

О. В. ГАЛАБУРДА, В. А. ОКУШКО, Б. Н. ТЮШКЕВИЧ
(Минск)

ДИНАМИКА ДВУХЭКСПОЗИЦИОННОЙ ЗАПИСИ НА ФОТОТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИЙ НОСИТЕЛЬ ИЗЛУЧЕНИЕМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРА

Отечественные фототермопластические носители (ФТПН) находят все более широкое применение в качестве реверсивной регистрирующей среды в голографическом неразрушающем контроле [1—5]. В качестве источников когерентного излучения в указанных работах используются как лазеры непрерывного действия, так и импульсные твердотельные лазеры. В работе [5] приведены результаты исследований по регистрации на ленточный ФТПН двухэкспозиционных голографических интерферограмм диффузно отражающих объектов излучением рубинового лазера, в котором временной интервал между импульсами перестраивался в пределах длительности импульса накачки (30—500 мкс). Однако в ряде случаев (исследование деформаций статически нагружаемых объектов либо деформаций, обусловленных медленно изменяющейся с течением времени нагрузкой и т. д.) временной интервал между экспозициями значительно превышает указанную величину. При этом физические процессы, происходящие на стадии формирования скрытого изображения в ФТПН и геометрического рельефа, могут привести к преимущественному образованию голограмм либо от первой, либо от второй экспозиции, что в конечном итоге приведет к низкому контрасту интерференционных полос.

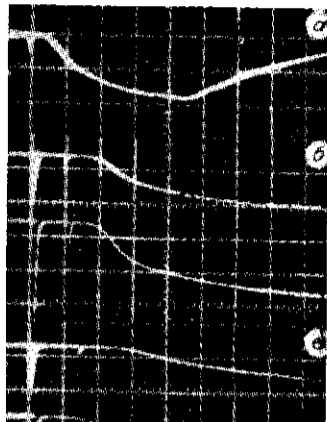
В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования динамики двухэкспозиционной голографической записи на ленточный ФТПН излучением рубинового лазера при варьировании временного интервала между экспозициями в пределах цикла «запись — стирание».

Схема экспериментальной установки обеспечивала плавную перестройку указанного интервала (минимальный временной интервал был равен 2 мкс) и независимый контроль рельефообразования первой и второй голограмм. Регистрировались простые голографические решетки на пространственной частоте $\nu = 800 \text{ мм}^{-1}$ с отношением интенсивностей пучков 2:1. Изменение интенсивности зондирующего излучения в процессе рельефообразования исследовалось с помощью запоминающего осциллографа С8—14 и фотоэлектронных умножителей ФЭУ 84 6, контролирующих световой сигнал в +1-х порядках дифракции голограмм. В качестве источника зондирующего излучения применялся полупроводниковый лазер ИЛПН-205Б, длина волны которого ($\lambda = 0,76 \text{ мкм}$) находится за пределами полосы поглощения фоточувствительного слоя используемого ленточного носителя ФТПН-П шириной 35 мм с полимерным слоем из диалилозофтолата толщиной $d = 0,5 \text{ мкм}$ и фотополупроводникового слоя со сложным составом $\text{As}_{3,8}\text{Se}_3\text{S}_3\text{Sb}_{0,2}$ толщиной $d = 1,9 \text{ мкм}$.

Известно, что при записи голограмм на ФТПН излучением импульсного лазера существует оптимальное время задержки включения экспозиции по отношению к началу зарядки поверхности носителя [6]. Поэтому первая экспозиция включалась через время, соответствующее оптимальной задержке, а вторая — через время, задаваемое регулируемой линией задержки.

На рис. 1 представлены осциллограммы, характеризующие изменения интенсивности зондирующего излучения в процессе образования рельефофазовых решеток на поверхности носителя. Кратковременные отрицательные выбросы на осциллограммах обозначают момент включения

Рис. 1. Осциллограммы, характеризующие изменение интенсивности зондирующего излучения в процессе рельефообразования. Параметры записи: $U_K = 8$ кВ; $\tau_K = 1$ с; $T_A = 350$ К. Развертка 200 (а) и 100 мс/дел. (б, в)



экспозиций. Рис. 1, а описывает полный цикл «запись — стирание» при регистрации одной голограммы. Рис. 1, б, в характеризует процесс рельефообразования одновременно двух голограмм (нижняя кривая соответствует первой экспозиции, верхняя — второй).

Результаты исследований позволяют сделать следующий вывод: изменение промежутка времени между экспозициями принимают время от начала зарядки поверхности носителя до появления деформаций, обусловлено не только режимами зарядки и проявления, но и осуществляемой задержкой включения экспозиции. При записи двухэкспозиционной голограммы под τ_{s1} и τ_{s2} подразумевалось время от момента включения экспозиции до начала рельефообразования первой и второй голограмм соответственно.

На рис. 2 изображены временные зависимости τ_{s1} (кривая 1) и τ_{s2} (кривая 2). Видно, что обе голограммы начинают проявляться одновременно, если вторая экспозиция включена до начала рельефообразования первой голограммы (см. рис. 1, б). На рис. 2 — это участок кривой 1 до момента времени t_1 . Если же вторую экспозицию включать в момент, когда на поверхности ФТПН уже идет развитие геометрического рельефа первой голограммы, то наблюдается задержка начала рельефообразования второй голограммы по отношению к первой. На рис. 2 — это участок после момента времени t_1 . Кривая 3 на рис. 2 показывает, что на временном интервале до 200 мс две голограммы записываются с максимальной дифракционной эффективностью. При этом отношение $\eta_2/\eta_1 = 0,75$. Необходимо отметить, что указанная зависимость определяется режимами зарядки, проявления и типом ФТПН. Изменением задержки включения первой экспозиции можно несколько увеличить отношение η_2/η_1 . Однако при этом уменьшается абсолютное значение дифракционной эффективности голограмм [6]. Зависимость $\eta_2/\eta_1(t)$ показывает, что увеличение временного интервала между экспозициями >200 мс приводит к резкому снижению η_2 . Одновременное уменьшение η_2 и увеличение τ_{s2} объясняется, по-видимому, процессом перераспределения зарядов на деформациях первой голограммы, что приводит к изменению потенциала поверхности и затрудняет рельефообразование второй голограммы [7]. Если учесть, что время формирования скрытого изображения мало по сравнению с характерными временами рельефообразования, то включение второй экспозиции на временном интервале до значения t_1 дает возможность образования скрытого изображения второй голограммы до начала проявления первой. Обе голограммы восстанавливаются одновременно, когда деформирующие силы за счет непрерывной зарядки поверхности достигают величины, необходимой для начала деформации.

На рис. 3 представлены зависимости $\sqrt{\eta}$ от времени для голограмм с различным временным интервалом между экспозициями. Поскольку дифракционная эффективность голограмм не превышала 4%, то корень квадратный из значения интенсивности первого порядка дифракции с точностью до 5% пропорционален глубине рельефа [8]. Как видно из

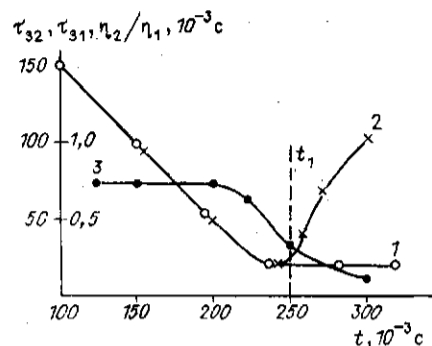


Рис. 2. Зависимость τ_{31} (○), τ_{32} (×), η_2/η_1 (●) от времени задержки включения экспозиции

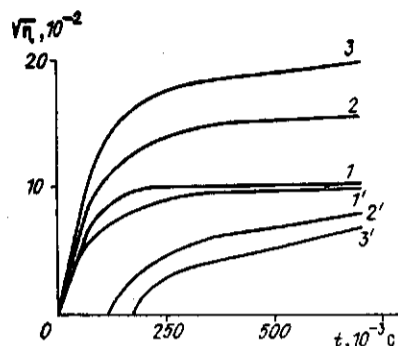


Рис. 3. Зависимость $\sqrt{\eta}$ от времени: 1—3 соответствуют голограммам первой экспозиции, 1'—3' — второй экспозиции; 1' — экспозиция включена за 50 мс до начала рельефообразования первой голограммы; 2' — через 20 мс после начала рельефообразования первой голограммы; 3' — через 50 мс после начала рельефообразования первой голограммы

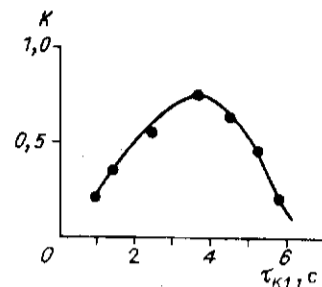
рис. 3, проявления голограмм, развивающихся на предварительно недеформированной (кривые 1, 1', 2, 3) и деформированной (кривые 2', 3') поверхностях, различаются. В первом случае на начальном участке деформации развиваются с постоянной скоростью роста. Во втором случае (кривые 2', 3') скорость роста на начальном участке рельефообразования изменяется, что, по нашему мнению, наряду со сложным характером течения вязкого термопластического слоя, связано с перераспределением заряда в процессе деформации ФТНН, обусловленной первой экспозицией.

Для записи двухэкспозиционных голографических интерферограмм с высоким контрастом полос временной интервал между экспозициями не должен превышать некоторой определенной величины, в частности, для выбранных режимов зарядки, проявления и типа ФТНН — порядка 200 мс. Этот вывод был подтвержден в процессе записи двухэкспозиционных голографических интерферограмм при исследовании форм колебаний лопаток газотурбинных двигателей. Для дальнейшего расширения интервала между экспозициями при регистрации голографических интерферограмм можно использовать явление остаточной памяти ФТНН. Результаты исследований остаточной памяти в зависимости от режимов зарядки и проявления изложены в [4].

Однако, как показали исследования [9], если ФТНН даже с полностью стертой записью снова заряжается в поле коронирующей итти, то в тех точках, где уже была запись, деформация появляется раньше и при меньших значениях потенциала поверхности. Таким образом, при использовании остаточной памяти ФТНН восстановление первой голограммы начнется раньше, чем второй, и за счет перераспределения поверхностного заряда преимущественно восстановится первая голограмма, что приведет к снижению контраста интерференционных полос [2, 7].

При решении задачи по расширению временного интервала между экспозициями выбирались такие режимы записи, при которых рельефообразование голограмм, соответствующих двум состояниям объекта, начиналось бы одновременно. В одном из вариантов записи менялись времена зарядок τ_{31} и τ_{32} при первой и соответственно второй экспозициях. При этом τ_{31} выбирались с тем условием, чтобы деформации первой голограммы отсутствовали, а τ_{32} — с условием получения максимальной дифракционной эффективности. Длительности зарядок τ_{31} и τ_{32} подбирались экспериментально при исследовании динамики рельефообразования. Так, при исследовании вибрационных характеристик вращающихся объектов излучением рубинового лазера временной интервал между экспозициями задавался временем зарядки накопительных батарей и ско-

Рис. 4. Зависимость контраста K от времени зарядки $\tau_{к1}$ при первой экспозиции.
 Параметры записи: $U_{к1}=8$ кВ; $\tau_{к2}=5,5$ с; $T_{з}=350$ К



ростью вращения объекта, поскольку в промежутке между экспозициями последний должен сделать кратное число оборотов. При временном интервале между экспозициями от 8 с до 1 мин получены голографические интерферограммы объектов за две вспышки лампы накачки. Длительности зарядок при первой и второй экспозициях были равны соответственно 2 и 4 с. При исследовании статически нагружаемых объектов с использованием гелий-неонового лазера интервал между экспозициями составлял величину ~ 6 мин. При этом исследована зависимость контраста K интерференционных полос от времени зарядки $\tau_{к1}$ при $\tau_{к2}$, выбранном с условием получения максимальной дифракционной эффективности. Из рис. 4 видно, что контраст полос K сильно зависит от соотношения $\tau_{к1}$ и $\tau_{к2}$. Для оптимального соотношения $\tau_{к1}$ и $\tau_{к2}$ значение контраста полос в зависимости от временного интервала между экспозициями (до 6 мин) плавно уменьшается от 0,8 до 0,62.

Условие одновременности начала появления деформаций от первой и второй экспозиций реализуется также в том случае, когда ФТПН в процессе первой зарядки и экспозиции находится при температуре, меньшей температуры записи, а окончательное проявление осуществляется импульсным нагревом либо в момент второй зарядки и экспозиции, либо после нее.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что в зависимости от временного интервала между экспозициями изменяется время задержки начала рельефообразования второй голограммы по отношению к первой и скорость роста деформаций, обусловленных второй экспозицией. Также установлено, что деформации, обусловленные первой экспозицией, на начальном этапе развиваются с постоянной скоростью роста. Для записи двухэкспозиционных голографических интерферограмм с высоким контрастом полос временной интервал между экспозициями не должен превышать некоторой величины, определяемой режимами зарядки, проявления и типом ФТПН. Исследованы возможности и практически реализована запись двухэкспозиционных голографических интерферограмм при увеличении временного интервала между экспозициями в широких пределах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жовтанецкий О. И., Зюбрик А. И., Левченко О. Г., Фитзь Ф. М. Использование паразитной памяти фототермопластиков в голографической интерферометрии // Автоматрия. — 1983. — № 1.
2. Анкин В. И., Коршак О. Я., Панасюк Л. М., Сухачев Ю. М. Голографический интерферометр с фототермопластическим регистратором на базе неорганических полупроводников // Тез. докл. IV Всесоюз. конф. по бессеребряным и необычным фотографическим процессам. — Черногоровка: ОИФХ АН СССР, 1984. — Т. 1. — Ч. 2.
3. Зайченко О. В., Комаров В. А. Фототермопластический регистратор интерферограмм // ИТЭ. — 1987. — № 1.
4. Тющевич Б. Н., Окушко В. А. Динамика записи голограмм на фототермопластический носитель рубиновым лазером в свободном режиме генерации: Сб. науч. тр. КуАИ им. С. П. Королева. — Куйбышев: КуАИ, 1986.
5. Тющевич Б. Н., Окушко В. А. Запись на фототермопластике голографических интерферограмм двухимпульсным рубиновым лазером // Тез. докл. респ. науч.-практ.

- семинара «Голография в промышленности и научных исследованиях». — Гродно: Гродненский гос. ун-т, 1986.
6. Айрапетов А. А., Елисеев А. П., Седунов Б. И. Высокоскоростная голографическая запись на ленточном фототермопластическом носителе // Тез. докл. III Всесоюз. конф. по бессеребряным и необычным фотографическим процессам. — Вильнюс, 1980.
 7. Панасюк Л. М., Русаков М. М. Изменение плотности электрического заряда на деформируемой поверхности термопластического материала // ЖНПФик. — 1974. — 19, вып. 4.
 8. Urbach J. C., Meier R. W. Properties and limitations of hologram recording materials // Appl. Opt. — 1969. — 8, N 11. — P. 2269.
 9. Килийская Е. Л., Клишук П. В., Копачинский Г. Г. О цикличности двухслойных ФГПН // Тез. докл. II Всесоюз. конф. «Формирование оптического изображения и методы его обработки». — Кишинев, Кишиневский гос. ун-т, 1985. — Т. 1.

Поступила в редакцию 7 февраля 1990 г.
