

СПЕКЛ-ДИАГНОСТИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПИРАЛЬНЫХ И СИНГУЛЯРНЫХ ЗОНДИРУЮЩИХ ПУЧКОВ

© 2008 П.В. Павлов, И.Э. Вольф, А.Н. Бородин

Иркутское высшее военное авиационное инженерное училище (Военный институт)

Поступила в редакцию 30.12.2008

Рассматривается спекл-метод исследования шероховатой поверхности и подповерхностного слоя объекта с использованием сложно-структурированного лазерного излучения, формируемого с помощью спирального и сингулярного фильтров.

Ключевые слова: спекл-метод, неразрушающий контроль, шероховатость поверхности, спиральные и сингулярные пучки излучения.

1. ВВЕДЕНИЕ

Контроль степени шероховатости поверхности и дефектоскопия прозрачных и полупрозрачных объектов методами спекл-оптики осуществляется, как правило, при помощи “гладких” волновых фронтов – плоских или сферических [1]. В случае необходимости получения большого объема данных по структуре объекта или при детализации формы рельефа имеет смысл использовать зондирующие пучки со специально заданным пространственным распределением интенсивности излучения. Такой подход аналогичен используемому в радиолокации, где сложно структурированные зондирующие импульсы позволяют повысить качество распознавания целей.

В работе рассматривается спекл-метод исследования шероховатой поверхности, и подповерхностного слоя объекта с использованием сложно-структурированного лазерного излучения формируемого с помощью спирального и сингулярного фильтров [2]. Подобные пучки, сохраняя форму при распространении и фокусировке, могут иметь весьма разнообразную структуру распределения интенсивности. В отличие от обычных световых полей с заданным распределением интенсивности, эти спиральные пучки сохраняют свою структуру в любой плоскости наблюдения и фокусировки. Таким образом, данное свойство спиральных пучков позволяет весьма гибко менять их форму при сохранении структурной устойчивости, что представляет существенный интерес для лазерной диагностики.

2. ПОЛУЧЕНИЕ СПИРАЛЬНЫХ ПУЧКОВ

Для формирования спиральных и сингулярных пучков использовались бинарные фазовые дифракционные оптические элементы (ДОЭ) (рис. 1).

Для получения спирального пучка маска освещалась лазерным пучком. Свет, прошедший сквозь маску, приобретал определенную пространственную структуру, соответствующую выбранной маске. После освещения исследуемого объекта (матового стекла) лазерным излучением в виде спирали или аксикона формируются спекл-картины, фиксируемые на ПЗС-матрице. Затем спекл-изображения нормировались, т. е. приводились к стандартизированному виду, и определялись функции автокорреляции полученных картин (рис. 2).

3. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Так как применяемые пучки имеют сложную структуру, то в результате зондирования участка исследуемой поверхности, формируется интерференционная картина, позволяющая судить о состоянии изделия. Чем сложнее будет форма пучка, тем больше его параметров изменится после взаимодействия с объектом, и, следовательно, можно получить более полную информацию о

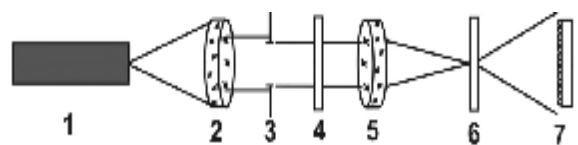


Рис. 1. Схема установки, используемая в эксперименте:

1 – полупроводниковый лазер $\lambda = 0,6354$ мкм; 2,5 – объективы; 3 – диафрагма; 4 – дифракционно-оптический элемент; 6 – исследуемый объект; 7 – ПЗС матрица

Павлов Павел Владимирович, адъюнкт.

E-mail: Pashok8208@mail.ru

Вольф Игорь Эдуардович, адъюнкт.

E-mail: Wolfigor71@mail.ru

Бородин Артур Николаевич, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник.

E-mail: artur_b@mail.ru

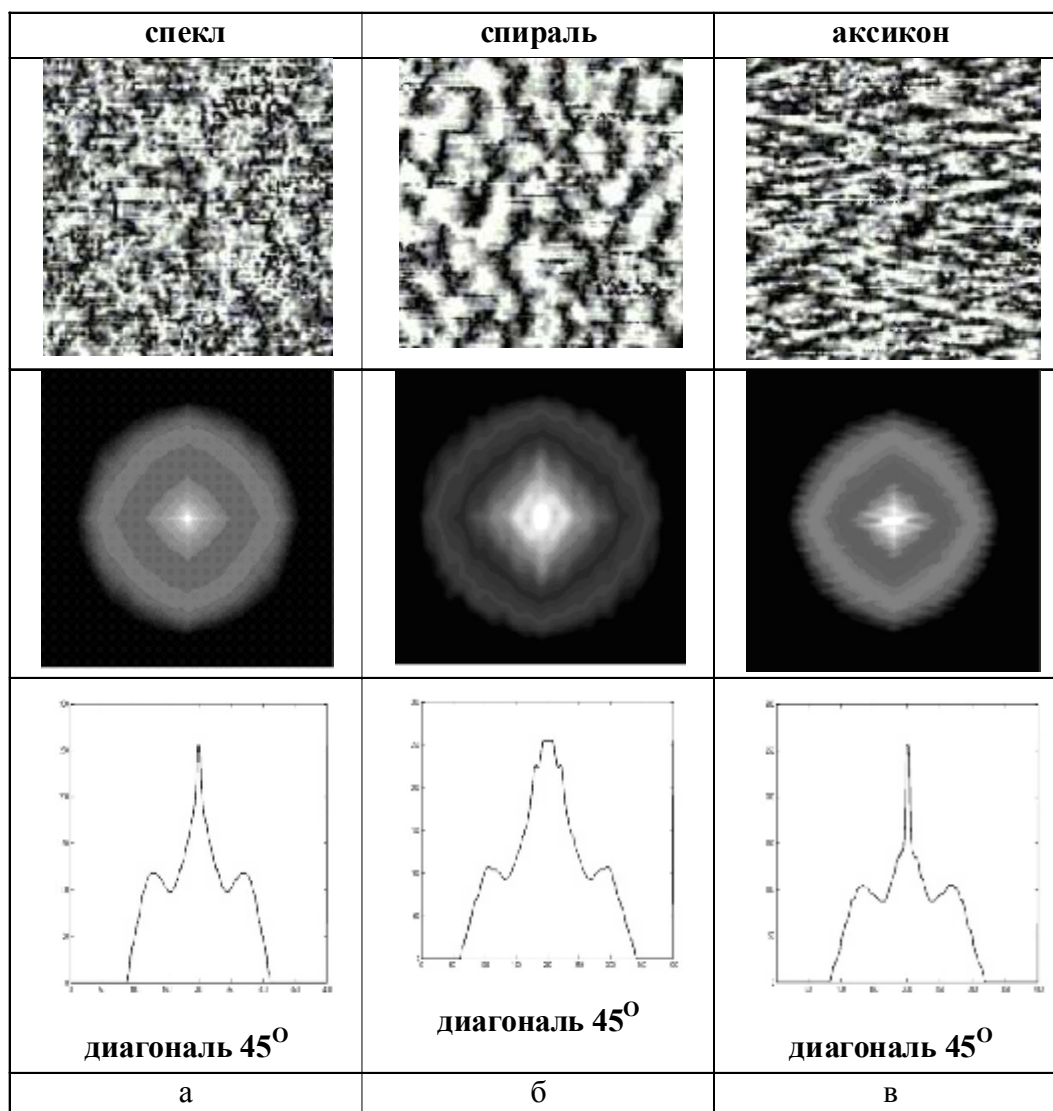


Рис. 2. Результаты эксперимента (сверху вниз: нормированные спекл-картины, функции автокорреляции, диагональный срез функции автокорреляции): а – без ДОЭ, б – ДОЭ для спирали, в – ДОЭ для аксикона

дефектах. Для визуализации изменений структуры спирального пучка, обусловленных отражением от зондируемого объекта, можно использовать его интерференцию с плоской волной. Рассмотрим интерференцию точечного источника при зондировании плоской волной (рис. 3.а) и лазерным пучком в виде спирали (рис. 3.б).

Уравнение плоской волны, распространяющейся вдоль оси z:

$$E_x(z, t) = A \cos(\omega t - kz). \quad (1)$$

Уравнение волны с винтовой дислокацией:

$$E_x(z, t) = A_0 \cos\left(\omega t - kz - \arccos \frac{x}{R}\right), \quad \text{если } y > 0 \quad (2)$$

$$E_x(z, t) = A_0 \cos\left(\omega t - kz - 2\pi + \arccos \frac{x}{R}\right), \quad \text{если } y < 0 \quad (3)$$

где $R = \sqrt{(x - \Delta x)^2 + (y - \Delta y)^2 + z_0^2}$. (4)
Результирующая амплитуда колебаний имеет вид:

$$A = \sin(\varphi(x, y)) + \frac{z}{R} \cos(\varphi(x, y)). \quad (5)$$

Когерентность света, освещающего изделие, позволяет сохранить и визуализировать при помощи явлений дифракции и интерференции очень малые изменения фаз световых колебаний, возникающие при отражении от контролируемой поверхности.

Численное моделирование наглядно показывает влияние точечного дефекта на изменение интерференционной картины для плоской и спиральной волн. Дефект рассматривается как точечный источник, формирующий сферическую волну, интерферирующую с плоским или спиральным волновым фронтом. Результаты экспе-

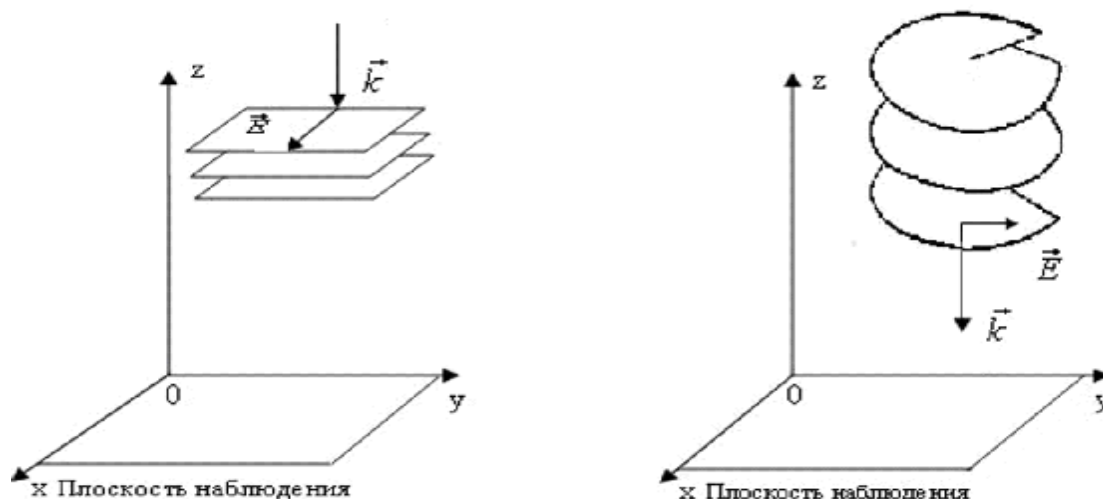


Рис. 3. Структура плоской волны (а) и волны в виде спирали (б), используемой в численном моделировании

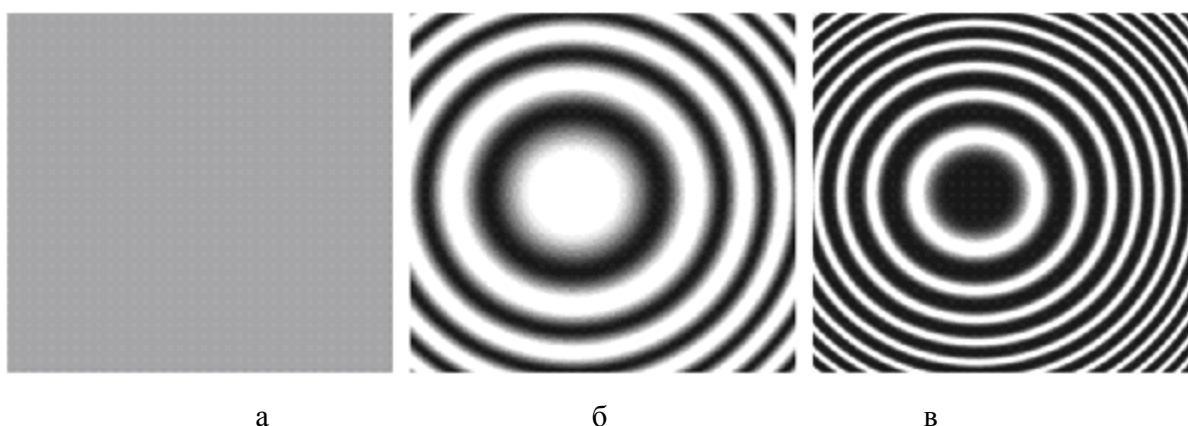


Рис. 4: а – распределение фазы плоской волны, б – распределение фазы точечного источника в плоскости наблюдения, в – интерференционная картина взаимодействия плоской волны с точечным источником.

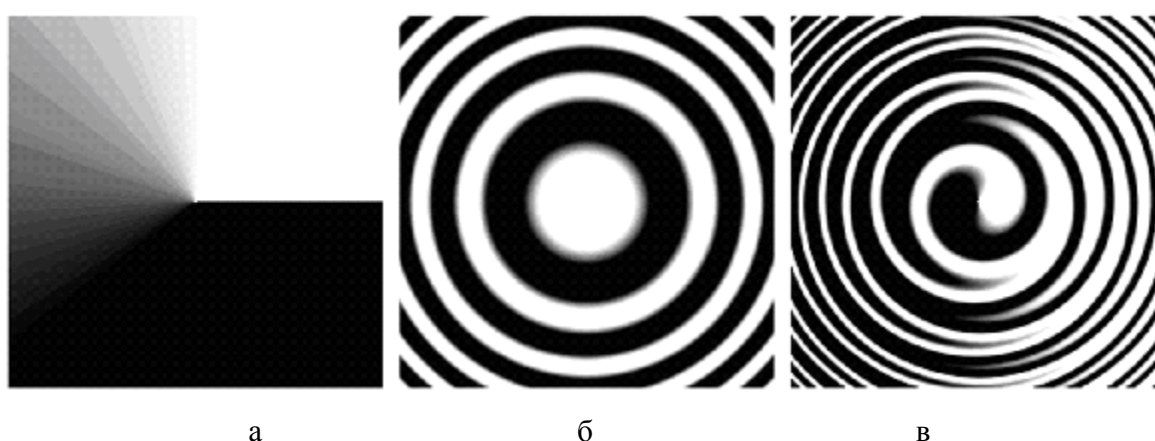


Рис. 5: а – распределение фазы спирального пучка, б – распределение фазы точечного источника в плоскости наблюдения, в – интерференционная картина взаимодействия спирального пучка с точечным источником (ось пучка совпадает с центром точечного источника)

риментов представлены на рис. 4"б, где показаны фазовые профили для спирального пучка (рис. 5а, рис. 6а) и плоской волны (рис. 4а) в

плоскости наблюдения. На рис. 5б показано распределение фазы в плоскости наблюдения, когда положение точечного источника (дефекта)

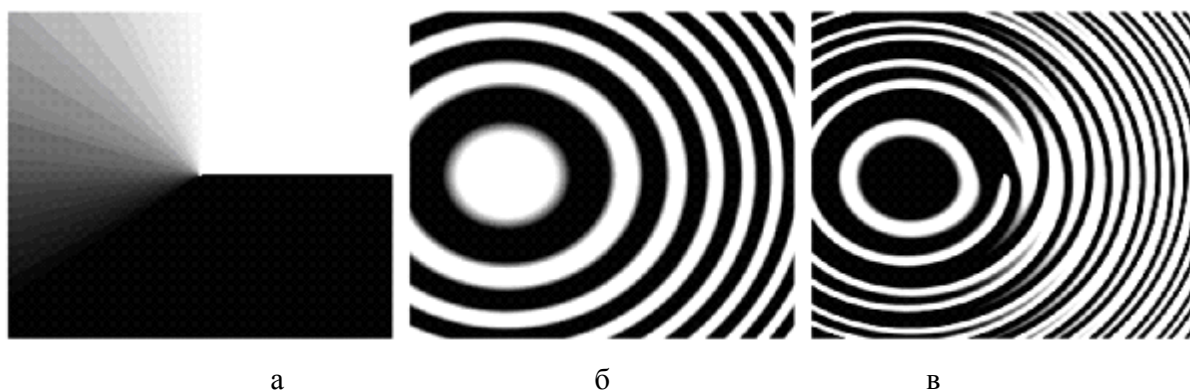


Рис. 6: а – распределение фазы спирального пучка, б – распределение фазы точечного источника в плоскости наблюдения, в – интерференционная картина взаимодействия спирального пучка с точечным источником (ось пучка не совпадает с центром точечного источника)

совпадает с главной осью спирального пучка, а на рис. 6б положение точечного источника не совпадает с главной осью спирального пучка.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование пучка с винтовой дислокацией позволяет в достаточной степени судить о характере и особенностях дефекта, расположенного на поверхности исследуемой детали, что отчетливо наблюдается на результирующих интерференционных картинах. В плоскости наблюдения в этом случае будет наблюдаться биение двух близких по своей структуре волновых полей. Результирующая интерференционная кар-

тина, свидетельствующая о степени несовпадения реального объекта с эталоном по анализу изгиба интерференционных полос, что позволяет в реальном времени оценивать степень деформации.

Авторы благодарят Н.Н. Лосевского за помощь в организации эксперимента и профессора В.В. Котляра за плодотворные консультации и обсуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Франсон М. Оптика спеклов. М. Мир 1980, 172с.
2. Дифракционная компьютерная оптика / под ред. В.А. Соифера. М., Физматлит, 2007, 736 с.
3. Зельдович Б.Я., Пилитецкий Н.Ф., Шкунов В.В. Обращение волнового фронта. М., Наука, 1985, 248 с.

THE SPECLES-DIAGNOSTICS BY USE SPIRAL AND SINGULAR TEST BEAMS

© 2009 P.V. Pavlov, I.E. Wolf, A.N. Borodin

Irkutsk Higher Military Aviation Engineering School

The speckles-method of a rough surface and subsurface research of object by using of complex-structured laser radiation formed by means of spiral and singular filters is considered.

Keywords: speckles-method, not destroying control, roughness of surface, spiral and singular beams.

Pavel Pavlov, Graduate Student.

E-mail: Pashok8208@mail.ru

Igor Wolf, Graduate Student. E-mail: Wolfigor71@mail.ru

Artur Borodin, Candidate of Physics and Mathematics, Research Fellow. E-mail: artur_b@mail.ru