если условие самоцентрировки не выполняется, т.е. поверхность A приравнивается к плоской и в сопряжении отнимается смещение вдоль оси Z и повороты вокруг осей X, Y) вызывает смещения центров кривизны сферических рабочих поверхностей (рис. 1в), равные значению эксцентриситета

$$\Delta C_{A\Delta e_2} = \Delta C_{B\Delta e_2} = \Delta e_2.$$

Зазор ΔC в посадке линзы по диаметру D_1 может привести к наклону $\Delta\epsilon$ линзы (при выполнении условия самоцентрировки) при установке в оправу, приводящему к смещению центра кривизны поверхности B (рис. 1г), –

$$\begin{aligned} \Delta C_{B\Delta C} &= (R_A + R_B - d) \epsilon = \\ &= (R_A + R_B - d) \Delta C / \left(R_A \sqrt{1 - D_1^2 / (4R_A^2)} \right). \end{aligned}$$

При невыполнении условия самоцентрировки линза может сместиться в зазоре ΔC посадки, что приведет к децентрировке поверхности B (а также и A , если поверхность сферическая) на величину, равную половине зазора

$$\Delta C_B = \Delta C / 2.$$

Заметим, что если допуск на неперпендикулярность опорного торца задан не в виде торцевого биения $\Delta\rho$ (учитывающего погрешность расположения и шероховатость поверхности), а допуском на отклонение от перпендикулярности (допустимым наклоном торцевой поверхности $\Delta\gamma_1$), то при расчете децентрировок рабочих поверхностей линзы следует учитывать также влияние шероховатости торцевой поверхности

R_Z оправы, которая вызывает следующие смещения центров кривизны:

$$\Delta C_{A\Delta\gamma_1} \approx R_A R_Z / D,$$

$$\Delta C_{B\Delta\gamma_1} \approx (R_B - d) R_Z / D.$$

Центрировка линз при вклейке в оправы

Для повышения точности центрировки линзы в процессе вклейки ее можно юстировать наклоном или сдвигом в гнезде оправы. Однако при этом центрируется только одна рабочая поверхность, причем точность ее центрировки зависит от точности центрировочных средств.

Рассмотрим эти обстоятельства на примере использования автоматизированной станции OptiCentric фирмы TRIOPTICS [4, 6], которая центрирует линзу 3 при ее вклейке в оправу 2 быстроотвердевающим клеем под действием ультрафиолетового (УФ) излучения (рис. 2).

Центрировка линзы осуществляется ее наклоном (сдвигом) в зазоре посадки вокруг центра кривизны (C_A) поверхности A с помощью пьезоманипулятора 4, работающего под управлением фотоэлектрического автоколлиматора 5, приводящего центр кривизны поверхности B линзы на ось вращения патрона (цанги) 1 шпинделя станции. После этого включается УФ освещение и линза фиксируется в оправе.

Недостатком этой и подобных станций (несмотря на высокую чувствительность следящей системы 4, 5) является то, что здесь проводится центрировка только одной поверхности B линзы. Поэтому, если например опорный торец E не перпендикулярен базовой оси оправы, то децентрировка второй поверхности A линзы остается. Центр кривизны C_A будет смещен с базовой оси оправы на величину

$$\Delta C_A \approx (R_A - h) \Delta\gamma_1,$$

где R_A – радиус кривизны поверхности A линзы; h – стрелка прогиба поверхности A линзы при опоре на торец E , а если поверхность A плоская, то она будет неперпендикулярна базовой оси оправы на $\Delta\gamma_1$.

Причинами остаточной децентрировки линзы в оправе при вклейке на станции являются также биение оси вращения шпинделя станции (Δe_4), децентрировка (несоосность) оси цанги (патрона) относительно оси шпинделя (Δe_3), и биение (наклон $\Delta\gamma_2$) базового торца G цанги

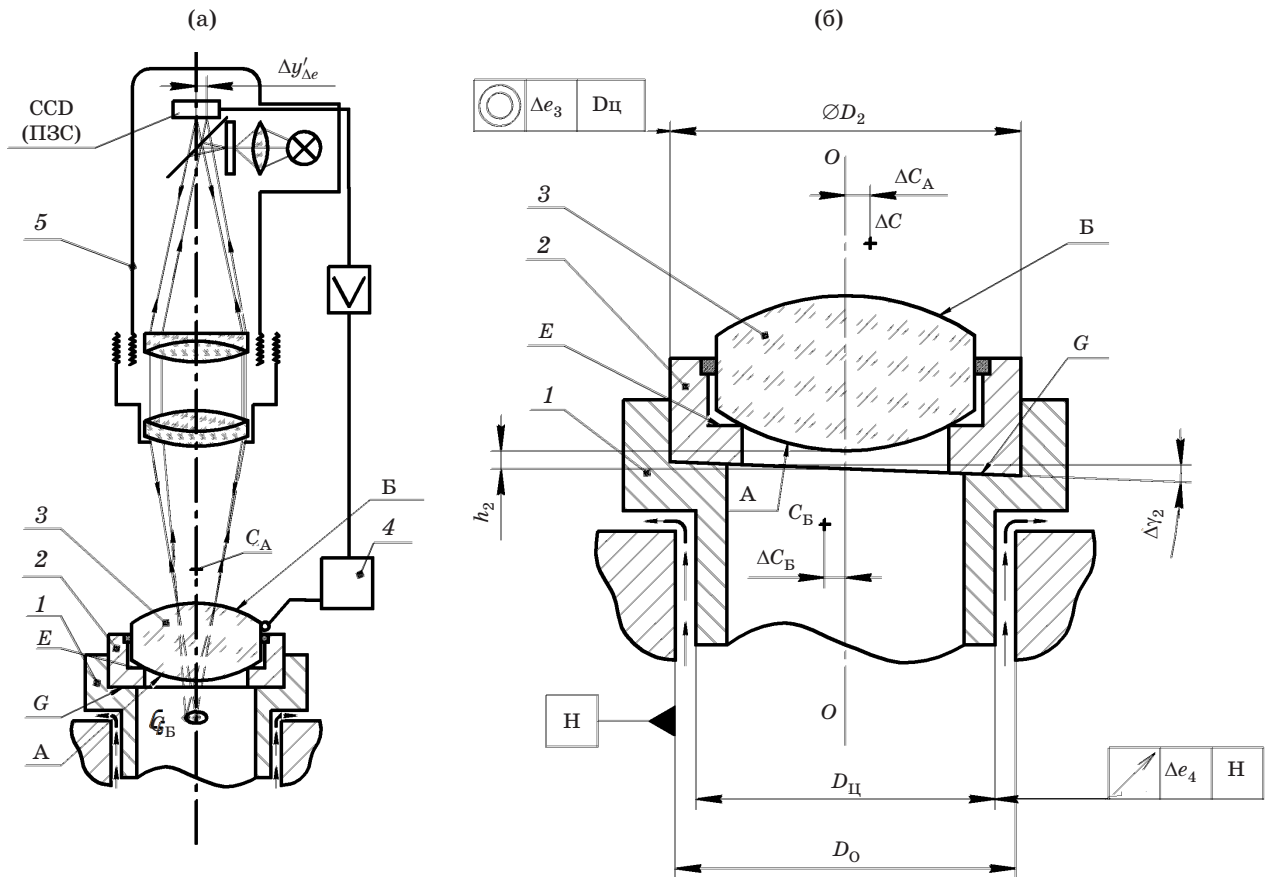


Рис. 2. а – функциональная схема станции для вклейки и центрировки линзы в оправе, б – схема крепления оправы линзы на станции.

(рис. 2б). В результате, даже при выставленных центрах кривизны линзы на ось шпинделя станка децентрировка линзы остается, так как центры кривизны не будут лежать на базовой оси оправы, т.е.

$$\Delta C_{A\Delta\gamma_2} \approx (R_A + h_2)\Delta\gamma_2; \Delta C_{B\Delta\gamma_2} \approx (R_B - d - h_2)\Delta\gamma_2;$$

$$\Delta C_{A\Delta e_3} = \Delta C_{B\Delta e_3} = \Delta e_3; \Delta C_{A\Delta e_4} = \Delta C_{B\Delta e_4} = \Delta e_4,$$

где h_2 – расстояние от базового торца G цанги до вершины линзы (рис. 2б).

Благодаря тому, что шпиндель станции вращается в аэростатических подшипниках, его биение достаточно мало (0,05–0,2 мкм), малыми, как правило, являются также биения внутренней оси и базового торца цанги. В связи с этим остаточная децентрировка линзы после ее центрирования на станции в основном будет определяться несовпадением центра кривизны поверхности A с осью вращения шпинделя станции (ΔC_A). В некоторых случаях погрешности формы и расположения опорного торца E оправы и отверстия ($\varnothing D$) в нем не позволяют обеспечить расположение центра кривизны поверхности A

на оси вращения с достаточной точностью. Тогда приходится пойти на усложнение оправы.

Центрировка поверхности A на станции будет возможна, если оправу линзы выполнить составной, содержащей основную 1 и промежуточную 2 части (рис. 3а) [7, 8]. Центрировка линзы 3 относительно базовой оси оправы 1 осуществляется в следующей последовательности. Вначале, воздействуя силой F_2 на промежуточную оправу 2, наклоняют ее вокруг центра кривизны C_0 опорной сферической поверхности оправы до совмещения центра кривизны поверхности A линзы с осью вращения шпинделя (O_1-O_2). Затем, зафиксировав положение оправы 2, воздействуя силой F_1 на линзу, совмещают центр кривизны поверхности B с осью шпинделя и фиксируют положение линзы. Таким образом, линза центрируется обеими поверхностями относительно базовой оси ВГ основной части оправы.

В некоторых случаях мениски, двояковыпуклые и другие линзы имеют так называемый П-образный буртик или плоскую базовую фаску [2], что не позволяет пьезоманипулятору наклонять линзу вокруг одного из центров

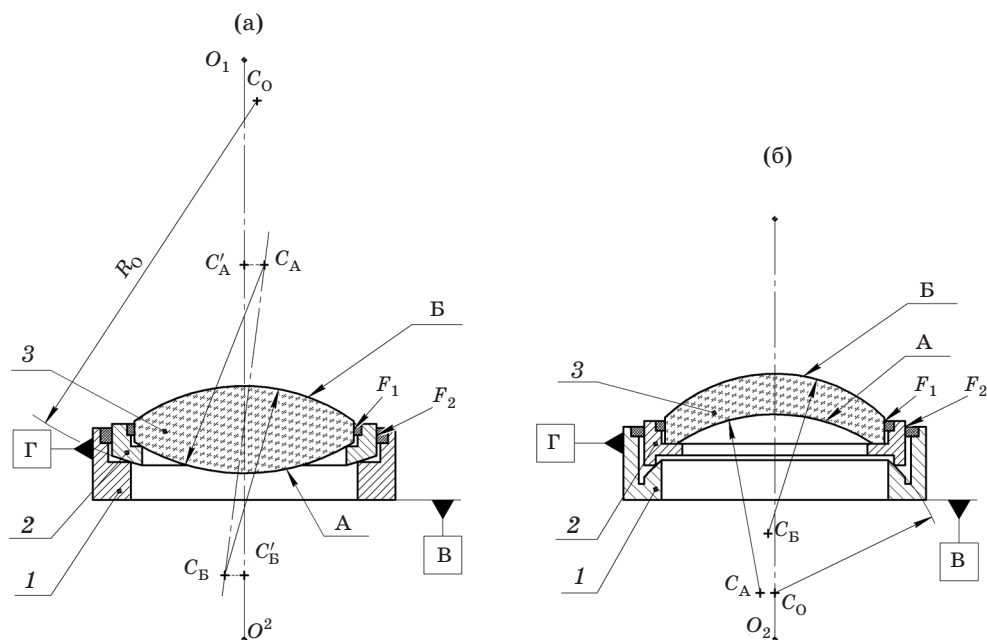


Рис. 3. Составная оправа для центровки линзы.

кривизны ее рабочей поверхности. В таких случаях промежуточная оправа должна быть выполнена так, чтобы центр кривизны C_O ее опорной сферической поверхности (или центр кривизны сферической поверхности основной части оправы) располагался в одной плоскости с одним из центров кривизны (например C_A) рабочей поверхности линзы (рис. 3б). Центрировка обеих рабочих поверхностей осуществляется в обратной последовательности. Вначале сдвигом линзы в промежуточной оправе приводят центр кривизны C_A на ось вращения шпинделя, а затем наклоном промежуточной оправы совмещают ее центр C_B с осью вращения.

Заклучение

Точность центрирования линз при их базировании и закреплении в оправе зависит от соответствующих погрешностей изготовления линз и оправ. Центрировка линз при их вклеивании в оправы может быть существенно повышена благодаря использованию автоматизированных центрировочных станций и специальных конструкций оправ. Остаточная децентрировка линз относительно базовых осей оправ в этом случае будет мала и будет определяться биениями шпинделя станции и ее цанги (патрона, посадочного конуса).

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Погарев Г.В. Юстировка оптических приборов. Л.: Машиностроение, 1968. 292 с.
2. Латыев С.М. Конструирование точных (оптических) приборов. Учебное пособие. СПб.: Лань, 2015. 560 с.
3. Латыев С.М., Румянцев Д.М., Курицын П.А. Конструкторские и технологические методы обеспечения центрировки линзовых систем // Оптический журнал. 2013. Т. 80. № 3. С. 92–96.
4. <http://www.trioptics.com> Automated Centering and Bonding Machine.
5. Weber G. Justageautomat für Dreehgeber-Impulsscheiben // 50 IWK TUI 19–23.09. 2005. Tagungsband. Ilmenau: Verlag ISLE, 2005. S. 59–60.
6. Heinisch J. Zentrierfehlermessen, optikenautomatischjustieren und montieren // Photonik. 2008. № 6. S. 46–48.
7. Латыев С.М., Буй Динь Бао, Трегуб В.П. Способ центрировки линзы в оправе и оправа для его осуществления // Патент России № 2542636. 2015. Приоритет 16.12.2013.
8. Латыев С.М., Буй Динь Бао, Трегуб В.П., Белойван П.А. Способ центрировки линзы в оправе и оправа для его осуществления // Патент России № 2544288. 2015. Приоритет 27.12.2013.