

Голографическая интерферометрия бокового сдвига с изменяемой чувствительностью для исследования быстропротекающих процессов

А.М.Ляликов

Предложен и экспериментально реализован новый способ одновременной записи голограмм с различной величиной бокового сдвига, позволяющий на этапе их оптической обработки изменять чувствительность измерений в широком диапазоне. Представлены результаты экспериментальной апробации способа, подтверждающие его перспективность и практическую значимость, особенно для исследования быстропротекающих процессов.

Ключевые слова: голографическая интерферометрия, боковой сдвиг, интерференционная картина, чувствительность измерений.

1. Введение

При интерферометрических исследованиях часто возникает проблема несоответствия между чувствительностью метода и диапазоном изменений измеряемого параметра исследуемого объекта. В случае двухлучевой голографической интерферометрии с референтной волной сравнения для решения данной проблемы обычно используется многоволновая регистрация голограмм [1–4]. При увеличении числа одновременно записанных голограмм или интерферограмм излучением с различными длинами волн задача согласования коэффициента чувствительности интерферометрических измерений и диапазона изменений измеряемого параметра исследуемого объекта значительно упрощается [5].

Интерферометрия сдвига, в отличие от двухлучевой интерферометрии с референтной волной сравнения, более проста в реализации и обладает не меньшей точностью измерений [6, 7].

Одной из особенностей интерферометрии бокового сдвига в случае малых сдвигов является прямо пропорциональная зависимость чувствительности метода от величины сдвига [8]. Это обстоятельство и позволяет регулировать чувствительность интерференционного метода в соответствии с величиной измеряемого параметра исследуемого объекта на стадии как регистрации сдвиговых интерферограмм, так и их получения при восстановлении голограмм исследуемого объекта [9, 10].

При исследовании быстропротекающих процессов в случае неопределенности диапазона изменения измеряемого параметра исследуемого объекта желательно одновременно получить несколько интерферограмм с различным боковым сдвигом, отображающих измеряемый параметр с различной чувствительностью.

В данной работе рассмотрен новый способ одновременной записи голограмм с различной величиной бо-

кового сдвига, который позволяет на этапе оптической обработки получать интерференционные картины, отображающие параметр исследуемого объекта с изменяемой в широком диапазоне чувствительностью измерений.

2. Запись сдвиговых голограмм

На рис.1 изображена оптическая схема установки для одновременной записи голограмм с различной величиной бокового сдвига. Излучением лазера ЛГН-212 1 и телескопической системой 2, 3 формировался коллимированный пучок света, соответствующий размерам исследуемого объекта 4. Телескопическая система 5, 6 служила для уменьшения диаметра объектного пучка. На выходе интерферометра бокового сдвига 7 в зоне, оптически сопряженной с исследуемым объектом 4, вдоль хода объектного пучка (ось z) устанавливались последовательно n фотопластинок 8 для одновременной записи голограмм с различной величиной бокового сдвига.

При записи голограмм бокового сдвига объектная волна с плоским волновым фронтом, деформированным исследуемым объектом 4, в интерферометре бокового сдвига 7 разделяется по амплитуде на две волны. Предположим, что первая волна распространяется вдоль оси z . Тогда ее комплексная амплитуда может быть представлена в виде

$$A_0(x, y) = a_1 \exp[i\varphi(x, y)], \quad (1)$$

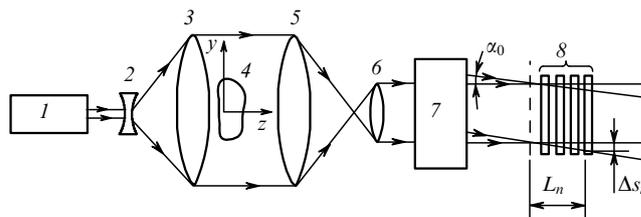


Рис.1. Оптическая схема установки для записи сдвиговых голограмм:
1 – лазер ЛГН-212; 2, 3 и 5, 6 – телескопические оптические системы; 4 – исследуемый объект; 7 – интерферометр бокового сдвига; 8 – плоскости записи сдвиговых голограмм.

А.М.Ляликов. Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Белоруссия, 230023 Гродно, ул. Ожешко, 22;
e-mail: lyalikov@inbox.ru

Поступила в редакцию 13 января 2006 г.

нимален ($K_{\min} = \Delta s_1$) при оптической обработке первой сдвиговой голограммы в случае выделения волн, дифрагировавших в 0-й и 1-й порядки. Его максимальное значение ($K_{\max} = 2l_{\max}\Delta s_n$) достигается при оптической обработке последней (n -й) сдвиговой голограммы в случае выделения волн, дифрагировавших в максимально удаленные комплексно-сопряженные l_{\max} -ные порядки дифракции. Максимальные значения порядков дифракции на практике ограничены из-за падения дифракционной эффективности и роста шума при увеличении номера порядка.

Таким образом, выбрав для оптической обработки соответствующую сдвиговую голограмму из серии записанных, а также используя соответствующие порядки дифракции, мы получим после регистрации за одну экспозицию быстропротекающего процесса целый ряд интерференционных картин в полосах произвольной ширины и ориентации с коэффициентами чувствительности, лежащими в широком диапазоне – от минимальных ($K_{\min} = \Delta s_1$) до максимальных ($K_{\max} = 2l_{\max}\Delta s_n$) значений.

4. Экспериментальные результаты

Способ одновременной записи голограмм с различной величиной бокового сдвига был апробирован при ви-

зуализации зон плавления плоских образцов полиметилметакрилата в процессе их термической обработки. В качестве регистрирующей среды использовались фотопластинки «Микрат ЛОИ-2» с толщиной стеклянной подложки 2 мм.

Плоский образец полиметилметакрилата 4 исследовался на установке, схема которой приведена на рис.1. Диаметр объектного светового пучка (60 мм) уменьшался до 20 мм телескопической системой 5, 6 при вводе в четырехзеркальный интерферометр бокового сдвига 7. В плоскостях записи сдвиговых голограмм 8 на расстоянии 6, 10, 22 и 30 мм от плоскости точного совмещения интерферирующих волн устанавливались последовательно четыре фотопластинки. Угол голографирования α_0 был равен ~ 0.05 рад. В этом случае за одну экспозицию записывались четыре голограммы с величинами бокового сдвига, направленного вдоль оси y , $\Delta s_1 = 0.9$ мм, $\Delta s_2 = 1.5$ мм, $\Delta s_3 = 3.3$ мм и $\Delta s_4 = 4.5$ мм.

На рис.3 приведены интерференционные картины, полученные при оптической обработке трех из серии записанных за одну экспозицию голограмм бокового сдвига, отображающие изменение толщины плоского образца полиметилметакрилата в момент термической обработки. Интерференционные картины получали по схеме, приведенной на рис.2. Во всех случаях диафрагмой 3

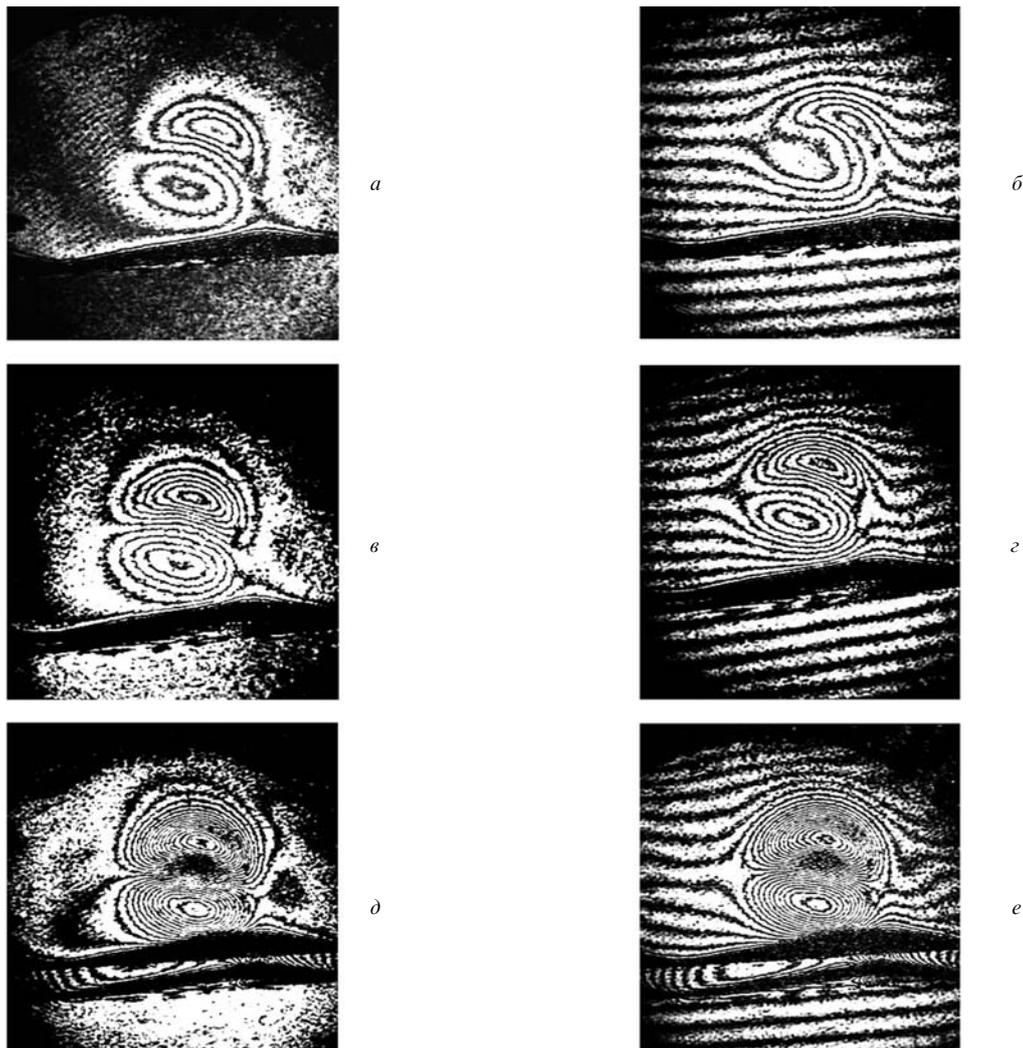


Рис.3. Интерференционные картины, полученные при оптической обработке голограмм, записанных при боковых сдвигах $\Delta s_1 = 0.9$ мм (а, б), $\Delta s_2 = 1.5$ мм (в, в) и $\Delta s_4 = 4.5$ мм (д, е).

выделялись ± 1 -е порядки дифракции света на голограммах. При получении первой пары интерференционных картин в полосах бесконечной (рис.3,а) и конечной (рис.3, б) ширины использовалась первая голограмма, записанная при боковом сдвиге $\Delta s_1 = 0.9$ мм. Две последующие пары интерференционных картин получены с использованием голограмм, записанных при боковых сдвигах $\Delta s_2 = 1.5$ мм (рис.3,в, г) и $\Delta s_4 = 4.5$ мм (рис.3,д, е). Коэффициенты чувствительности приведенных интерференционных картин равны 1.8 (рис.3,а, б), 3.0 (рис.3,в, г) и 9.0 (рис.3,д, е).

5. Заключение

Возможность одновременной записи серии голограмм с различной величиной бокового сдвига позволяет за один эксперимент получить достаточно большое количество интерференционных картин с широким набором различных коэффициентов чувствительности и, тем самым, решить задачу согласования чувствительности интерференционных измерений с величиной измеряемого параметра исследуемого объекта. Наибольшую применимость рассмотренный способ записи голограмм будет иметь при исследовании быстропротекающих процессов в случае неопределенности диапазона изменения величины измеряемого параметра изучаемого объекта.

Автор выражает благодарность А.В. Сутягину за помощь в обработке голограмм бокового сдвига и получении интерференционных картин.

1. Weigl F. *Appl. Opt.*, **10**, 187 (1971).
2. Weigl F. *Appl. Opt.*, **10**, 1083 (1971).
3. Мустафин К.С., Селезнев В.А. *Оптика и спектроскопия*, **32**, 993 (1972).
4. Афанасьева А.Л., Мустафин К.С., Селезнев В.А. *Оптика и спектроскопия*, **32**, 589 (1972).
5. Ляликов А.М., Туев А.Ф. *Оптика и спектроскопия*, **73**, 388 (1992).
6. Нугуманов А.М., Смирнов Р.В., Соколов В.И. *Квантовая электроника*, **30**, 435 (2000).
7. Соколов В.И. *Квантовая электроника*, **31**, 891 (2001).
8. Комиссарук В.А. В сб. «Исследования пространственных газодинамических течений на основе оптических методов» (М.: Изд-е ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1971, с. 121).
9. Doi Y., Komatsu T., Fujimoto T. *Jap. J. Appl. Phys.*, **12**, 1036 (1973).
10. Васильев Л.А., Ершов И.В. *Интерферометр с дифракционной решеткой* (М.: Машиностроение, 1976).
11. Бекетова А.К., Белозеров А.Ф., Березкин А.Н. и др. *Голографическая интерферометрия фазовых объектов* (Л.: Наука, 1979).
12. Matsumoto K., Takashima M. *J. Opt. Soc. Am.*, **60**, 30 (1970).
13. Ляликов А.М. *Оптика и спектроскопия*, **73**, 865 (1993).
14. Ляликов А.М., Серенко М.Ю. *Оптика и спектроскопия*, **76**, 810 (1994).
15. Ляликов А.М. *Оптич. журн.*, **5**, 23 (1994).
16. Toker G.R., Levin D. *Appl. Opt.*, **37**, 5162 (1998).