

УДК 681.7

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИЦЕВОГО ПРОФИЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ ЗАДАНЫМ РЕЛЬЕФОМ ЕГО ТЫЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

© 2004 г. Д. А. Серегин; А. Г. Серегин, канд. техн. наук; М. Г. Томилин, доктор техн. наук
ВНЦ "Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова". Санкт-Петербург

Проанализированы свойства "магических" зеркал, изготовленных современными мастерами по технологии древнего Китая. Интерферограммы и теневые картины, полученные от одного из образцов, подтверждают наличие связи рельефа на его тыльной стороне с формой лицевой отражающей поверхности.

Коды OCIS: 220.0220, 220.4610, 220.4870, 220.5450.

Поступила в редакцию 06.08.2003.

Бронзовые зеркала, изготовленные по технологии древних мастеров Китая с гравировкой на тыльной стороне, обладают эффектом изображения картины этой гравировки при отражении солнечного излучения от лицевой полированной поверхности. В статье [1] обсуждены различные точки зрения, объясняющие эти оптические свойства, и результаты их исследования. Цель настоящей работы заключается в экспериментальном подтверждении одной из гипотез, объясняющей возникновение локальных деформаций на лицевой поверхности зеркала при достижении определенной глубины выгравированного рельефа на его тыльной стороне.

При изучении качества отражающей поверхности с помощью интерферометра типа Zygo [2] (рис. 1) мы обнаружили в интерферограмме (рис. 2в) скачки фазы отраженного светового сигнала. Эти скачки соответствовали областям, где глубина рельефа на обратной поверхности вызывала пластическую деформацию материала и локальное нарушение рельефа на отражающей поверхности.

На рис. 1 испытуемая поверхность зеркала и образцовая поверхность установлены так, что оптические оси и центры кривизны поверхности сравнения $C_{ср}$ и испытуемого зеркала $C_{бр.1}$ совмещены. На рис. 2а и 2б показаны теневые картины, наблю-

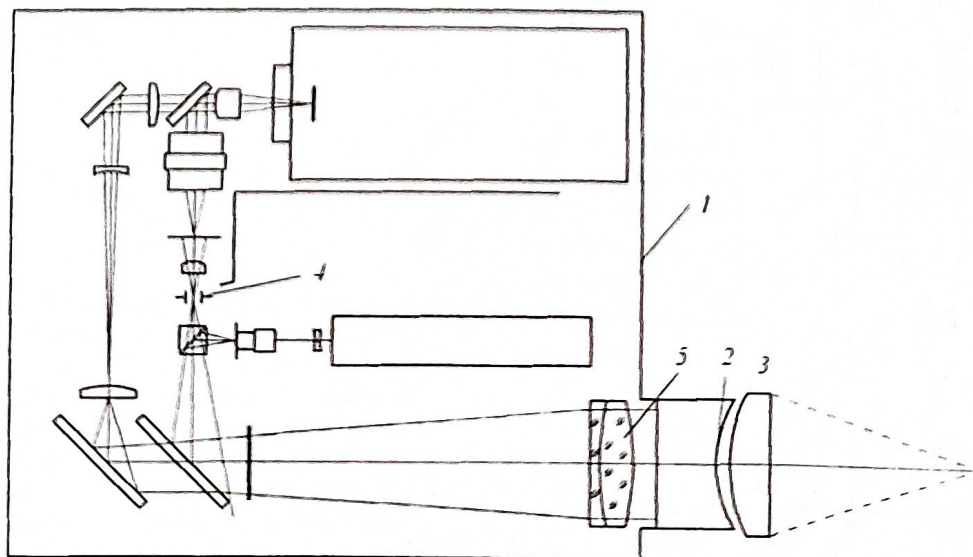


Рис. 1. Схема интерференционного контроля качества поверхности одного из зеркал с рельефом на тыльной стороне. 1 – интерферометр Zygo, 2 – образцовая вогнутая сферическая поверхность интерференционной насадки, 3 – выпуклая зеркальная поверхность "магического" зеркала. 4 – пространственный фильтр в виде отверстия в диафрагме, совмещенной с фокальной плоскостью коллимирующего объектива 5 и фокальной плоскостью регистрирующей системы.

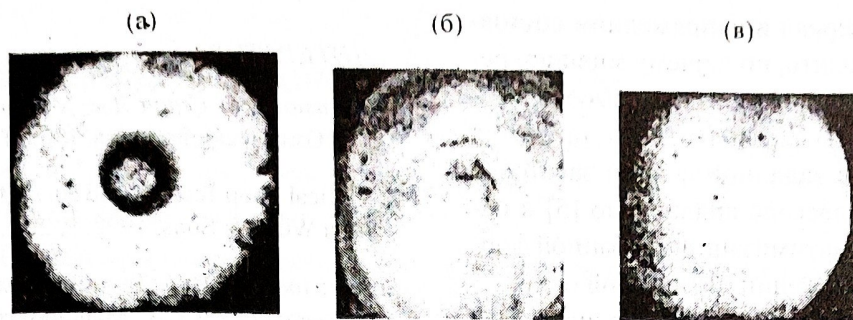


Рис. 2. а, б – теневые картины от лицевой выпуклой полированной поверхности “магического” зеркала, полученные на интерферометре фирмы Zygo при наличии фильтрующей диафрагмы 4 в фокусе регистрирующей системы; в – интерферограмма от того же зеркала без фильтрующей диафрагмы 4.

даемые в интерферометре с пространственным фильтром 4, расположенным в фокусе коллиматорного объектива. Интерференционная картина в этом случае отсутствует, так как лучи, отклоненные локальными деформациями поверхности, не проходят через отверстие диафрагмы фильтра, а возникающая теневая картина соответствует теневой картине, непосредственно наблюдаемой на экране при освещении “магического” зеркала Солнцем. При отсутствии фильтра появляются высокочастотные интерференционные полосы, позволяющие количественно оценить параметры рельефа поверхности.

Если выпуклое сферическое зеркало с относительно небольшим отверстием, существенно меньшим 1, освещать солнечным светом, то отраженный пучок создает относительно равномерную освещенность на экране в пределах площадки, определяемой радиусом кривизны зеркала. Чем меньше радиус кривизны при данном расстоянии от зеркала до экрана, тем больше пятно на экране, и наоборот.

При возникновении рельефа на сферической поверхности происходит отклонение световых пучков от направления, задаваемого недеформированной поверхностью: освещенность падает, так как лучи не попадают на экран. В соседних зонах экрана, куда отклонились лучи от возникшего рельефа, наблюдается усиление освещенности вследствие сложения исходной (в соответствии с подобием точек на зеркале и на экране) и дополнительной освещенности за счет отклоненных пучков.

Эти условия выполняются в случае центральной симметрии рельефных рисунков, когда общая жесткость бронзовой подложки сохраняется. Наблюдаемая теневая картина подобна выгравированному рельефу на тыльной стороне зеркала. Такая теневая картина была получена и в интерферометре 1 с фильтрующей диафрагмой 4 (рис. 2а, 2б).

Если рельефный рисунок не обладает центральной симметрией, а имеет, например, характер осевой симметрии в плоскости наблюдения, то происходит излом поверхности зеркала с ребром излома вдоль оси симметрии. Теперь лучи от двух полови-

поверхности отклоняются и две симметричные половины теневой картины смещаются друг относительно друга. Их освещенности складываются в зависимости от размеров излома и наложений затененных или просветленных областей на каждой половине. Картина очень чувствительна к изменению расстояния до экрана в отличие от случая центральной симметрии, когда светлые и темные участки теневой картины лишь сжимаются или размазываются при удалении или приближении экрана.

В пользу этого объяснения говорит тот факт, что не всем зеркалам, изготавливаемым древними мастерами, удавалось придать “магические” свойства. Причина состояла в том, что рельеф не достигал критических глубин, при которых происходят локальные деформации лицевой поверхности зеркала при сохранении его сферической формы.

Можно предположить, что достижение соответствующих глубины, ширины и шага рельефа на тыльной стороне зеркала позволит получить заданное отклонение от сферической поверхности при сохранении в целом его жесткости. При проектировании облегченных корпусов зеркал обычно добиваются того, чтобы структура заготовки не “проступала” на лицевой поверхности. Когда же погрешности расчета приводят к возникновению локального рельефа, наблюдается та же ситуация, что и при отражении равномерного по сечению пучка от “магического” зеркала. На наш взгляд, целесообразно использовать этот эффект в технологии предварительной глубокой асферизации светосильных зеркал.

Идея управления формой лицевой поверхности коррекционной пластины путем воздействия на ее тыльную сторону принадлежит Б. Шмидту [3]. Создавая область пониженного давления со стороны тыльной поверхности и полируя лицевую пластину в напряженном состоянии под вогнутую сферу, он получил после снятия разности давлений требуемую асферическую форму лицевой поверхности коррекционной пластины. Рассмотренный нами способ создания глубокого рельефа на тыльной поверхности отличается от методики Б. Шмидта, а также других

приемов обработки зеркал в напряженном состоянии [4] и может позволить, по нашему мнению, решить проблему глубокой асферизации высокоапертурных поверхностей. В частности, представляется возможным придание заданной формы заготовке зеркала метрового телескопа аналогично [5] с целью его облегчения и оптимизации выбранной формы для различных положений оптической оси.

Проведенные эксперименты подтвердили связь рельефа на тыльной стороне "магического" зеркала с формой лицевой отражающей поверхности. Данный эффект может быть использован для постановки расчетных и экспериментальных исследований возможности управления формой лицевой поверхности посредством заранее рассчитанного рельефа тыльной поверхности.

Авторы благодарят В.С. Доладугину за полезные советы при обсуждении работы, а также В.В. Котова и Д.Б. Никитина за помощь в проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Томилини М.Г., Сайнс Дж. Магические зеркала Востока // Оптический журнал. 1999. Т. 66. № 8. С. 106–114.
2. Optical Shop Testing. 2nd ed. / Ed. by Malacara D. N.Y.: John Wiley & Sons, 1992. P. 28.
3. Чуриловский В.Н. Теория хроматизма и аберраций третьего порядка. Л.: Машиностроение, 1968. С. 257–259.
4. Нельсон Дж. Полировка в напряженном состоянии – метод изготовления неосесимметричных зеркал // Оптические и инфракрасные телескопы 90-х годов: Пер. с англ. / Под ред. Щеглова П.В. М.: Мир, 1983. С. 61–71.
5. Мейнел А., Мейнел М., Нишнен Ху и др. Сообщение о 4-метровом телескопе минимальной стоимости // Оптические и инфракрасные телескопы 90-х годов: Пер. с англ. / Под ред. Щеглова П.В. М.: Мир, 1983. С. 72–96.