

**А. С. Иванов, О. И. Челябинна** (Подольск, РОНЦ МГОУ им. В. С. Черномырдина). **Аналоговое моделирование термонапряжений с использованием поляризационно-оптического метода.**

Прочностная надежность и ресурс эксплуатации элементов конструкций энергетического машиностроения зависят от уровня и характера распределения температурных напряжений. Среди экспериментальных методов определения последних заслуживают внимания следующие: аналоговое моделирование (пластинчатая аналогия) и поляризационно-оптический метод (фотоупругость). Упомянутые направления исследований развиваются самостоятельно и взаимно не пересекаются [1, 2]. Между тем сочетание этих методов позволит полнее использовать преимущества каждого из них для получения достоверных экспериментальных результатов. В данном сообщении предлагается обосновать синтез аналогового и поляризационно-оптического методов моделирования температурных напряжений.

Сущность аналогового метода моделирования термонапряжений заключается в математической идентичности бигармонических уравнений для функции напряжений реальной системы и функции прогиба модельной пластины [3]. Для односвязной области (например, длинный тепловыделяющий цилиндр) соответствующее уравнение и краевые условия имеют вид (состояние плоской деформации)

$$\Delta \Delta F = \frac{\alpha E q_v}{(1 - \nu) \lambda}, \quad F = \frac{\partial F}{\partial r} = 0 \quad \text{при} \quad r = R, \quad (1)$$

где  $F$  — функция напряжений,  $\alpha$  — коэффициент термического расширения,  $E$  — модуль Юнга,  $\nu$  — коэффициент Пуассона,  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности,  $q_v$  — мощность объемного тепловыделения,  $R$  — радиус цилиндра. Функция прогиба модельной пластины подчиняется уравнению

$$\Delta \Delta w = \frac{p}{D}, \quad w = \frac{\partial w}{\partial r} = 0 \quad \text{при} \quad r = R_1, \quad (2)$$

где  $w$  — функция прогиба,  $p$  — распределенная нагрузка,  $D$  — жесткость пластины,  $R_1$  — радиус пластины. Из условия сохранения размерности  $[F] = [\chi w]$  определяем внешнее давление  $p$  для нагружения модельной пластины, где  $\chi$  — коэффициент для обеспечения размерности. Численное значение  $\chi$  зависит от геометрии и свойств материала модельной пластины. Термонапряжения в исследуемой системе определяются через функцию прогиба (цилиндрическая система координат)

$$\sigma_{zz} = \frac{\chi}{r} \frac{\partial w}{\partial r}, \quad \sigma_{\varphi\varphi} = \chi \frac{\partial^2 w}{\partial r^2}, \quad \sigma_{zz} = \sigma_{rr} + \sigma_{\varphi\varphi}. \quad (3)$$

Экспериментальная реализация аналогового метода моделирования термонапряжений сводится к следующему. При нагружении модельной пластины определяют функцию прогиба  $w$  и коэффициент  $\chi$ . После выполнения простых математических операций получают компоненты тензора термонапряжений.

Физическая сущность поляризационно-оптического метода моделирования термонапряжений заключается в изменении скорости распространения поляризованного монохроматического света при наличии внутренних напряжений в оптическом материале. Это сопровождается образованием интерференционных полос, которые соответствуют тому или иному термонапряженному состоянию. При этом разность фаз поляризованного света зависит от разности главных напряжений модельной пластины (плоская задача термоупругости). В модельной пластине из оптического материала создают внутренние напряжения, эквивалентные температурным. Цена полосы в единицах напряжений находится из тестового примера (например, растяжение вдоль координатной оси). Несомненным достоинством этого метода моделирования термонапряжений является его наглядность. Действительно, интерференционные полосы характеризуют все особенности распределения термонапряжений и допускают количественное описание.

Два метода моделирования температурных напряжений взаимно дополняют друг друга и способствуют получению достоверных результатов. Модельную пластину из оптического материала нагружают распределенным давлением и получают функцию прогиба. Компоненты тензора термонапряжений определяют согласно соотношениям (3). Через модельную пластину с идентичным внешним давлением проходит поляризованный монохроматический свет и возникают интерференционные полосы. Они соответствуют термонапряжениям и дают наглядную картину их распределения. Это справедливо для односвязных и многосвязных областей плоской задачи термоупругости. Все определяется внешним нагружением модельной пластины, включая распределенное давление, сосредоточенные силы и моменты в контурах многосвязной области.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов А. С.* Математические аналогии в механике сплошной среды. М.: МГОУ, 2009, 179 с.
2. *Тимошенко С. П., Гудьер Дж.* Теория упругости. М.: Наука, 1979, 560 с.
3. *Драгунов Ю. Г., Власов Н. М., Иванов С. Д., Федик И. И.* Самоуравновешенные внутренние напряжения. М.: МГОУ, 2010, 391 с.