

КОНТРОЛЬ МАЛОГАБАРИТНОЙ АСФЕРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ С ПОМОЩЬЮ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ГОЛОГРАММ

© 2011 г. Н. П. Ларионов, канд. техн. наук; А. В. Лукин, доктор техн. наук; А. А. Ньюшкин

Научно-производственное объединение “Государственный институт прикладной оптики”,
Казань

E-mail: postmaster@gipo.kazan.ru

Предложена схема контроля вогнутых асферических поверхностей с использованием осевой синтезированной голограммы-компенсатора, расположенной от контролируемой поверхности на расстоянии, большем вершинного радиуса кривизны этой поверхности, и проведена экспериментальная проверка ее работоспособности. Такой вариант расположения голограммы-компенсатора наиболее удобен для контроля вогнутых асферических поверхностей с небольшими радиусами кривизны при вершине, что свойственно, в частности, малогабаритным светосильным объективам.

Ключевые слова: малогабаритная асферическая оптика, синтезированная голограмма-компенсатор, синтезированный голограммный оптический элемент.

Коды OCIS: 220.1140

Поступила в редакцию 22.03.2010

Малогабаритные оптические детали с асферическими поверхностями находят широкое применение в различных оптических системах [1]. Асферические поверхности этих деталей, как правило, имеют небольшие радиусы кривизны при вершинах, что вызывает трудности в осуществлении контроля формы таких поверхностей с использованием осевых синтезированных голограмм-компенсаторов [2, 3]. Для вогнутых поверхностей эти трудности связаны с тем, что синтезированная голограмма-компенсатор расположена между контролируемой поверхностью и ее центром кривизны при вершине [2]. В связи с этим расстояние между синтезированной голограммой-компенсатором и вершиной контролируемой поверхности невелико, а до края контролируемой асферической поверхности – и того меньше. Данное обстоятельство затрудняет проведение идентификации положения на контролируемой поверхности дефектов путем нанесения на неё меток или использования мерительных инструментов. Этот недостаток можно исключить, если расположить синтезированную голограмму-компенсатор от контролируемой асферической поверхности на расстоянии, большем ее радиуса кривизны при вершине (так называемое “зафокальное” расположение [4]).

Данная статья посвящена экспериментальной проверке работоспособности предложен-

ного “зафокального” варианта и сравнению его с широко применяемыми на практике вариантами “предфокальных” контрольных схем [2]. Проверка выполнена на примере контроля вогнутой асферической поверхности 8-го порядка оптической детали со световым диаметром 15 мм (радиус кривизны при вершине этой поверхности –23,55 мм, асферичность 16 мкм, максимальный градиент асферичности 12 мкм, стрелка прогиба 1,3 мм). Контроль данной поверхности проводился с помощью двух осевых синтезированных голограмм-компенсаторов, одна из которых изготавливалась для случая установки ее между контролируемой поверхностью и центром кривизны поверхности при вершине (“предфокальный” вариант), а другая – для установки голограммы-компенсатора от контролируемой поверхности на расстоянии, большем вершинного радиуса кривизны поверхности (“зафокальный” вариант). Схемы контроля для обоих вариантов приведены на рис. 1. Они построены по схеме интерферометра Тваймана–Грина; на рис. 1а изображена полная схема, а на рис. 1б только часть, входящая в рабочую ветвь интерферометра.

В обеих схемах точка C_0 является центром кривизны при вершине O_3 асферической поверхности 11 , нормали к которой в крайних точках E и K ее световой зоны пересекают опти-

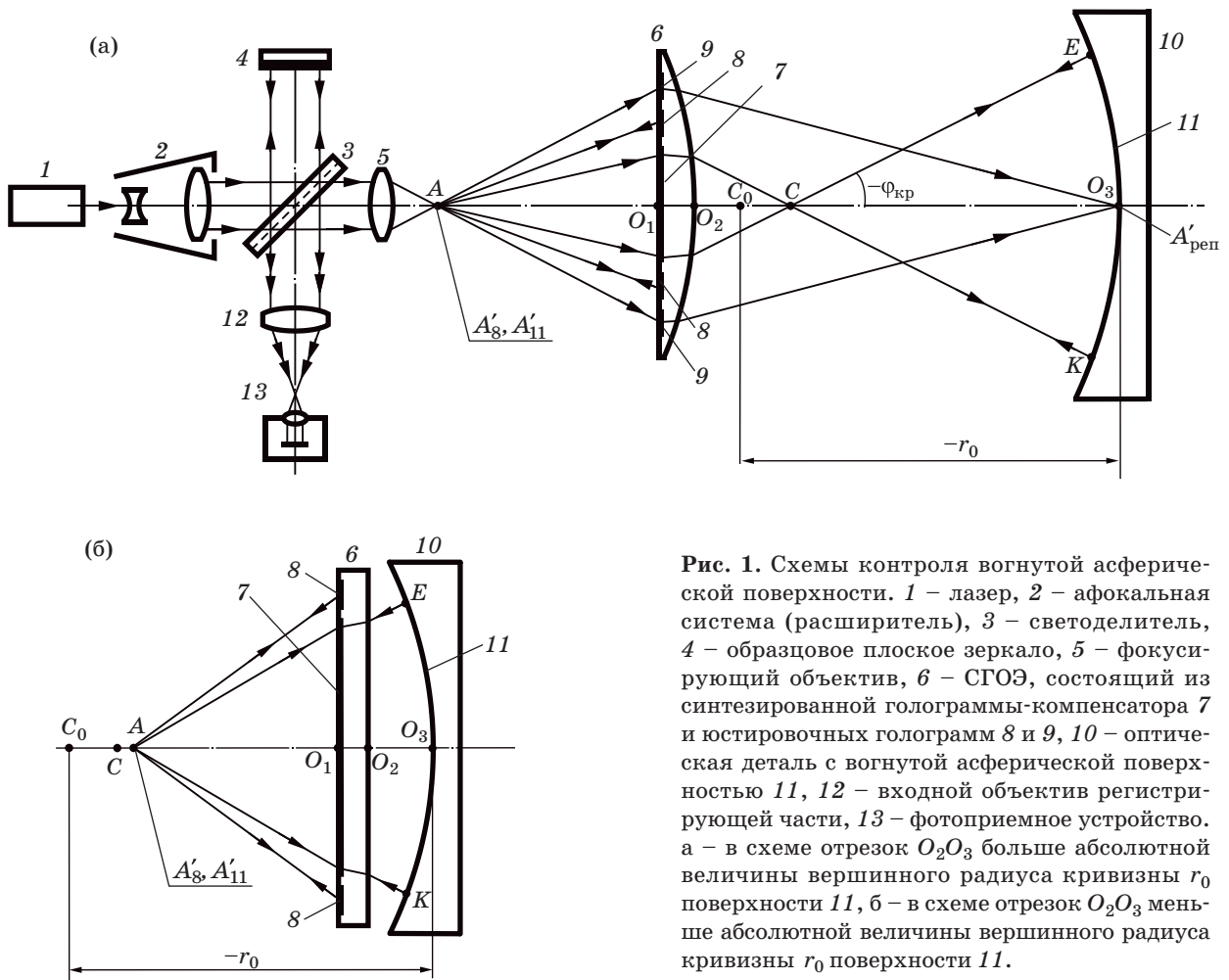


Рис. 1. Схемы контроля вогнутой асферической поверхности. 1 – лазер, 2 – афокальная система (расширитель), 3 – светоделитель, 4 – образцовое плоское зеркало, 5 – фокусирующий объектив, 6 – СГОЭ, состоящий из синтезированной голограммы-компенсатора 7 и юстировочных голограмм 8 и 9, 10 – оптическая деталь с вогнутой асферической поверхностью 11, 12 – входной объектив регистрирующей части, 13 – фотоприемное устройство. а – в схеме отрезок O_2O_3 больше абсолютной величины вершинного радиуса кривизны r_0 поверхности 11, б – в схеме отрезок O_2O_3 меньше абсолютной величины вершинного радиуса кривизны r_0 поверхности 11.

ческую ось в точке C под углом $\varphi_{кр} = -20,496^\circ$. В рабочих ветвях этих схем используется синтезированный голограммный оптический элемент (СГОЭ) 6, который состоит из соосно расположенных осевой голограммы-компенсатора 7 и юстировочных осевых синтезированных голограмм 8 и 9 [5]. СГОЭ 6 освещается точечным источником света A , сформированным объективом 5. При этом голограмма-компенсатор 7 формирует конгруэнцию лучей, идентичную конгруэнции нормалей [6] асферической поверхности 11, и служит для ее контроля. Голограмма 9 формирует светящуюся точку $A'_{реп}$ на оптической оси в точке расположения вершины O_3 контролируемой поверхности 11 и служит для контроля установки детали 10 в продольном направлении. Голограмма 8 формирует автоколлимационное изображение A'_3 точки A и используется для юстировки голограмм 7 и 9 относительно точечного источника света A . В качестве подложки для СГОЭ 6

(рис. 1а) установлена плосковыпуклая линза, а на рис. 1б – плоскопараллельная пластина. Структуры синтезированных голограмм в обоих случаях выполнены на плоской поверхности подложки, обращенной к точке A . Отрезки AO_1 , O_1O_2 и O_2O_3 в схемах выбираются при расчете голограмм 7, 8 и 9 с учетом показателя преломления $n(\lambda)$ подложки СГОЭ 6 и радиуса кривизны второй поверхности этой подложки (λ – длина волны источника света A ; в данном случае она равна $0,6328$ мкм).

На рис. 1б СГОЭ 6 расположен между контролируемой поверхностью 11 и ее центром кривизны C_0 при вершине O_3 . Отрезки AO_1 , O_1O_2 и O_2O_3 равны, соответственно, 13,5, 2,6 и 5 мм. Видно, что отрезок O_2O_3 значительно меньше абсолютного значения вершинного радиуса кривизны r_0 поверхности 11, а зазор между СГОЭ 6 и краем детали 10 с учетом стрелки прогиба ее вогнутой поверхности 11 равен 3,7 мм. Такой зазор осложняет доступ к поверхности 11

с целью идентификации положения ее дефектов. Кроме того, из-за малости расстояния O_2O_3 становится невозможным изготовление юстировочной голограммы 9, так как частота штрихов на ней в этом случае достигает слишком больших значений.

В схеме на рис. 1а центр кривизны C_0 при вершине O_3 поверхности 11 расположен между этой поверхностью и СГОЭ 6. Отрезки AO_1 , O_1O_2 , O_2O_3 и радиус кривизны второй (сферической) поверхности подложки СГОЭ 6 равны, соответственно, 200, 14,9, 40 и $-16,47$ мм.

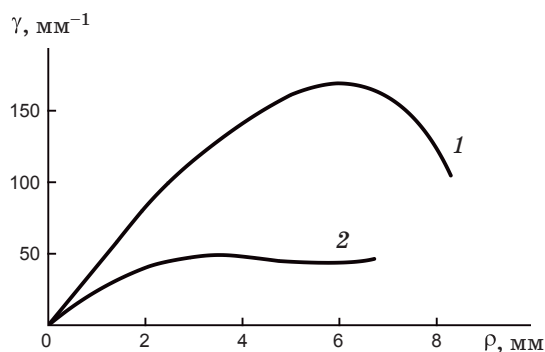


Рис. 2. Частотные характеристики осевых синтезированных голограмм-компенсаторов. 1 – график частотной характеристики голограммы-компенсатора 7 в схеме контроля (а), 2 – график частотной характеристики голограммы-компенсатора 7 в схеме контроля (б), ρ – радиус зоны на апертуре голограммы-компенсатора 7, γ – частота штрихов на апертуре голограммы-компенсатора 7.

Расстояние O_2O_3 между СГОЭ 6 и вершиной O_3 поверхности 11 в данном случае равно 40 мм, что делает удобным доступ к контролируемой поверхности. Кроме того, становится возможным изготовление юстировочной голограммы 9, так как ее пространственная частота не превышает 1000 мм^{-1} . Для голограммы-компенсатора 7 наибольшая частота штрихов не превышает 170 мм^{-1} (см. рис. 2), что без проблем реализуется на имеющемся стандартном оборудовании для синтеза голограмм.

Синтезированная голограмма-компенсатор 7 при освещении ее точечным источником света А формирует совместно с асферической поверхностью 11 в обратном ходе лучей автоколлимационное изображение A'_{11} источника света А. Соответствующий этому сигнальный пучок лучей поступает в регистрирующую часть интерферометра, где и формируется картина интерференции с опорным пучком, отраженным от образцового плоского зеркала 4. Данная картина интерференции регистрируется фотоприемным устройством 13. Ее окаймляет в виде кольца картина интерференции, соответствующая автоколлимационной голограмме 8.

Результаты контроля поверхности 11 представлены в виде интерференционных картин на рис. 3, в центральной зоне которых фигурируют интерферограммы для контролируемой поверхности, а интерференционные полосы в углах картин соответствуют автоколлимационной голограмме 8. Интерферограммы на рис. 2а и 2б получены при контроле одной и той же ас-

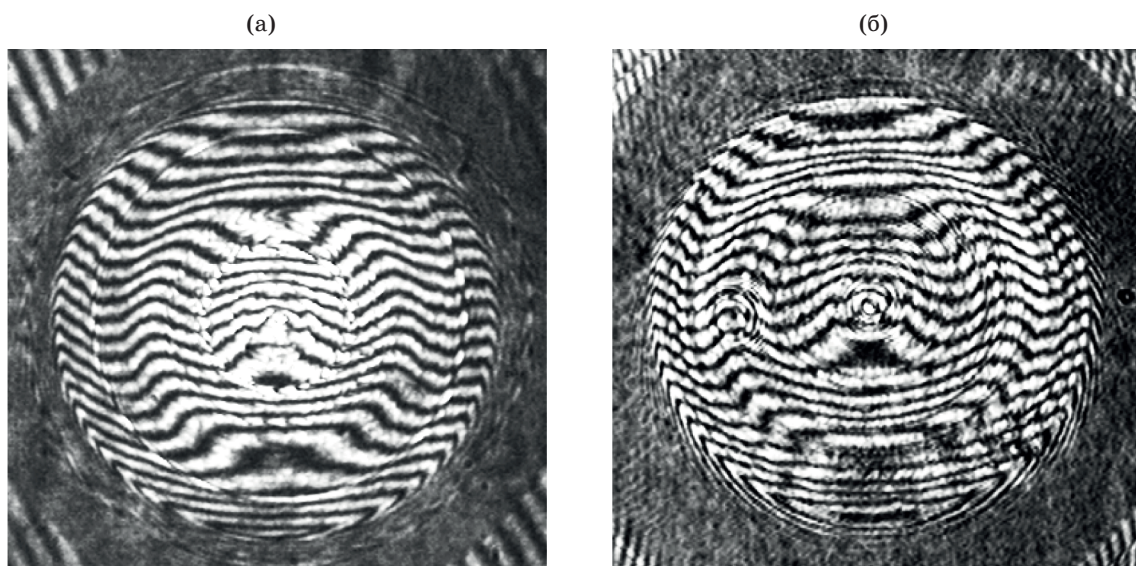


Рис. 3. Интерференционные картины контролируемой асферической поверхности. а – получена в схеме контроля на рис. 1а, б – получена в схеме контроля на рис. 1б.

ферической поверхности 11 8-го порядка, соответственно, в схемах на рис. 1а и 1б. Как видно, на обеих интерферограммах (настройка на полосы конечной ширины) в центральной зоне интерференционные полосы имеют практически одинаковый вид.

Таким образом, вариант, когда синтезированная голограмма-компенсатор расположена в схеме контроля от контролируемой асферической поверхности на расстоянии, большем вершинного радиуса кривизны этой поверхности, является работоспособным и может быть использован при контроле вогнутых асферических поверхностей оптических деталей в том числе и малогабаритных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fisher R.E., Hileman D. Bending to Demand // SPIE s OE magazine. April 2004. P. 25–27.
2. Агачев А.Р., Ларионов Н.П., Лукин А.В., Миронова Т.А., Нюшкин А.А., Протасевич Д.В., Рафииков Р.А. Синтезированная голограммная оптика // Оптический журнал. 2002. Т. 62. № 12. С. 23–32.
3. Ларионов Н.П., Лукин А.В., Нюшкин А.А., Ходжиев Р.Р. Контроль выпуклых асферических поверхностей с использованием осевых синтезированных голограмм // Оптический журнал. 2007. Т. 74. № 6. С. 45–50.
4. Пуряев Д.Т. Методы контроля оптических асферических поверхностей. М.: Машиностроение, 1976. С. 192–194.
5. Ларионов Н.П., Лукин А.В., Мустафин К.С., Рафииков Р.А. Способ настройки устройства для контроля оптических поверхностей // А.с. № 729437. Бюл. изобр. 1980. № 15; преобразован в патент № 729437. 1994.
6. Лукин А.В. Голограммные оптические элементы // Оптический журнал. 2007. Т. 74. № 1. С. 80–87.