

УДК 539.3

И.М.Афанасьева (4 курс, каф. МиПУ), А.А.Михайлов, асс., А.И.Боровков, к.т.н., проф.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ И ФОРМ КОЛЕБАНИЙ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ANSYS И CosmosWorks

Цель работы – сравнительный анализ первых собственных частот и форм колебаний микромеханического акселерометра, вычисленных на основе метода конечных элементов (КЭ) и с помощью систем КЭ моделирования ANSYS и CosmosWorks.

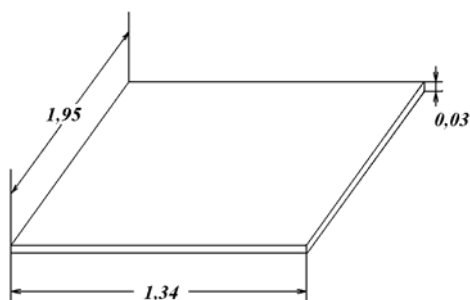


Рис. 1

Рассмотрим решение простой задачи о нахождении собственных частот и форм колебаний прямоугольной пластинки из кремния, опертой по контуру (рис.1). Размеры пластинки (a_1 x a_2) приблизительно равны размерам акселерометра. Аналитическое решение, полученное на основе модели Кирхгофа, для собственных частот имеет вид [1]:

$$\omega = \pi^2 (m_1^2/a_1^2 + m_2^2/a_2^2) (D/\rho h)^{1/2}, \quad (1)$$

где $D = Eh^3/(12(1-\nu^2))$, стороны $a_1 = 1,95$ мм и $a_2 = 1,34$ мм, толщина $h = 0,03$ мм, плотность $\rho = 2\,300$ кг/м³, модуль упругости $E = 160$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,2$; m_1 и m_2 – число полуволн вдоль сторон a_1 и a_2 , соответственно.

КЭ модель пластины состоит из пространственных (3-D) изопараметрических КЭ (квадратичных в программной системе ANSYS и линейных в CosmosWorks). Применение 3-D КЭ связано с необходимостью исследовать в дальнейшем 3-D композитные структуры, например, микромеханический акселерометр. Результаты КЭ вычисления собственных частот представлены в табл. 1.

Таблица 1.

	ANSYS		CosmosWorks <i>NE = 9 905</i> <i>NDF = 59 004</i>	Аналитическое решение, Гц
	Призматические элементы <i>NE = 6 348</i> <i>NDF = 59 079</i>	Тетраэдральные элементы <i>NE = 15 000</i> <i>NDF = 84 615</i>		
1. $m_1=1, m_2=1$	97 530	99 418	94 255	94 950
2. $m_1=2, m_2=1$	195 976	197 333	184 700	186 300
3. $m_1=1, m_2=2$	297 839	297 699	286 950	288 400
4. $m_1=3, m_2=1$	364 847	358 880	336 050	338 600
5. $m_1=2, m_2=2$	388 924	397 138	376 210	379 800

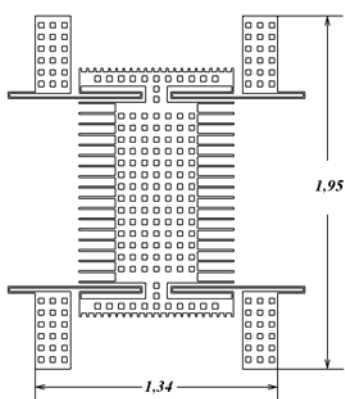


Рис. 2

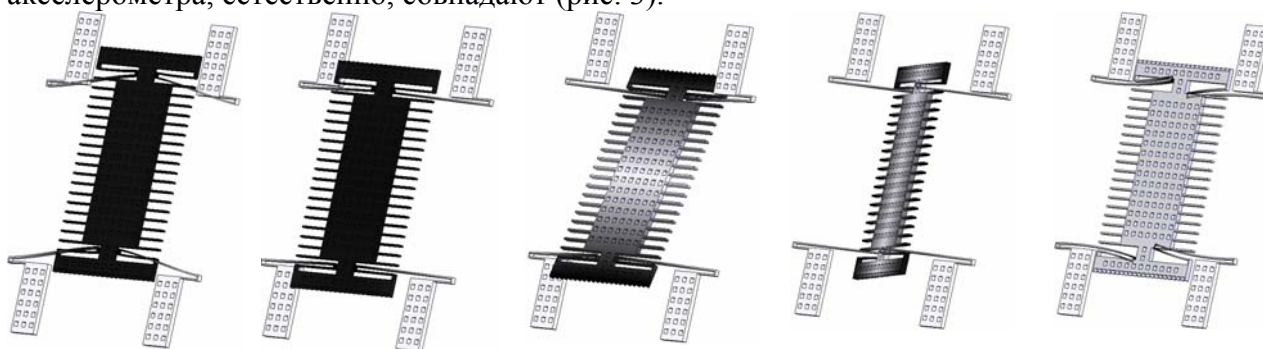
Из табл. 1 следует, что частоты, полученные в системе CosmosWorks, отличаются от аналитических значений менее, чем на 1%, а в системе ANSYS – на 7,2%, что связано с применением 3-D КЭ для анализа свободных колебаний тонкой пластинки ($h/(a_1+a_2) \approx 0.01$) и сравнением с аналитическим решением, полученным на основе модели Кирхгофа.

Определим собственные частоты и формы колебаний микромеханического акселерометра, сделанного из того же материала, что и пластинка, с характерными размерами сторон a_1 , a_2 и толщиной h (рис. 2). Результаты КЭ исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2.

	ANSYS <i>NE = 77 865 NDF = 450 717</i>	CosmosWorks <i>NE = 43 838 NDF = 283 347</i>
1-я частота, Гц	2 770	2 764
2-я частота, Гц	7 934	7 916
3-я частота, Гц	10 681	10 663
4-я частота, Гц	19 717	19 672
5-я частота, Гц	37 387	37 604

Из табл. 2 следует, что собственные частоты, найденные при помощи разных систем различаются менее чем на 1%, причем формы собственных колебаний микромеханического акселерометра, естественно, совпадают (рис. 3).



1-я форма

2-я форма

3-я форма

4-я форма

5-я форма

Рис. 3

Выводы:

1. Обе программные системы ANSYS и CosmosWorks показали достаточное хорошее соответствие результатов с аналитическим решением для модельной задачи с пластинкой.

2. При исследовании собственных частот акселерометра результаты, полученные с помощью ANSYS и CosmosWorks также близки друг другу, однако в системе ANSYS модель содержит в 1.5 раза большее количество степеней свободы, чем в системе CosmosWorks.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Биргер И.А., Пановко Я.Г. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник. Т. 3: Машиностроение, 1968.