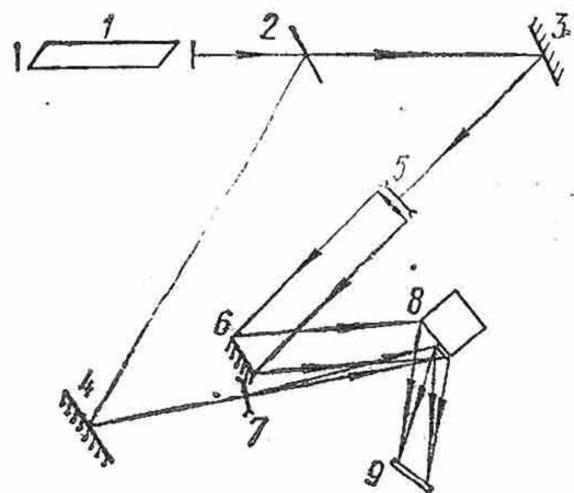


ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ НИЗКОМОДУЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ГОЛОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

А. С. Липкин, А. Р. Торский

Известно, что голографическая интерферометрия успешно применяется для исследований напряженного и деформированного состояния твердых тел [3—5]. Этот высокочувствительный бесконтактный метод определения перемещений позволяет решить ряд новых задач, связанных с прочностью



конструкций, имеющих сложную конфигурацию поверхности.

Для оценки эффективности применения голографических методов при определении деформации элементов конструкций нами одновременно проводились исследования тензометрическим способом. Исследуемые образцы представляли собой стержни размера $40 \times 40 \times 160$ мм, изготовленные из гипсо-песчаного раствора, модуль Юнга $\tilde{E} = (1 \div 5) \times 10^4$ кг/см², нагрузка осуществлялась с помощью гидравлического пресса.

Схема получения интерферограмм для исследования деформации образца показана на рис. 1. Пучок света от гелий-неонового лазера 1 ЛГ-36 ($\lambda = 6328$ Å) разделяется прозрачной плоской стеклянной пластинкой 2 на два пучка (предметный и опорный). Первый, проходящий через делитель, отражается зеркалом 3, расширяется короткофокусным объективом 5, отражаясь от зеркала 6, освещает поверхность исследуемого образца 8 и рассеивается от него на фотопластинку 9. Опорный пучок, отражаясь от делителя на зеркало 4, расширяется объективом 7, отражается от образца и попадает на фотопластинку 9.

Большим деформациям соответствует большое количество интерференционных полос на единицу площади, что существенно затрудняет расшифровку. Для облегчения расшифровки данных эксперимента используется метод «реального масштаба времени» (метод «живых полос») [2]. При этом шаг нагружения $P = 73,5$ кг. Тензодатчики на образцах наклеены вдоль оси нагружения; длина их $l = 20$ мм. Поскольку последние измеряют только продольную составляющую деформации (ϵ_T , кг/см²), возникла необходимость отделить ее от поперечной в интерференционной картине.

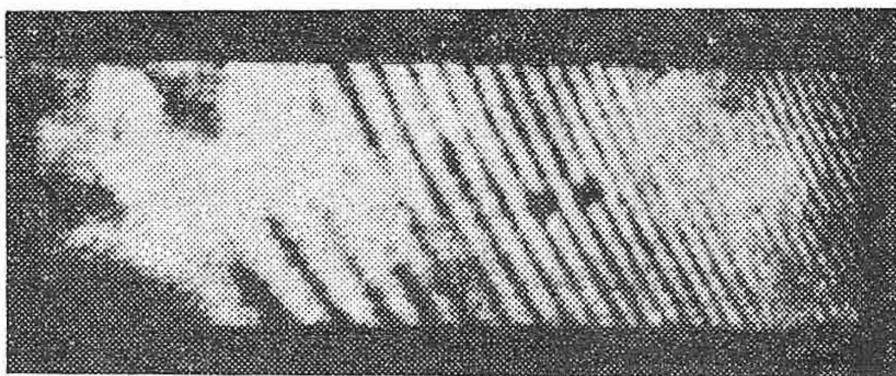


Рис. 2

Для выделения продольной составляющей деформации в методе голографии (ϵ_T , кг/см²) используется метод пространственной модуляции опорного пучка в направлении поперечной деформации. Пространственная модуляция опорного пучка осуществляется с помощью зеркала на толстой подложке, размещенного рядом с тензодатчиком. В этом случае интерференционные картины вызываются только продольной составляющей деформации. Эффект, производимый поперечной составляющей деформации, лежит в области погрешности эксперимента. Голографическая интерферограмма нагруженного образца приведена на рис. 2.

Получение экспериментальных данных по тензометрии и голографической интерферометрии проводилось одновременно. Голографирование

сжимаемого образца осуществлялось методом «двойной экспозиции» [2]. Первая экспозиция голограммы производилась для образца, стабилизированного на деформации предыдущей ступени нагружения, а вторая — после следующего шага нагрузки и т. д.

Для измерения перемещений точек поверхности образца по интерференционной картине необходимо определить расстояние до плоскости локализации интерференционных полос, измерить их количество и оценить форму. При наличии полос нулевого порядка или при возможности их определения расчет сводится к подсчитыванию количества полос. При отсутствии полос нулевого порядка пользуются методом «изменения угла наблюдения». При этом решается система уравнений вида

$$\vec{d}(\vec{R}_1 - \vec{R}_2) = \pm k_{12}\lambda, \quad \vec{d}(\vec{R}_2 - \vec{R}_3) = \pm k_{23}\lambda, \quad \vec{d}(\vec{R}_3 - \vec{R}_1) = \pm k_{31}\lambda,$$

где \vec{d} — вектор смещения исследуемой точки поверхности объекта; $\vec{R}_1, \vec{R}_2, \vec{R}_3$ — последовательные направления наблюдения; k_{12}, k_{23}, k_{31} — числа полос, соответствующие изменениям положения, λ — длина волны. Решая систему уравнений, находим трехкомпонентный вектор смещения любой точки объекта [1].

Голографические интерферограммы исследуемого образца расшифровывались методом «изменения угла наблюдения» с модификацией, дающей возможность определять смещение точки в одном направлении. Модификация метода состоит в том, что наблюдение ведется симметрично относительно направления, по которому определяются перемещения измеряемой точки. Последнее дает возможность решить для продольных смещений вершин углов тензодатчиков уравнение вида

$$\vec{d}(\vec{R}_1 - \vec{R}_2) = \pm k_{12}\lambda.$$

Суммируя смещения вершин углов тензодатчиков, получаем приращение длины тензодатчика, и, зная первоначальную длину тензодатчика, находим значение относительной продольной деформации для всех ступеней нагружения образца, включая момент разрушения.

Как видно из графиков зависимости $\varepsilon_T, \varepsilon_t$ от величины напряжения σ (при $\sigma > 2,3 \text{ кг/см}^2$), тензометрический метод измерения деформации (кривая 1) дает существенное отклонение от реальной картины деформации (рис. 3: 1 — зеркало, 2 — тензометрические датчики). Из эксперимента следует, что голографический метод (кривая 2) имеет следующие преимущества над тензометрическим способом исследований деформаций: голографическая интерферометрия позволяет применить точный интерференционный метод к исследованию напряженно-деформированного состояния конструкций с произвольной кривизной поверхности; являясь бесконтактным методом, он более эффективен для измерения деформаций низкомолекулярных материалов.

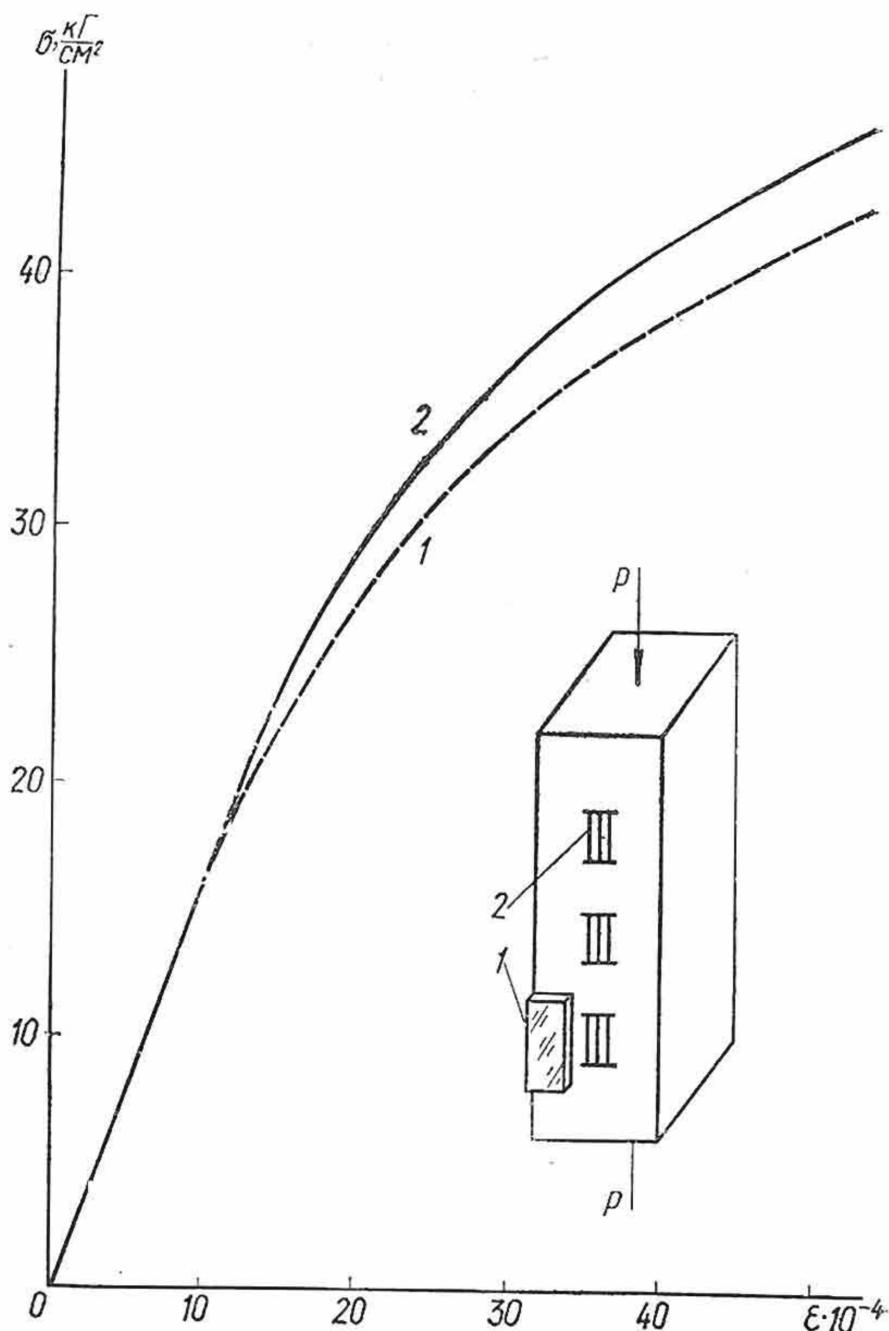


Рис. 3

Применяемый в эксперименте метод «живых полос» предоставляет большие возможности для проведения качественного и количественного анализа деформированного состояния моделей в процессе динамики нагружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Е. Б., Бонч-Бруевич А. М. Исследование поверхностных деформаций с помощью голограммной техники.— ЖТФ, 1967, 37, 2.
2. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография. «Мир», М., 1973.
3. Haines K. A., Hildebrand V. P. Surface-deformation Measurement Using the Wavefront Reconstruction Technique.— Appl. Opt., 1966, 5, 4.
4. Sampson R. C. Holographic-interferometry Applications in Experimental Mechanics.— Experimental Mechanics, 1970, 10, 8.
5. Tsuguta T., Shiotake N., Itoh Y. Producing and localisation of holographic interference pattern.— Opt. Acta, 1969, 16.

Львовский филиал математической физики
Института математики АН УССР

Поступила в редколлегию
в октябре 1974 г.