

44. Сдвиговой спектр-интерферометр с квадролинзой

Г. Н. Вишняков, В. Л. Минаев, А. Д. Иванов

ФГУП «Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Оптико-Физических измерений», Москва, Россия

В работе предложен новый оптический элемент — квадролинза, которая использована в составе сдвигового спектр-интерферометра (шерографа) для обеспечения измерений напряженно-деформированных состояний объектов одновременно в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Приведены экспериментальные результаты использования спектр-интерферометра с квадролинзой по исследованию микродеформации круглой мембраны.

Ключевые слова: Сдвиговой спектр-интерферометр, Шерограф, Квадролинза, Дефектоскопия.

Цитирование: Вишняков, Г. Н. Сдвиговой спектр-интерферометр с квадролинзой / Г. Н. Вишняков, В. Л. Минаев, А. Д. Иванов // HOLOEXPO 2020 : XVII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. — С. 287–290.

Введение

Сдвиговой спектр-интерферометр — это устройство, позволяющее на основании рассеянного от шероховатой поверхности объекта когерентного излучения последовательно регистрировать ряд спектр-интерферограмм и после компьютерной обработки получать поле градиента перемещения отдельных его участков. Часто такое устройство называют шерографом (от англ. shear — сдвиг). Шерография является одним из современных оптических методов дефектоскопии и находит широкое применение в авиационной и космической отрасли [1].

Основным элементом шерографа является оптическая система, которая создает попеременно-сдвинутые друг относительно друга изображения объекта, интерферирующие между собой при регистрации, создавая спектр-интерферограммы с несущими полосами. Чувствительность метода шерографии к выявлению дефектов зависит от направления сдвига изображений, так как именно вдоль этого направления визуализируется градиент поля перемещения. Актуальной задачей при совершенствовании оптической системы шерографа является возможность получения градиента поля перемещений в двух взаимно перпендикулярных направлениях и возможность регулировки чувствительности прибора.

Недостаток существующих шерографов, работающих в двух направлениях, состоит в сложности юстировки и согласования нескольких интерферометров, а также в использовании большого количества оптических элементов и лазеров [2–5].

Развивая идею использования билинзы [5] в шерографии мы предлагаем новый тип разрезной линзы, которую назвали по количеству составляющих ее элементов квадролинзой. Квадролинза представляет собой четыре одинаковых сектора, вырезанных из исходной круглой линзы с центром O (рисунок 1а), разнесённых друг от друга с образованием равномерных зазоров величиной 2Δ , параллельных осям симметрии X и Y (рисунок 1б). У каждого сектора

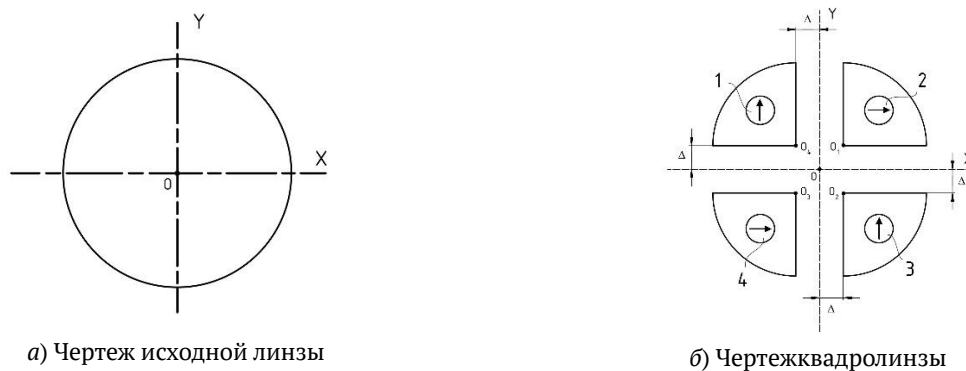
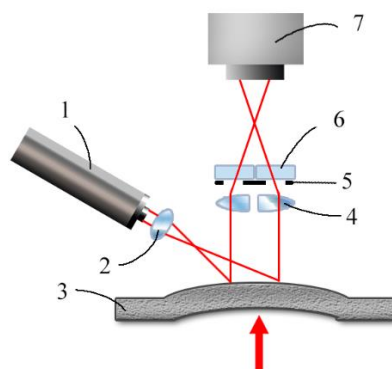


Рис. 1. Внешний вид квадролинзы



1 — лазер, 2 — объектив, 3 — объект исследований (мембрана), 4 — квадролинза,
5 — диафрагма, 6 — поляризаторы, 7 — видеокамера

Рис. 2. Схема шерографа с квадролинзой

есть свой непрозрачный экран с отверстием, совокупность которых образует апертурную диафрагму. Внутри отверстий стрелками показаны положения осей скрещенных поляризаторов, которые установлены для устранения перекрестной интерференции. Каждый из четырёх секторов квадролинзы строит сфокусированное изображение объекта в одной единой для всех секторов плоскости. Эти изображения будут смещены друг относительно друга в плоскости изображений из-за того, что оптические оси секторов квадролинзы смещены относительно оптической оси исходной линзы. Так как эти смещенные изображения образованы делением одного волнового фронта излучения, отраженного от объекта, то они создают сдвиговые спекл-интерферограммы, полосы которых имеют равную частоту и разную ориентацию.

Таким образом, использование квадролинзы в составе шерографа позволяет производить сдвиг изображений в четырех направлениях, избежать дефокусировки и применить метод пространственного фазового сдвига с использованием преобразования Фурье. Изменяя величину зазора Δ между секторами квадролинзы можно регулировать величину сдвига изображений, а меняя расстояние между центрами отверстий в апертурной диафрагме можно подбирать нужную частоту несущих полос в спекл-интерферограмме.

На рисунке 2 приведена схема экспериментальной установки, которая использовалась для проверки работы шерографа с квадролинзой. Объектом исследований служила деформируемая круглая мембрана.

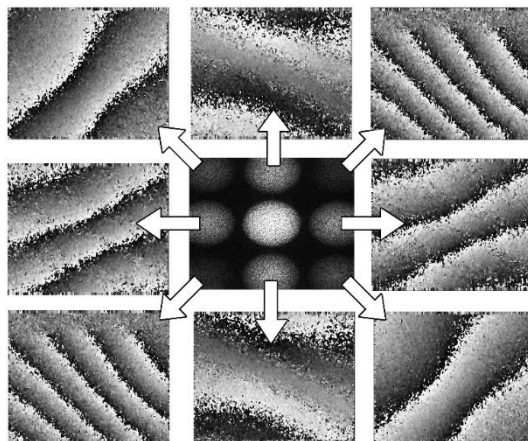


Рис. 3. Картины «несшитой» фазы, полученные в результате фильтрации спектра (средняя часть рисунка) в различных направлениях

В результате экспериментов были получены две спекл-интерферограммы: до и после деформации мембраны в различных режимах работы квадролинзы. Спекл-интерферограммы представляли собой сумму 4-х смещенных спекл-изображений объекта, промодулированных системой высокочастотных интерференционных полос в 4-х различных направлениях. Применение цифрового фурье-преобразования к суммарной сдвиговой спекл-интерферограмме позволяет выделять различные порядки в ее спектре и восстанавливать фазовые картины для 4-х различных направлений сдвига. На рисунке 3 представлен двухмерный спектр, полученный при обработке спекл-интерферограммы в случае, когда все отверстия апертурной диафрагмы были открыты.

Из спектра (в середине рисунка 3) можно видеть, как порядки дифракции расходятся по вертикали, горизонтали и диагоналям. Стрелками показаны поля «несшитой» фазы, полученные путем фильтрации спектра по соответствующим порядкам.

Таким образом, используя квадролинзу для разделения каналов, можно получить производную от деформации объекта в 4-х направлениях всего по двум спекл-интерферограммам до и после деформации объекта.

Выводы

Разработана и опробована новая конструкция шерографа с использованием квадролинзы. Эксперименты показали возможность получения фазовых изображений в разных направлениях сдвига. Таким образом, благодаря модифицированной сдвиговой оптике, предложенный шерограф позволяет расширить спектр обнаруживаемых дефектов под поверхностью различных объектов.

Благодарность

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП высокоточных измерительных технологий в области фотоники (www.ckp.vniiofi.ru), созданного на базе ФГУП «ВНИИОФИ» и поддержанного Минобрнауки России в рамках выполнения соглашения №05.595.21.0005 (уникальный идентификатор RFMEFI59519X0005.)

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Steinchen, W.** Digital Shearography: Theory and Application of Digital Speckle Pattern Shearing Interferometry / W. Steinchen, L. Yang. — USA, 2003. — 330 p.
- [2] **Wang, Y.** Simultaneous dual directional strain measurement using spatial phase-shift digital shearography / Y. Wang, X. Gao, X. Xie, S. Wu, Y. Liu, L. Yang // Optics and Lasers in Engineering. — 2016. — Vol. 87. — P. 197–203.
- [3] **Xie, X.** Polarized digital shearography for simultaneous dual shearing directions measurements / X. Xie, C. Lee, J. Li, B. Zhang, L. Yang // Review of Scientific Instruments. — 2016. — Vol. 87. — №8. — P. 083110.
- [4] **Peizheng, Y.** Spatial phase-shift digital shearography for simultaneous measurements in three shearing directions based on adjustable aperture multiplexing / Y. Peizheng, S. Fangyuan, D. Xizuo, Z. Qihan, W. Yonghong, L. Yu // Optical Engineering. — 2019. — Vol. 58. — №5. — P. 054105.
- [5] **Barrera, E. S.** Multiple-aperture one-shot shearography for simultaneous measurements in three shearing directions / E. S. Barrera, F. Analucia, P. Willemann, D. M. Benedet, J. Armando // Optics and Lasers in Engineering. — 2018. — Vol. 111. — P. 86–92.