

УДК 535.317.1

ИСКУССТВЕННАЯ ГОЛОГРАММА КАК ОПТИЧЕСКИЙ КОМПЕНСАТОР

Н. П. Ларионов, А. В. Лукин и К. С. Мустафин

Рассмотрена возможность использования искусственных голограмм в качестве оптических компенсаторов и изложена методика их синтезирования. Приведены снимки интерференционных и теневых картин, полученных с помощью искусственной голограммы-компенсатора.

Известные достоинства асферической оптики (улучшение качества изображения, повышение светосилы, уменьшение размеров и веса оптических систем и т. д.) становятся практически ощутимыми лишь в тех случаях, когда удастся изготовить высококачественные оптические детали (линзы, зеркала) со значительной асферичностью рабочих поверхностей.

Однако применяемые в настоящее время методы контроля не обеспечивают необходимую точность изготовления отражающих и преломляющих поверхностей сложной формы.

Класс контролируемых поверхностей значительно расширяется при использовании специально рассчитанных и изготовленных компенсационных объективов, роль которых заключается в преобразовании сложной волны, сформированной контролируемой асферической деталью, в сферическую или плоскую волну [1-3]. При этом для оценки качества контролируемой поверхности можно применить либо теневой, либо интерференционный метод. Однако сложность расчета и изготовления компенсационных объективов возрастает с увеличением асферичности контролируемой поверхности и в ряде случаев представляет весьма трудоемкую, а подчас и вовсе технически неразрешимую задачу.

В связи с этим большой интерес представляет исследование возможности применения в качестве оптических компенсаторов искусственных голограмм, так как рассчитать и изготовить их значительно проще, чем соответствующие компенсационные объективы. В данной работе излагается методика синтезирования и практического использования таких голограмм в конкретных схемах голографического асферометра.

Известно, что наибольшая точность изготовления искусственных голограмм может быть достигнута лишь при использовании одноосевых схем голографического асферометра [4, 5]. В этом случае голограммы асферических поверхностей вращения представляют собой системы концентрических колец, а голограммы цилиндрических поверхностей — системы прямолинейных полос переменной ширины.

Компенсационная голограмма рассчитывается таким образом, чтобы падающая на нее от идеальной поверхности сферическая волна превращалась в близкую ей по кривизне сферическую волну. Такая голограмма представляет собой изображение интерференционной картины, которая образовалась бы в плоскости xz , перпендикулярной оптической оси контролируемой детали, на расстоянии L , например, от ее вершины O'' , когда воображаемый точечный источник S помещен на некотором расстоянии R от плоскости xz (рис. 1).

Рис.

а, б —
роль
2 — к
грамм
(диаф

Н
метр.
вому

польз

Очевидно, точечный источник S и контролируруемую деталь следует располагать по разные стороны относительно плоскости xz , если асферическая поверхность вогнутая; в случае же выпуклой поверхности — по одну сторону от нее.

Пусть $U_1 = A_1(x) e^{iF[f(x), L]}$ — амплитуда волны, сформированной идеальной асферической поверхностью, определяемой уравнением $y=f(x)$ при падении на нее, например плоской монохроматической волны и $U_2 = A_2(x) e^{\frac{2\pi i}{\lambda} \sqrt{R^2+x^2}}$ — амплитуда волны от точечного источника S .¹ Тогда распределение интенсивности в плоскости xz [поверхность $y=f(x)$ симметрична относительно оси y] описывается уравнением

$$I(x) = A_1^2(x) + A_2^2(x) + 2A_1(x)A_2(x) \cos \left[F(f(x), L) - \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{R^2+x^2} \right]$$

и, следовательно, координаты x_k максимумов интерференционной картины в плоскости xz определяются из уравнения

$$\frac{\lambda}{2\pi} F(f(x), L) - \sqrt{R^2+x_k^2} = k\lambda, \quad (1)$$

где λ — длина световой волны, $k=0, 1, 2, \dots$ — номер интерференционной полосы.

Величина R выбирается таким образом, чтобы обеспечить минимальность интервала пространственных частот голограммы.

Если известно уравнение поверхности $y=f(x)$ и выбрано расстояние L между ее вершиной O'' и голограммой, то положение воображаемого точечного источника S можно определить, например, из условия, что фронт сферической волны, достигнув центра голограммы O одновременно с фронтом асферической волны, должен пересекать крайние лучи $O'P$ и $O'Q$ светового пучка от асферической поверхности в точках M и N , принадлежащих также и фронту асферической волны (рис. 1).

Иными словами, разность хода между световыми лучами, приходящими в точки M , N и O от точечного источника S и асферической поверхности $y=f(x)$, должна быть одинакова (равна нулю).

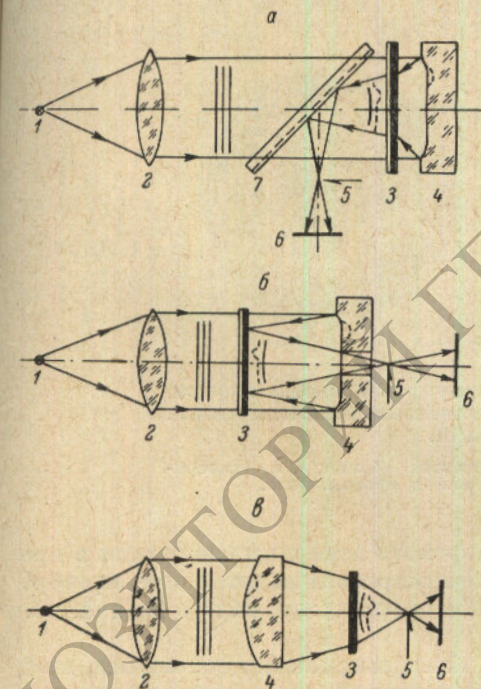


Рис. 2. Схема асферометра с компенсационными голограммами.

a, b — контроль в отраженном свете, v — контроль в проходящем свете; 1 — источник света, 2 — коллиматор, 3 — компенсационная голограмма, 4 — контролируемая деталь, 5 — нож (диафрагма), 6 — экран, 7 — светоделитель.

На рис. 2, a, b, v представлены три варианта оптической схемы асферометра с применением компенсационных голограмм для контроля по теневому методу.

¹ В случае цилиндрических поверхностей необходимо в качестве источника S использовать источник цилиндрических волн.

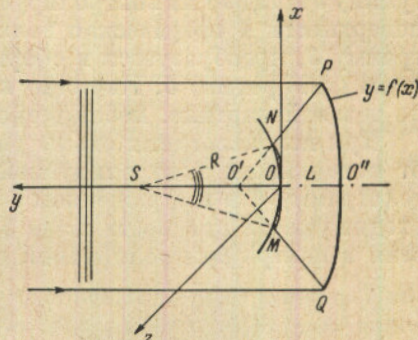


Рис. 1. К расчету искусственной компенсационной голограммы.

При использовании схемы рис. 2, *а* коллимированный пучок от монохроматического источника света *1* проходит через светоделитель *7*, голограмму *3* и падает на контролируемую поверхность детали *4*. Отраженная от поверхности *4* сферическая волна, пройдя через компенсационную голограмму *3*, преобразуется в сферическую волну, сходящуюся в плоскости ножа (диафрагмы) *5*. Качество контролируемой поверхности оценивается по теневой картине, наблюдаемой на экране *6*.

При использовании схемы рис. 2, *б* асферическая волна, отраженная от поверхности контролируемой детали *4*, падает на компенсационную голограмму *3* и в отраженном свете преобразуется в сферическую волну, сходящуюся в плоскости ножа *5*. Эта схема предполагает наличие отверстия в центре контролируемой детали.

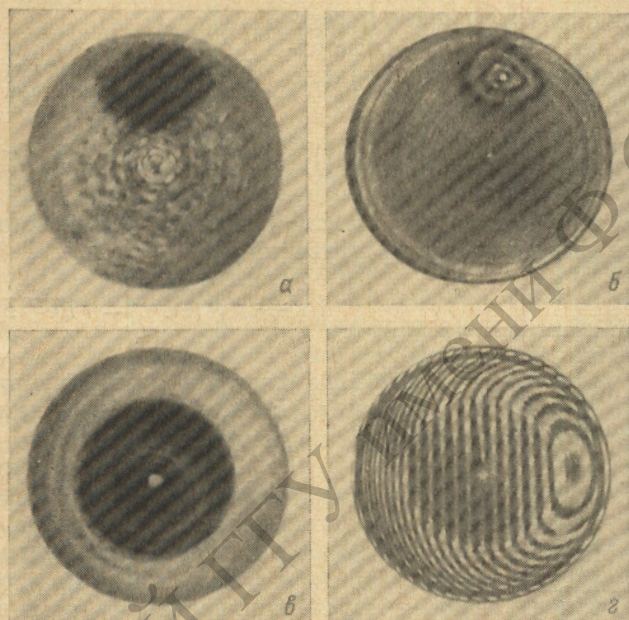


Рис. 3. Снимки теневых и интерференционных картин, полученные с помощью искусственных компенсационных голограмм.

а, б — поверхность с местными дефектом ~ 1 мкм; *в, г* — поверхность с дефектом ~ 1.5 мкм в краевой зоне.

Схема рис. 2, *в* позволяет контролировать асферические детали в проходящем свете. В этом случае волна, сформированная деталью *4*, преобразуется компенсационной голограммой *3* в сферическую волну, сходящуюся в плоскости ножа *5*.

Следует отметить, что при расчете компенсационных голограмм, предназначенных для использования по схемам рис. 2, *а* и *в*, необходимо учесть волновые aberrации, производимые их подложками. Учет этих aberrаций не представляет принципиальных трудностей, поскольку в качестве подложек голограмм могут быть использованы высококачественные плоскопараллельные пластинки, толщина и показатель преломления которых измерены с достаточной точностью.

Проверка возможности практической реализации искусственных компенсационных голограмм была проведена на лабораторном макете голографического асферометра.

Расчет компенсационных голограмм проводился по описанной выше методике. Численные значения координат интерференционных полос x_k определялись из (1) с помощью ЭВМ с учетом уравнения оптической поверхности $y=f(x)$ и параметров интерферометра ($\lambda=632.8$ нм, $L=300$ мм),

Голограммы изготавливались путем нарезания полос алмазным резцом на алюминированной поверхности стеклянной подложки. При этом каждая полоса выполнялась в виде совокупности тонких (~ 7 мкм) витков спирали, число которых определялось расчетной шириной данной полосы. Следует отметить, что такой способ нанесения полос открывает возможность автоматизации процесса изготовления искусственных голограмм.

Нарезание голограмм производилось на лабораторном макете устройства, выполненного в виде вращающегося столика, на котором закреплялась подложка голограммы. Юстировочные и контрольно-измерительные приспособления обеспечивали совмещение оси вращения подложки с острием резца в исходном состоянии и отсчет радиусов колец в процессе изготовления голограмм.

На рис. 3, а, б, в, г представлены снимки теневых картин и интерферограмм, полученных с помощью искусственной компенсационной голограммы при контроле двух пробных оптических деталей, одна из которых имеет местный дефект ~ 1 мкм (рис. 3, а, б), другая — дефект ~ 1.5 мкм в краевой зоне (рис. 3, в, г).

Теневые снимки рис. 3, а, в получены на макете асферометра, собранном по схеме рис. 2, а. Для получения снимков рис. 3, б, г макет перестраивался в одноосевой голографический интерферометр.

Приведенные данные свидетельствуют о возможности практического использования искусственных голограмм в качестве оптических компенсаторов. Это открывает возможность существенного расширения области применения компенсационных методов контроля асферической оптики.

Литература

- [1] М. А. Уханов. *Опт.-мех. промышл.*, № 5, 27, 1961.
- [2] A. Offner. *Appl. Opt.*, 2, 153, 1963.
- [3] Д. Т. Пуряев, Л. М. Кривовяз, П. А. Каменева, С. В. Никитин, В. М. Бутенко. *Изв. вузов, геодезия и аэрофотосъемка*, вып. 2, 117, 1969.
- [4] Г. Н. Буйнов, А. В. Лукин, К. С. Мустафин, С. О. Мирумянц. Авторское свидетельство № 277269, бюл. изобр., № 24, 1970.
- [5] Г. Н. Буйнов, Н. П. Ларионов, К. С. Мустафин, А. В. Лукин, Р. А. Рафиков. *Опт.-мех. промышл.*, № 4, 1971.

Поступило в Редакцию 5 марта 1971 г.