

УДК 535.313.08:62-762.65

Е.В.Буркова (5 курс, каф. КиПОП, СПбГУ ИТМО),  
С.С.Гвоздев, рук. СПИБ (СПбГУ ИТМО)

## ТЕНДЕНЦИИ КОНТРОЛЯ ФОРМЫ ЭЛЕМЕНТОВ ПОВЕРХНОСТИ СЛОЖНЫХ ОБОЛОЧЕК

Оболочками в теории упругости принято называть тела, ограниченные двумя криволинейными поверхностями, расстояние между которыми мало по сравнению с прочими размерами тела. Геометрическое место точек, равноудаленных от обеих поверхностей, называют срединной поверхностью оболочки [1].

Когда срединная поверхность замкнута, то замкнутой будет называться и соответствующая оболочка. В общем случае, когда срединная поверхность имеет боковые границы, можно считать, что оболочка выделена из некоторой замкнутой оболочки нормальными сечениями. Эти нормальные сечения называются краями оболочки [2].

Тонкая оболочка – оболочка, для которой  $h/R \ll 1$  (где  $h$  – толщина оболочки, а  $R$  – радиус кривизны срединной поверхности). Толстая оболочка – оболочка, для которой значением  $h/R$  пренебречь по сравнению с 1 нельзя. Пологая оболочка – если в каждой точке ее срединной поверхности  $(dz/dx)^2 \ll 1$  и  $(dz/dy)^2 \ll 1$ . Оболочка вращения – оболочка, срединная поверхность которой является поверхностью вращения [1]. К таким относятся цилиндрические оболочки и оболочки, образованные поверхностями со следующими радиусами:

$$R_1 = \frac{R_0}{(1 + \gamma \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}}, \quad R_2 = \frac{R_0}{(1 + \gamma \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}},$$

где  $\theta$  – угол между осью симметрии и нормалью к поверхности,  $R_0$  – радиус кривизны при  $\theta = 0$ . Параметр  $\gamma$  определяет тип поверхности: при  $\gamma = 0$  – сфера, при  $\gamma = -1$  – параболоид, при  $\gamma > -1$  – эллипсоиды, при  $\gamma < -1$  – гиперболоиды. Данным радиусам кривизны соответствуют поверхности, образованные вращением кривых второго порядка вокруг оси их симметрии.

Коллективом студентов и сотрудников СПбГУ ИТМО совместно с теоретическим отделом фирмы ОАО НПК «ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ» разработаны математические модели, позволяющие описать в аналитическом виде профиль цилиндрической оболочки [3] и его изменения при различных условиях эксплуатации, разработаны макеты и методики для испытаний и контроля упругих кинематических элементов [4]. Применённые в этих исследованиях методы могут быть применены в несколько изменённом виде в случае, когда упругим кинематическим элементом является сиффон.

Сиффоны представляют собой цилиндрическую гофрированную оболочку конечной длины и толщины. Из-за разнообразия применения конструктивное выполнение сиффонов может быть различным. Профили поверхностей сиффонов представляют, как правило, совокупность торических поверхностей, имеющих наружные и внутренние радиусы в диаметральной плоскости меньшие, чем геометрические размеры данной оболочки в целом, и объединяющих их поверхностей вида сложных мембран. Технологический комплекс изготовления сиффонов не предусматривает контроля радиусов торических поверхностей, а тем более изменения их размеров в процессе эксплуатации. Величины указанных радиусов находятся в пределах единиц миллиметров при габаритах сиффонов порядка сотни миллиметров. Такого рода величины радиусов в компонентах точных приборов наиболее

распространены в оптических элементах микрооптики. Поэтому резонно предположить, что вопрос о применении контрольного комплекса, применяемого при изготовлении микрооптики, к элементам торических поверхностей сильфонов может быть положительно решен в случае совпадения критериев их погрешностей.

Контрольный комплекс, применяемый в производстве микрооптики характерен тем, что даже на ранних стадиях изготовления применяются оптические методы контроля. Изменение волнового фронта контрольного приспособления вследствие деформаций либо изменения профиля поверхностей может быть использовано в качестве критерия оценки изменения профиля торических поверхностей.

Наиболее простым и устойчивым к технологическим требованиям производства является метод контроля с использованием интерферометра Ронки [5]. Интерферометр Ронки может быть построен на базе автоколлимационного микроскопа, применяемого в контрольном комплексе микрооптики. В этом случае в качестве марки применяется перекрестие обратного контраста. В данном методе была применена марка, содержащая два повернутых на  $45^\circ$  друг относительно друга перекрестия. Использование этой марки позволяет с большей степенью надежности осуществлять наводку на точку пересечения плоскости перпендикулярной оптической оси микроскопа с поверхностью тора гофра сильфона. При этом равная освещенность противоположащих лучей марки позволяет повысить точность наводки, а выполнение марки в виде двойного креста еще больше ее повышает. При этом такой вид марки упрощает юстировку интерферометра Ронки.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. В.В.Новожилов. Теория тонких оболочек. Л.: Судпромгиз, 1962.
2. А.Л.Гольденвейзер. Теория упругих тонких оболочек. М.: Наука, 1976.
3. С.С.Гвоздев, И.М.Кудрявцева, Л.П.Ильина. Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО, выпуск 11/ под ред. В.О.Никифорова. СПб: СПбГУ ИТМО, 2003, С. 95-99.
4. С.С.Гвоздев, А.Н.Белов, Д.В.Демидов. Материалы межвузовской научной конференции «XXXI неделя науки СПб ГТУ», 25-30 ноября 2002г. Часть VII – СПб: СПб ГТУ, 2003, С. 109-110.
5. В.К.Кирилловский, С.С.Гвоздев. Сборник научных статей «Оптические методы исследования дефектов и дефектообразования элементной базы микроэлектроники и микроэлектронной техники», под ред. Ю.А.Гатчина и В.Л.Ткалич, СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2002, С.56-65.