

О ПРИМЕНЕНИИ ЛАЗЕРОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

А. Я. Александров, М. Х. Ахметзянов

(Новосибирск)

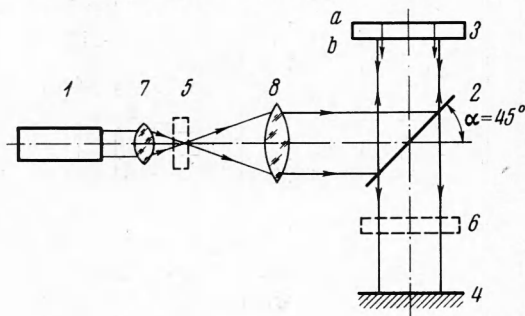
Квантовые оптические генераторы (лазеры), благодаря высокой интенсивности и монохроматичности излучения, а также малой расходимости пучка, начали успешно применяться в качестве источников света при исследовании напряжений и деформаций поляризационно-оптическими методами (см., например, [1-4]). Однако одна из главных особенностей лазеров — когерентность излучения — пока здесь не используется.

Данное сообщение посвящено использованию этой особенности для получения картин изопахик (линий равных сумм главных напряжений в плоских упругих моделях и фотоупругих покрытиях), а также для определения абсолютных разностей хода.

1. Получение изопахик. Как известно, поляризационно-оптический метод исследования напряжений позволяет достаточно просто определять направления и разности квазиглавных напряжений. Что касается их раздельного определения, то, несмотря на обилие различных методов разделения напряжений, эта часть поляризационно-оптического исследования остается наиболее трудоемкой и наименее точной.

Один из этих методов — разделение напряжений при помощи картин изопахик — весьма прост, если эти картины получены. Но получение их при помощи известных схем интерферометров в установках с обычными источниками света очень сложно.

Конструкции существующих интерферометров Майкельсона, Фавра, Поста и др. (см., например, [8]) требуют высокой точности изготовления моделей и весьма тщательной юстировки и поэтому не нашли широкого применения для исследования прозрачных моделей, а для исследования фотоупругих покрытий не применяются вообще. Указанные недостатки существующих интерферометров вызываются тем, что в этих приборах



Фиг. 1

используются обычные источники света, и поэтому интерференция может наблюдаться лишь при весьма небольших разностях хода взаимодействующих пучков. Квантовые оптические генераторы позволяют получать свет чрезвычайно высокой степени монохроматичности и когерентности, что обеспечивает получение четких интерференционных картин при весьма больших разностях хода, с которыми приходится иметь дело при поляризационно-оптических исследованиях. Для проведения исследований в этом случае может использоваться обычная поляризационно-оптическая установка для работы в отраженном или проходящем свете без сложных дополнительных устройств. При этом толщина модели может практически быть любой.

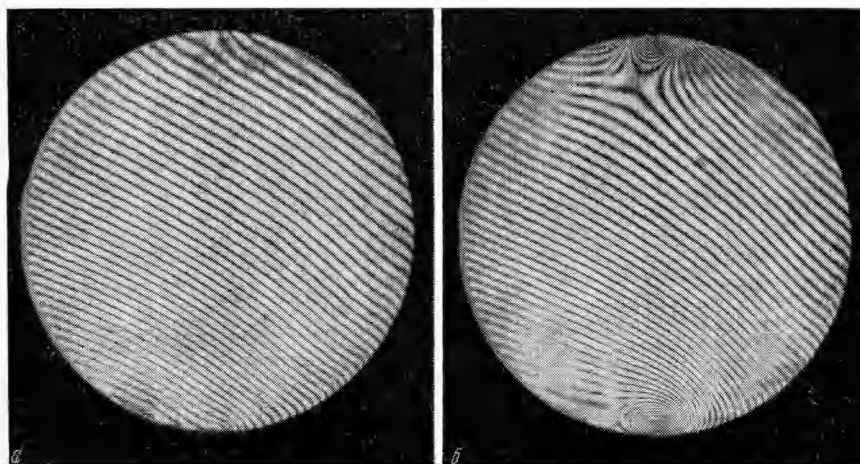
Схема такой установки показана на фиг. 1. Здесь свет, поступающий от лазера 1, отражается от полупрозрачного зеркала 2 и проходит через модель (или фотоупругое покрытие) 3. При этом одна часть лучей отражается от поверхности *a*, а другая — от поверхности *b* модели и падает на экран 4. Система линз 7, 8 служит для увеличения диаметра пучка. В наших исследованиях использовался гелиево-неоновый лазер типа ЛГ-55, анализаторная часть была взята из установки ИМАШ-КБ-2.

Если поляризатор 5 и анализатор 6 вывести, то на экране установки будет наблюдаться интерференционная картина, вызванная взаимодействием лучей, отраженных от поверхностей *a* и *b* модели (или фотоупругого покрытия) в виде линий равных толщин модели. Эта картина фотографируется дважды: до и после нагружения модели или при двух ступенях нагружения. На фиг. 2 показаны такие картины для диаметрально сжатого диска из стекла.

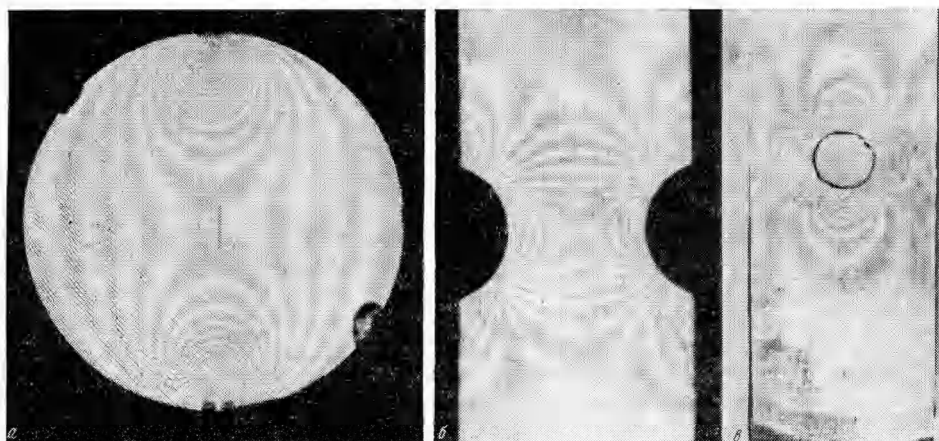
Помимо основной интерференционной картины, на экране установки наблюдается побочная (менее четкая и легко отличаемая от основной) картина, возникающая вследствие интерференции лучей, отраженных от поверхностей линз, полупрозрачного зеркала и т. п. Чтобы ослабить эту картину, можно (хотя это не обязательно) использовать в установке просветленную оптику.

Опыт показал, что при исследованиях методом фотоупругих покрытий четкость картин повышается, если на поверхность покрытия перед его приклейкой наносить отражающий слой вместо того, чтобы использовать отражение от поверхности элемента, на который нанесено покрытие.

Разность полученных таким путем при разных нагружениях модели двух картин даст при исследовании упругих плоских моделей и фотоупругих покрытий картину изопахик. Для вычитания можно при достаточном числе интерференционных полос на каждой из картин использовать эффект муара. Для этого оба негатива, соответствующих двум нагружениям, совмещаются и пропечатываются вместе на фотобумагу. На фиг. 3 показаны полученные таким образом картины изопахик в диаметрально сжатом диске (а), в центрально растягиваемых полосах с боковыми выкружками (б)



Фиг. 2а,б



Фиг. 3 а,б,в

и с круглым отверстием (в). Изопахики получены на образцах из листового органического стекла без всякой дополнительной обработки поверхности (в состоянии поставки этого материала обычно наблюдается от 5 до 20 интерференционных полос на 1 см поверхности листа). Картины изопахик можно также наблюдать непосредственно и в процессе нагружения модели. Для этого первый негатив необходимо укрепить на экране установки, совместив его с изображением модели.

Порядки изопахик n связаны с суммой главных напряжений $\sigma_1 + \sigma_2$ зависимостью

$$\sigma_1 + \sigma_2 = - \frac{E}{\mu} \frac{\lambda}{2d_0} n$$

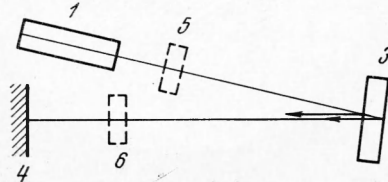
Здесь λ — длина волны света, d_0 — толщина модели, E, μ — упругие постоянные материала.

При введенных скрещенных поляризаторе \bar{b} и анализаторе \bar{b} прибор работает по схеме обычного полярископа, и картины полос интерференции на экране установки соответствуют линиям равных разностей квазиглавных напряжений (полосы) и линиям

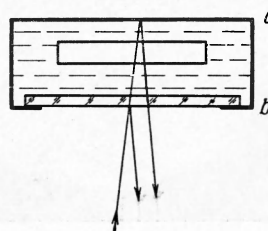
их одинакового наклона (изоклины). В этом случае картина интерференции лучей, отраженных от поверхностей a и b модели, при покрытиях наблюдаться не будет, так как лучи, отраженные от внешней поверхности модели, гасятся анализатором. Аналогично работает прибор, собранный по V-образной схеме (фиг. 4).

Для получения изопахик описанным путем следует использовать модели из материала с малой оптической активностью, чтобы интерференционная картина, вызванная изменением толщины модели, не искажалась влиянием двойного лучепреломления.

2. Определение абсолютной разности хода. Описываемый прибор позволяет определять отдельные значения напряжений и при исследовании моделей из упругого материала с высокой оптической активностью. Для этого необходимо лишь включить в схему поляризатор δ (если излучение лазера неполяризовано). До нагружения модели интерференционная картина будет по-прежнему соответствовать линиям $n_0 2d_0 = \text{Const}$ (n_0 и d_0 — показатель преломления и толщина пластинки в недеформированном состоянии). После нагружения модели в тех областях, где направления главных напряжений совпадают с направлениями плоскости поляризации (т. е. на изоклинах), будут наблюдаться интерференционные картины в виде линий $n_1 2d_1 = \text{Const}$. Чтобы получить такие картины для всего образца, просвечивание производится при различных положениях плоскости поляризации подобно тому, как это делается для получения поля изоклин.



Фиг. 4



Фиг. 5

При упругом деформировании плоской модели или покрытия величины n_1 и d_1 связаны с напряжениями зависимостью

$$n_1 = n_0 + c_1 \sigma_1 + c_2 \sigma_2, \quad d_1 = d_0 [1 - \mu E^{-1} (\sigma_1 + \sigma_2)]$$

Здесь c_1 и c_2 — оптические постоянные материала.

Разность полученных таким образом двух интерференционных картин будет соответствовать линиям $n_1 d_1 - n_0 d_0 = \text{Const}$, имея которые, нетрудно найти отдельные значения главных напряжений.

Аналогичный прием используется для измерения абсолютной разности хода в замороженных срезах. Для этого в полярископ на место модели 3 (фиг. 1) устанавливается иммерсионная ванна (фиг. 5), одна из стенок которой a покрыта отражающим слоем, а вторая b — полупрозрачна. Ванна заполняется прозрачной жидкостью с показателем преломления, равным показателю преломления материала среза.

Если поверхности ванны будут идеально плоскими и выставлены идеально параллельными друг другу, то интерференционная картина при параллельных анализаторе и поляризаторе (или при одном поляризаторе) даст сразу же линии равных значений абсолютных разностей хода в тех точках среза, где направления квазиглавных напряжений совпадают с направлениями плоскости поляризации

$$\Delta = [c_1 \sigma_1' + c_2 (\sigma_2' + \sigma_2'')] d_0$$

Обычно приходится фотографировать картину дважды — до внесения среза в иммерсионную ванну и после, а для получения линий $\Delta = \text{Const}$ можно использовать либо муаровый эффект, либо простое вычитание.

Аналогичным образом можно получать картины и при сквозном просвечивании моделей или срезов.

Поступила 22 V 1967

ЛИТЕРАТУРА

1. Walter N., Tuisku P. A laser light source in dynamic photoelasticity. Dock. diss. Univ. Hl. 1965.
2. Taylor C. E., Bowman C. E., North W. P., Swinson W. F. Application of lasers to photoelasticity. Exp. Mech. 1966, vol. 6, No 6.
3. Penner S. S., Sharma O. P. Interaction of laser radiation with and absorbing semi — infinite solid bar. J. Appl. Phys. 1966, vol. 37, No 6.
4. Bateson S., Hunt J. W., Dalby D. A., Sinha N. K. Stress measurements in tempered glass plates by scattered light method with a laser source. Bull. Amer. Cer. Soc., 1966, vol. 45, No 2.
5. Post D. A New Photoelastic Interferometer Suitable for Static and Dynamic Measurements. Proc. Soc. Experimental stress analysis, SESA, 1954, vol. 12, No 1.