

**Л. И. Мирнова** (Подольск, РОНЦ МГОУ). **Расчетная модель теории эксперимента определения остаточных напряжений.**

В задачах экспериментальной механики твердого тела применяют различные методы зондирования внутренних напряжений. Распространенный тензометрический метод, позволяющий определить величину напряжений и направление их главных осей наклейкой «розетки» из трех датчиков, требует значительных повреждений исследуемого тела, вызванных необходимостью вырезки объемов с наклеенными на них тензодатчиками. Одним из перспективных способов определения остаточных напряжений является соединение метода высверливания отверстий с методом спекл-интерферометрии, основанным на анализе зернистой структуры изображения объекта. Метод спекл-интерферометрии был предложен в 1970 году Антуаном Лабейри [1]. Метод высверливания отверстий был предложен Матаром в 1932 году и заключается в следующем. Поверхность тела в окрестности высверленного отверстия деформируется в результате высвобождения границ отверстия от напряжений. Далее при помощи голографической интерферометрии измеряются перемещения поверхности и по измеренным перемещениям определяются остаточные напряжения.

Выполненное экспериментальное исследование на модельном образце из сплава Д16АТ показывает, какие перемещения возникают на поверхности в окрестности созданного отверстия в случае, когда внутренние напряжения известны. Для определения остаточных напряжений до образования отверстия по замеренным около высверленного отверстия перемещениям необходимо выполнить серию расчетов по определению перемещений с целью сравнения замеренных перемещений с расчетными данными [2]. Для разработки теоретической расчетной модели была поставлена следующая задача. В бесконечной пластинке имеются внутренние напряжения  $\sigma_x, \sigma_y$ . После высверливания происходит перераспределение напряжений на границе отверстия. Требуется решить трехмерную задачу теории упругости при заданных на поверхности отверстия напряжениях и свободных от нагрузок плоскостях. Предполагалось, что возмущенное напряженное состояние быстро затухает при удалении от отверстия, а остаточное напряженное состояние достаточно медленно меняется, так что на диаметре отверстия его можно считать постоянным. Решение получено численным методом МКЭ.

Равномерно распределенные внутренние напряжения  $\sigma_x, \sigma_y$  в плоской пластине толщиной  $2h$  в цилиндрических координатах имеют следующий вид:  $\sigma_r^0 = \sigma + \tau \cos 2\theta$ ,  $\sigma_\theta^0 = \sigma - \tau \cos 2\theta$ ,  $r = -\tau \sin 2\theta$ ,  $\sigma = (\sigma_x + \sigma_y)/2$ ,  $\tau = (\sigma_x - \sigma_y)/2$ .

При высверливании отверстия радиусом  $r_0$  в теле возникают дополнительные напряжения. Эти напряжения — упругие, удовлетворяют однородным уравнениям трехмерной теории упругости и неоднородным граничным условиям. На границе имеем  $\sigma_r + \sigma_r^0 = 0$ ,  $\tau_{r\theta} + \tau_{r\theta}^0 = 0$ ,  $\tau_{rz} = 0$ .

На плоскостях  $z = \pm h$  внешние нагрузки отсутствуют:  $\sigma_z = \tau_{rz} = \tau_{\theta z} = 0$ . При  $r \rightarrow \infty$  напряжения затухают, тогда  $\sigma_r = \sigma_\theta = \sigma_z = 0$ ,  $\tau_{r\theta} = \tau_{rz} = \tau_{\theta z} = 0$ .

Для расчета бесконечная область заменялась конечной, т. е. рассматривался полный цилиндр конечной толщины  $2h$  и радиусов  $r_0$ ,  $10r_0$ . В качестве элемента был

использован круговой треугольный элемент, и разбиение области было автоматизировано в программе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Labeyrie A.* Attainment of Diffraction Limited Resolution in Large Telescopes by Fourier Analysing Speckle Pattern in Star Images. — *Astronomy & Astrophysics*, 1970, № 6, p. 85–87.
2. *Иванов С. Д., Миронова Л. И.* Лазерный интерферометрический метод определения остаточных напряжений. — *Проблемы машиностроения и автоматизации*, 2007, № 3, с. 100–102.