

Расчет биметаллического микроактюатора сложной формы

11, ноябрь 2014

Николаева А. С.

УДК: 539.3

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

nikolaeva@bmstu.ru

В настоящее время микроэлектромеханические системы (МЭМС) получили широкое распространение в технике. Они используются в автомобилестроении, авиакосмической промышленности, энергетике, химии, фармакологии, медицине. Совершенствование элементной базы для устройств МЭМС имеет большое значение для инновационно-технологического развития страны. Любое устройство МЭМС состоит из сенсорной подсистемы, подсистемы анализа и принятия решений и актюаторной подсистемы [1]. В этой статье рассматривается механическая часть актюаторной подсистемы.

Для эффективной работы механической части актюатор должен быть спроектирован так, чтобы совершать большие перемещения при невысоких затратах энергии, должен быть низко инерционным. Он должен перемещаться из одного состояния в другое с минимальной задержкой в промежуточных состояниях. Указанными свойствами обладают упругие оболочечные микроактюаторы с эффектом «прохлопывания»: у них два (или более) устойчивых состояния, переход от одного из которых к другому осуществляется при небольших внешних воздействиях. Анализ механического поведения таких микроактюаторов является сложной задачей, потому что небольшие изменения в нагрузке вызывают большие перемещения: поведение таких оболочек является нелинейным. Упругая характеристика осесимметричного микроактюатора показана на рис.1. При нагревании центральная точка микроактюатора перемещается согласно ветви упругой характеристики, ограниченной точкой А, далее происходит скачкообразное изменение деформированной формы (до точки В). При охлаждении центральная точка микроактюатора перемещается согласно ветви ВС упругой характеристики, в точке С происходит скачкообразное изменение деформированной формы (до точки D).

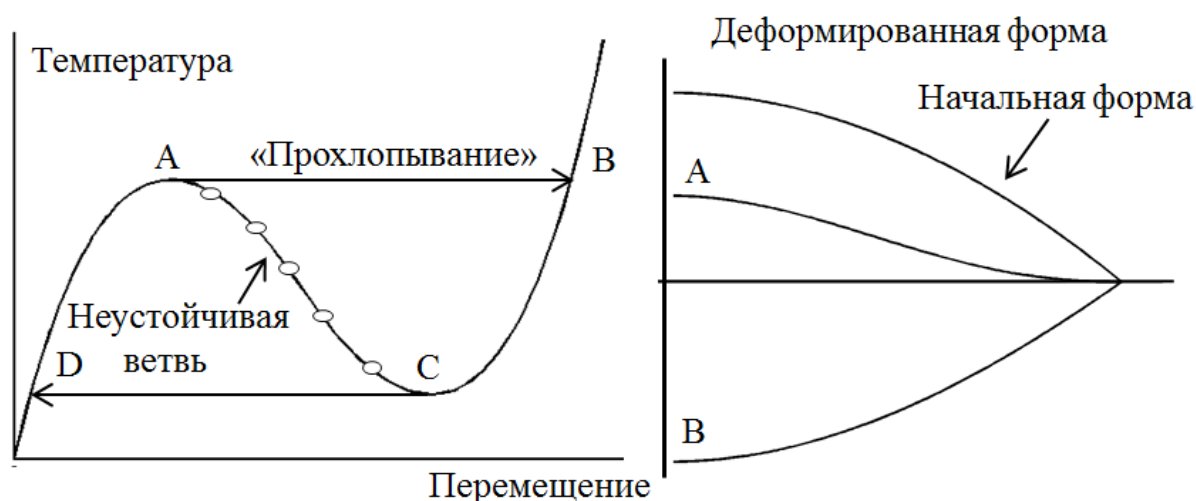


Рис. 1. Схематичное изображение дискретной упругой характеристики и деформированной формы микроактюатора

Теория нелинейного деформирования тонкостенных механических конструкций значительно развита. Нелинейное поведение тонкостенных оболочек с эффектом «прохлопывания» описывается в работах [2]-[8]. Недавние исследования [9]-[10] описывают численные алгоритмы для анализа нелинейного деформирования.

Данная работа посвящена расчету микроактюаторов, основанных на биметаллическом эффекте [11]. Такие микроактюаторы состоят из двух слоев, выполненных из материалов с различными коэффициентами линейного теплового расширения (КЛТР) и прочно соединенных друг с другом. Слой биметалла с большим КЛТР называют активным, с меньшим – пассивным. При нормальной температуре слои имеют одинаковую длину. При воздействии температуры слои удлиняются. Активный слой удлиняется интенсивнее, чем пассивный. Поэтому слой с большим КЛТР подвергается сжимающим усилиям, а слой с меньшим КЛТР – растягивающим. Возникающие в сечении биметалла напряжения распределяются неравномерно, возникают деформации и конструкция изгибается.

Алгоритм расчета математической модели осесимметричного микроактюатора дискретного действия в виде полусферической оболочки постоянной толщины, основанная на теории упругих тонкостенных оболочек Рейсснера [7], был реализован в виде авторской программы на языке С [12]. Для решения нелинейной задачи был использован метод смены подпространства управляющих параметров, разработанный Гаврюшиным С.С. [13] и метод продолжения по параметру, разработанный Валишвили Н.В. [14].

В данной статье представлена методика расчета биметаллического микроактюатора сложной формы (рис.2) с целью определения его упругой характеристики и деформированной формы. Микроактюатор состоит из двух слоев, характеристики которых представлены в таблице 1.

Табл. 1. Характеристики слоев биметаллического диска сложной формы

Номер слоя	1	2
Материал	24ХН	36Х
Толщина, мм	0.1	0.1
Модуль упругости, ГПа	190	150
Коэффициент Пуассона	0.3	0.3
КЛТР, * 10^6 , $1/^\circ\text{C}$	18	1

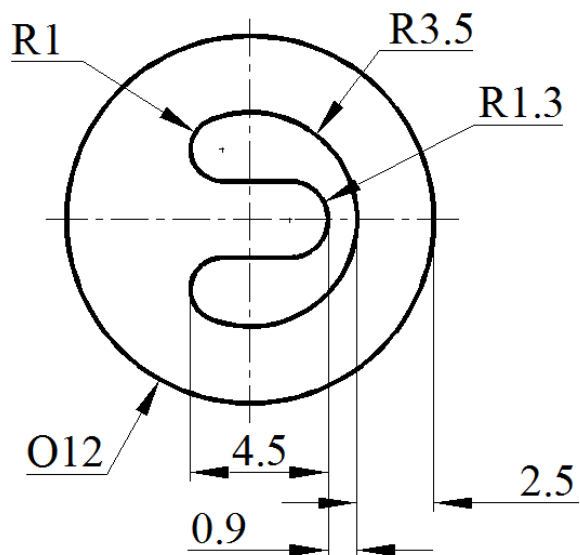


Рис. 2. Геометрические размеры биметаллического диска сложной формы

Расчет выполнен с использованием метода конечных элементов [15,16] в среде конечно-элементного программного комплекса Abaqus. В силу симметрии рассматривалась половина микроактюатора. Граничные условия показаны на рис. 3.

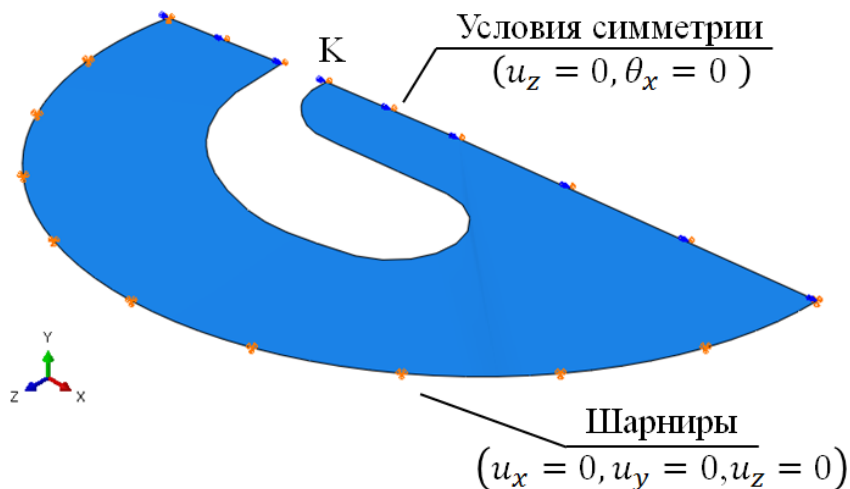


Рис. 3. Математическая модель микроактюатора сложной формы

Модель была разбита на четырехузловые двухслойные оболочечные конечные элементы с шестью степенями свободы в каждом узле (рис. 4). Выбранные элементы позволяют учитывать влияние температуры на деформацию. Конечная модель состоит из 930 элементов и содержит 2967 узлов.

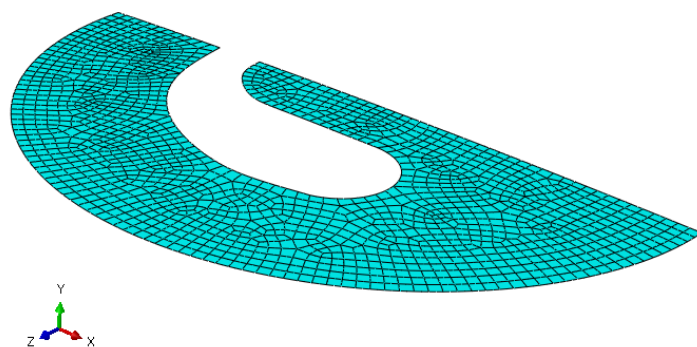


Рис. 4. Конечно-элементная модель микроактюатора сложной формы

Нелинейная задача решалась итерационным методом Ньютона с линеаризацией на каждом шаге. В качестве параметра продолжения была выбрана температура. В результате расчета получена упругая характеристика микроактюатора, то есть зависимость перемещения точки К язычка микроактюатора (эта точка совершает наибольшее перемещение) от температуры (рис. 5). Участок АВ соответствует «прохлопыванию» оболочки: при температуре 35°C перемещение точки К составляет 0.206 мм (рис. 6). При температуре 124°C язычок микроактюатора начинает перемещаться вверх, что сокращает полезное перемещение точки К.

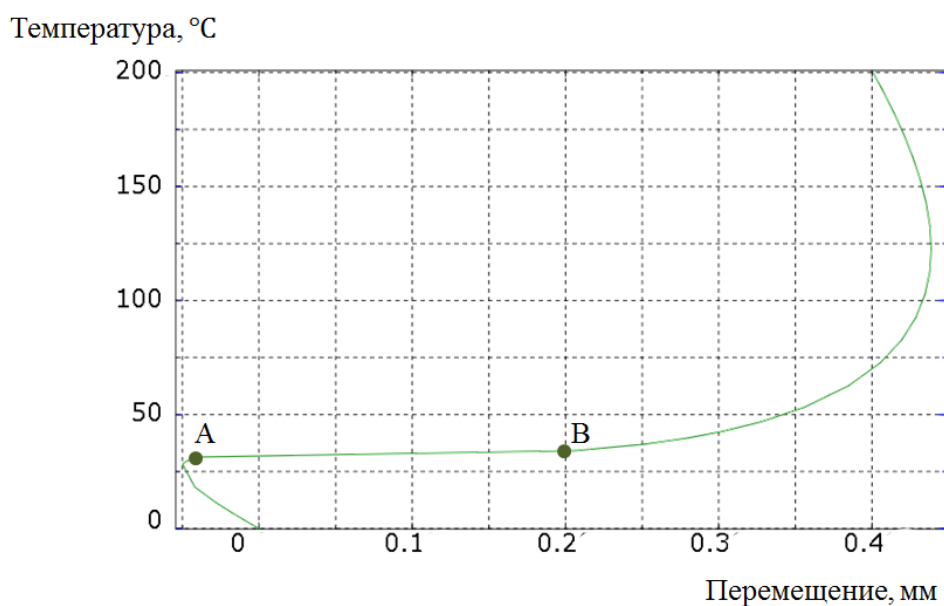


Рис. 5. Упругая характеристика микроактюатора

Было произведено сравнение результатов расчета для микроактюаторов различной толщины. На рис. 7 приведен график зависимости наибольшего перемещения микроактюатора (перемещения точки К) от его толщины при температуре 80°C. Значение перемещения уменьшается с увеличением толщины оболочки.

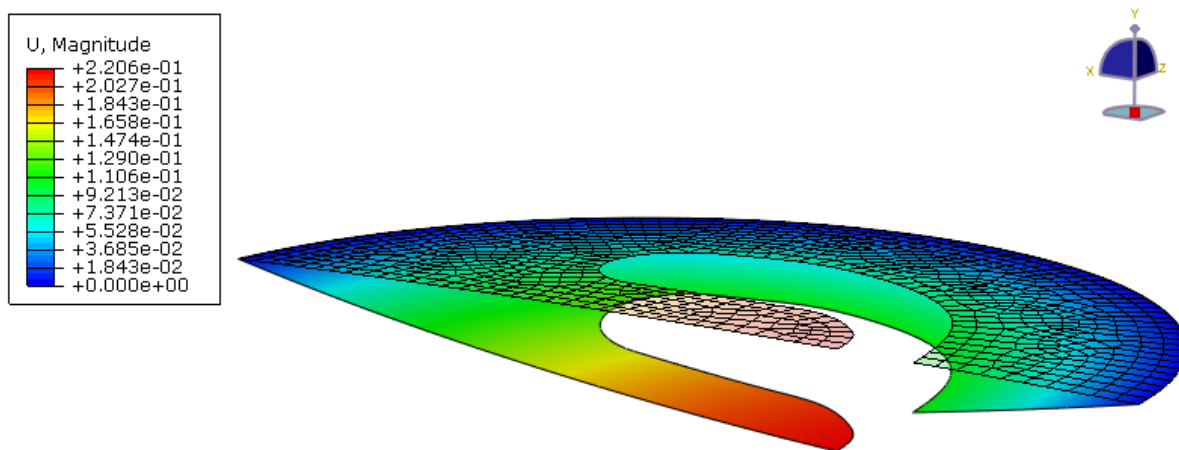


Рис. 6. Цвето-графическая диаграмма перемещений при температуре 35°C

Таким образом, данная методика позволяет получать упругие характеристики и деформированные формы микроактюаторов сложной формы и может быть эффективно использована для анализа элементной базы для устройств МЭМС.

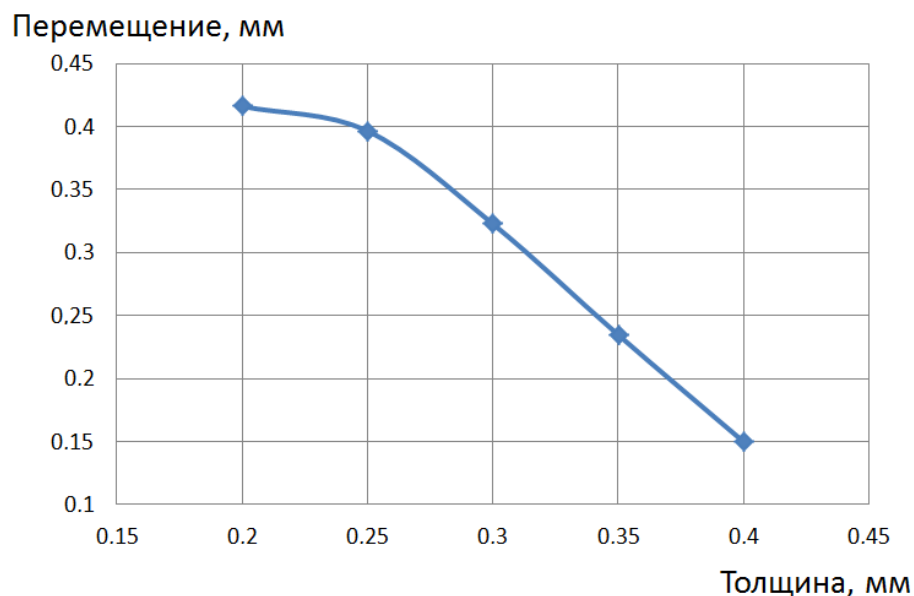


Рис. 7. Зависимость полезного перемещения микроактюатора от его толщины

В дальнейшем планируется решить задачу синтеза для микроактюатора сложной формы, т.е. подобрать геометрические параметры микроактюатора для его оптимальной работы (например, для максимизации полезного перемещение при критической температуре и минимизации напряжений).

Список литературы

1. Ishihara H, Arai F, 1996, Micro Mechatronics and Micro Actuators *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 1(1) 68-79

2. Тимошенко С.П. 1971 Устойчивость стержней, пластин и оболочек Москва, Наука, 808 с.
3. Ворович И.И. 1989 Математические проблемы нелинейной теории пологих оболочек Москва, Наука, 376 с.
4. Феодосьев В.И., 1969, Осесимметричная эластика сферической оболочки *Прикладная механика и математика* **33**(2) 280-286
5. Григолюк Е.И., 1953, Тонкие биметаллические оболочки и пластины *Инженерный сборник* **17** 69-120
6. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек Санкт-Петербург, Издательство Санкт-Петербургского университета, 2010., 380 с.
7. Reissner E, 1950, On axisymmetrical deformations of thin shells of revolution *Proc. Sympos. Appl. Math.* **3** 27-52
8. Попов Е.П., 1948, Явление большого перескока в упругих системах и расчет пружинных контактных устройств *Инженерный сборник* **5** 62-92
9. Bich DH, Tung HV, 2011, Non-linear axisymmetric response of functionally graded shallow spherical shells under uniform external pressure including temperature effects *Int. J. Nonlinear Mechanics* **46**(9) 1195-1204
10. Li QS, Liu J, Tang J, 2003, Buckling of shallow spherical shells including the effects of transverse shear deformation *Int. J. Mechanical Sciences* **45**(9) 1519-1529
11. Timoshenko S. P., 1925, Analysis of bimetal thermostat *Journal of the optical society of America and review of the Scientific Instruments* **11**(3) 233-255
12. Подкопаева А.С., 2012, Анализ процесса деформирования микроактюатора *Известия ВУЗов Машиностроение* **С** 10-14
13. Гаврюшин С.С., 1994, “Численное моделирование и анализ процессов нелинейного деформирования гибких оболочек” *Известия Академии Наук СССР. Механика твердого тела* **1** 109-119
14. Валишвили Н.В. Методы расчета оболочек вращения на ЭЦВМ Москва, Машиностроение, 1976, 278 с.
15. Bathe K.-J. Finite element procedures in engineering analysis New Jersey: Prentice-Hall, 1996, 1050 p.
16. Zienkiewicz O.C. The Finite Element Method New York: MacGrow-Hill, 1977, 737 p.