

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА КЕРРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

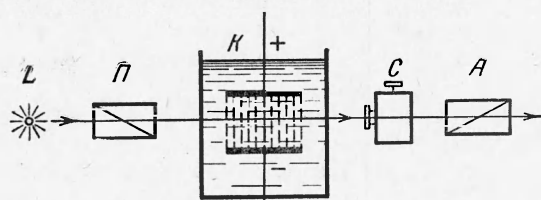
В. М. Никитин

(Ленинград)

В поляризационно-оптическом методе теории упругости при решении объемной задачи можно выделить пять основных направлений: 1) сквозное просвечивание, 2) метод «замораживания», 3) метод рассеянного света, 4) метод слоистых моделей, 5) метод нанесения оптически активного слоя на модель из материала природы.

Общим для всех этих методов является использование явления искусственной анизотропии в теле твердой модели под действием нагрузки. При оценке этими методами напряженного состояния тонкостенных конструкций встречаемся или со сложной расшифровкой полос, или с очень трудоемкими работами по изготовлению моделей.

В данной работе предлагается метод, который, хотя и является оптическим, основан на других явлениях, а именно — на явлении искусственного двойного лучепреломления в жидкостях при наведении на них электрического поля (эффект Керра) [1].



Фиг. 1

1. Как уже говорилось, эффект Керра заключается в том, что некоторые жидкости, помещенные в электрическое поле, обладают свойством двойного лучепреломления. Это явление можно наблюдать на очень простой установке (фиг. 1), где L — источник света, Π — поляризатор, K — конденсатор, погруженный в жидкость, C — компенсатор, A — анализатор.

Экспериментально установлено, что для монохроматического света с длиной волны λ разность показателей преломления необыкновенного n_e и обыкновенного n_o лучей пропорциональна квадрату напряженности поля

$$n_e - n_o = kE^2$$

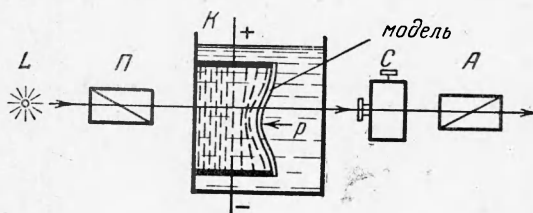
(здесь k — некоторый коэффициент), а разность хода δ , накапливаемая лучами на пути l , равна

$$\delta = l(n_e - n_o) = klE^2$$

Более употребительны следующие формы записи:

$$\varphi = 2\pi\delta / \lambda = 2\pi BE^2, \quad \delta = BE^2\lambda. \quad (B = K / \lambda)$$

Здесь φ — сдвиг, фаз, B — постоянная Керра. Наибольшей величиной B среди жидкостей обладает нитробензол, для которого $B = 2 \cdot 10^{-5}$ CGSE. Это значит, что при $l = 5$ см и $E = 15000$ в/см = 50 CGSE разность фаз $\varphi = \pi/2$, а разность хода для зеленого света ($\lambda = 5200$ Å) равна 130 мμ. Следовательно, для того, чтобы наблюдать данное явление в жидкостях, нужны достаточно сильные поля. Но сравнительно недавно обнаружено, что громадной, по сравнению с другими жидкостями, электрооптической активностью обладают коллоидные растворы бентонита и некоторые белковые соединения. Бентонит — глина, содержащая группу Al_2O_3 . Электрооптические свойства коллоидов (двойное лучепреломление и дихроизм) более сложны и менее изучены, чем в случае жидкости. Но и здесь с достаточной степенью точности можно использовать приведенные ранее зависимости. Для коллоидного раствора бентонита $B \approx 10$ CGSE, т. е. в $5 \cdot 10^5$ раз больше, чем для нитробензола.



Фиг. 2

2. Применение эффекта Керра для решения объемных задач теории упругости основано на том, что разность хода волн обыкновенного и необыкновенного лучей есть функция от длины пути, пройденного ими в жидкости, подверженной действию электрического поля. Модель, изготовленная из прозрачного материала с нулевой оптической активностью (например, органическое стекло с повышенным содержанием дибутылфталата), погружается в ванну с прозрачными стенками. Ванна заполнена жидкостью или коллоидом со значительной электрооптической активностью. Между стенкой ванны и моделью наводится электрическое поле (фиг. 2). В интересующей нас точке измеряется разность хода, приобретаемая на участке от стенки ванны до поверхности модели. Измерения производятся до деформации модели под нагрузкой и после нее, когда длина пути от стенки ванны до края модели будет иной. Разность результатов первого и второго измерений даст величину перемещения точки модели по направлению луча. Перемещения точки в направлении, перпендикулярном к лучу, легко фиксируется, если пользоваться в качестве поляризационной установки координатно-синхронным поляриметром (КСП). Смещение оптической оси установки при наведении ее на новое положение точки измеряется на КСП с точностью до 0.1 мм. Проведя указанные измерения в нужных точках, можно получить достаточное количество данных для того, чтобы полностью охарактеризовать напряженное состояние модели. Ясно, что метод может найти применение только к тонкостенным конструкциям, так как перемещения точек внутри модели им не определить.

Новая постановка вопроса предусматривает и ряд новых проблем. Многие из них связаны со свойствами коллоидного раствора бентонита. Как сообщается в статье [2], при напряжении поля 100 в/см коллоидный раствор начинает заметно нагреваться уже по истечении одной минуты с момента наведения поля. Это нагревание ведет к возникновению конвекционных потоков, которые вызывают также двойное лучепреломление, искажающее электрооптический эффект. Следовательно, поля напряженностью более 100 в/см неприменимы. Это снижает ценность электрооптической активности бентонита. Возникает вопрос, при какой деформации модели смогут существующие компенсаторы зафиксировать изменение разности хода в поле напряженностью 100 в/см? Известно, что точность измерения разности хода по слюдяному компенсатору В. М. Краснова равна 5мк, по компенсатору Бабине 2 — 3мк. Нетрудно подсчитать, что таким величинам при употреблении зеленого света соответствуют перемещения точек модели 0.9 и 0.4 мм соответственно. Такая точность достаточна для наших целей. Если по каким-либо причинам (размер модели и т. п.) необходимо сильно раздвинуть обкладки конденсатора, а возможностей для подведения к ним большого напряжения нет, то модель можно исследовать участками, выводя из тела модели электроды на расстоянии 2—3 см один от другого. В этом случае удобнее оптическую ось установки располагать вертикально (фиг. 3), так как уровень жидкости будет естественной границей поля, не препятствующей перемещению электродов вместе с моделью. Еще одно свойство бентонита требует особой оговорки. В постоянном поле начинается электрофорез коллоидного раствора и последний быстро портится.

Измерение разности хода в переменных полях при помощи компенсатора возможно лишь при определенных частотах, при которых устанавливается устойчивое двойное лучепреломление. В противном случае пользуются фотоэлектрическим методом, описание которого можно найти в работе [2].

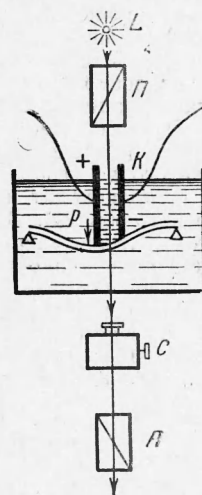
Желательно использовать коллоидный раствор как иммерсионную жидкость, т. е. подбирать материал модели с показателем преломления, равным показателю преломления раствора.

Когда это невозможно или, когда способ загрузки модели таков, что неудобно производить ее сквозное просвечивание, рекомендуется пользоваться односторонней поляризационной установкой, например поляризационным компаратором ПК-6.

Поступила 17 XII 1962

ЛИТЕРАТУРА

1. Волькенштейн М. В. Молекулярная оптика. М.—Л., ГИТТЛ, 1951.
2. Шпольский Э. В. Электрооптические свойства коллоидов. Усп. физ. н., 1945, т. 27, вып. 1, стр. 96.



Фиг. 3