

Анализ динамических нагрузок в резонаторе гироскопа

Бакулев Д. С.¹, Щенятский А. В.²

¹Бакулев Дмитрий Сергеевич / Bakulev Dmitrij Sergeevich – аспирант;

²Щенятский Алексей Валерьевич / Shhenjatskij Aleksej Valer'evich - доктор технических наук, профессор, кафедра мехатронных систем, факультет управления качеством, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашиникова, г. Ижевск

Аннотация: рассмотрены различные виды погрешностей резонатора гироскопа. Определены задачи для уменьшения погрешности методом конечных элементов.

Ключевые слова: соединение с натягом, метод конечных элементов.

В настоящее время современные изделия в области авиации и военной техники ограничены высокими требованиями прочности, точности измерений, стабильности показаний и многими другими параметрами. Применение традиционных материалов не может обеспечить должным образом конкурентоспособность изделий, проектирование которых осуществлялось на основе хорошо себя зарекомендовавших традиционных материалов, например вольфрамоникелевых сплавов в гироскопах.

Одной из частей любых подвижных объектов являются бесплатформенные инерциальные навигационные системы [3, с. 52] (БИНС), в состав которых входят гироскопы, акселерометры.

Одно из решений повышения надежности изделий связано с использованием неметаллических материалов, например, керамики, кварцевого стекла с высокими показателями механических свойств [2]. Работа таких изделий проходит в зоне упругих деформаций.

Проведенные измерения показали, что при изготовлении резонатора твердотельного волнового гироскопа (ТВГ) возникают погрешности формы. Вследствие этого появляется несбалансированность деталей. При механической обработке кварцевое стекло испытывает разнообразные механические и физико-химические воздействия. Такая обработка сопровождается интенсивным образованием трещин из-за локальных механических перегрузок, приводящих к хрупкому разрушению материала. Последующая механическая обработка кислотой вызывает плавление микронеровностей наружных поверхностей и заполнение микротрещин, при этом плотность этого слоя может отличаться от пригодных свойств (глубина, структура, добротность, изотропность) обрабатываемого материала, что приводит к возникновению анизотропии.

Накапливаемая во время работы потенциальная энергия при длительных циклических нагружениях вызывает возникновение микротрещин в зонах концентрации напряжений. Так как детали ТВГ изготавливаются с заданными допусками, то, на наш взгляд, для расчета соединения на долговечность, достаточно определить максимальные и минимальные значения сил и моментов, и рассмотреть их влияние на срок службы изделия. Ножка резонатора, входящая в соединение с керамическим основанием и удерживаемая в таком положении за счет натяга [1], испытывает динамические нагрузки. Актуальным для определения долговечности изделия становится определение величин несбалансированных сил инерции.

Для определения напряжений рассмотрим условия работы резонатора и нагрузки, возникающие при этом. В зоне сопряжения резонатора и основания действуют контактные давления, обусловленные разностью посадочных размеров охватываемой и охватывающей деталями. При делении области меридиального сечения соединения на конечные элементы рассмотрено несколько вариантов. При их сравнении оказалось, что наиболее эффективным является деление на треугольные элементы со сгущением сетки в области торцов охватывающей детали и в зоне сопряжения деталей соединения, что позволяет учитывать концентрацию напряжений в этой области.

Расчет соединения на основе метода конечных элементов, можно представить в виде линейных уравнений:

$$\begin{cases} [K_1]\{x_1\} + [H_1]\{\dot{x}_1\} + [M_1]\{\ddot{x}_1\} + \{F_{внеш}\} = \{F_{12}\} \\ [K_2]\{x_2\} + [H_2]\{\dot{x}_2\} + [M_2]\{\ddot{x}_2\} + \{F_{внеш}\} = \{F_{21}\} \\ \{F_{12}\} = \{F_{21}\} \\ |x_{1i}| + |x_{2j}| + \xi_{ij} = \frac{N_{ij}}{2} \end{cases} \quad (1)$$

$[K_i]$ – матрица коэффициентов жесткости i -й детали;

$\{x_i\}$ – перемещения узлов сетки КЭ i -й детали;

$[M_i]$ – матрица масс i -й детали;

$[H_i]$ – матрица сопротивления внешней среды;

$\{F_{внеш}\}$ – внешние силы i -й детали,

где $i=1$ – соответствует охватываемой детали; $i=2$ – охватывающей.

Работа детали происходит в вакууме, следовательно сопротивлением среды можно пренебречь, тогда система уравнений будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} [K_1]\{x_1\} + [M_1]\{\dot{x}_1\} &= \{F_{12}\} \\ [K_2]\{x_2\} + [M_2]\{\dot{x}_2\} &= \{F_{21}\} \end{aligned} \quad (2)$$

Проведение расчета МКЭ будет состоять из следующих этапов:

1. Разбиение тела на конечные элементы и назначение узлов, в которых определяются перемещения;
2. Определение зависимостей между усилиями и перемещениями в узлах элемента, т.е. построение матрицы жесткости;
3. Составление системы алгебраических уравнений равновесия;
4. Решение системы уравнений;
5. Определение компонентов НДС соединения.

Применение математического аппарата МКЭ упрощает построение модели объекта, состоящего из набора конечных элементов. МКЭ позволяет получать решение в виде полей напряжений и деформаций практически в любом сечении элемента. Решение задач по минимизации погрешностей резонатора позволит создать конкурентоспособный прибор высокого класса точности.

Литература

1. *Лекомцев П. В.* Экспериментальные исследования термостойкости конического соединения деталей из пары материалов «техническая керамика – стекло» / П. В. Лекомцев, И. В. Абрамов // Интеллектуальные системы в производстве. № 2 (24), 2014. С. 25-28.
2. *Щенятский А. В.* Поликонтактные неравножесткие соединения с натягом и анализ их нагрузочной способности / А. В. Щенятский, Е. С. Чухланцев // Интеллектуальные системы в производстве, 2012. № 2 (20). С. 80-83.
3. *Матвеев В. В.* Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем / В. В. Матвеев, В. Я. Распопов // Санкт-Петербург, 2009. 278 с.
4. *Поздеев А. А.* Остаточные напряжения: теория и приложение / А. А. Поздеев, Ю. И. Няшин, П. В. Трусов. М., 1982. 111 с.