

Численный анализ эффективных тепловых свойств трехмерной структуры метаматериала, сжимающегося при нагревании, с помощью CAE Fidesys

Научный руководитель – Вершинин Анатолий Викторович

Танасевич Полина Сергеевна

Студент (специалист)

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
Механико-математический факультет, Кафедра вычислительной механики, Москва,
Россия

E-mail: apollinaria777@mail.ru

В докладе представлены результаты численной оценки эффективных коэффициентов теплового расширения метаматериалов, способных сжиматься при нагревании [1]. Ранее [2] была решена двумерная задача нахождения параметров модели метаматериала, при которых ячейка не расширялась и не сжималась при нагревании. Она послужила основой для задачи [3], решенной в трехмерном случае. В данной работе рассматривается следующий шаг решения задачи численного моделирования метаматериала, способного сжиматься при нагревании - нахождение оптимальных параметров модели, при которых ячейка будет иметь околонулевой коэффициент теплового расширения для любых изменений температуры.

Метаматериал - это композиционный материал, свойства которого определяются геометрией периодической решётчатой конструкции, а не природой его компонент. Метаматериал с отрицательным тепловым расширением в этой задаче изготовлен из трех компонент: один - более жёсткий, слабо расширяющийся при нагревании (в данной задаче взята медь); второй - мягче, сильно расширяющийся (например, полимер); третий - самый мягкий, средний коэффициент расширения относительно первых двух (в данном случае взята резина). Первые два материала служат основой - каркасом, третий - является заполняющим для ячейки, таким образом чтобы в модели не было пустот.

Параметризованная модель ячейки трехмерной решётчатой структуры построена с помощью геометрического модуля пакета «Fidesys» [4]. Для построенных ячеек проведены численные эксперименты, в которых показано влияние геометрических параметров модели на коэффициент теплового расширения метаматериала, который вычислялся с помощью модуля Fidesys Composite [5] отечественной CAE-системы «Fidesys». Свойства компонент задавались модулем Юнга, коэффициентом Пуассона и коэффициентом теплового расширения.

В ходе исследования рассматривается модель ячейки из трех материалов: меди, полимера и резины. Важно отметить, что коэффициенты теплового расширения всех материалов - положительны. Для этой модели метаматериала построены графики зависимости эффективного коэффициента теплового расширения от геометрических параметров - угла наклона полимерных стержней к медному контуру. Эти расчеты произведены для разных комбинаций параметров исходной модели: толщины контура ячейки, толщины полимерного стержня и толщины диагональных медных стержней. Также произведен расчет, по результатам которого был определен температурный диапазон, в пределах которого эта структура остаётся устойчивой. Графики зависимости от геометрических параметров показывают возможность подбора таких параметров ячейки, при которых метаматериал имеет близкий к нулю коэффициент температурного расширения, то есть при изменении температуры сохраняет свои размеры.

Такие метаматериалы нужны, к примеру для тщательного контроля тепловых деформаций и напряжений, то есть в микрочиповых устройствах, клеевых шпатлевках, зубных пломбах и высокоточных оптических или механических устройствах в условиях окружающей среды с большим перепадом температур.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект №19-71-10008).

Источники и литература

1. Qiming Wang, Julie A. Jackson, Qi Ge, Jonathan B. Hopkins, Christopher M. Spadaccini, and Nicholas X. Fang. Lightweight Mechanical Metamaterials with Tunable Negative Thermal Expansion // Physical Review Letters, Vol. 117, 2016 - Article ID 175901.
2. Танасевич П.С. К вопросу о численном моделировании термомеханических свойств двумерных решётчатых структур с помощью CAE Fidesys [Электронный ресурс] // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2020», секция «Математика и механика», подсекция «Вычислительная механика». - Режим доступа: [/arhive/Lomonosov_2020_2/data/19362/108637_uid439030_report.pdf](https://arhive/Lomonosov_2020_2/data/19362/108637_uid439030_report.pdf)
3. Танасевич П. С. Численная оценка эффективных термоупругих свойств трехмерной решетчатой структуры метаматериала с отрицательным тепловым расширением с помощью CAE Fidesys // Материалы Международного молодежного научного форума Ломоносов-2021 / Под ред. И. А. Алешковский, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов, Е. И. Зимакова. — Т. 2021. — Москва: Москва, 2021.
4. Официальный сайт ООО «Фидесис» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://cae-fidesys.ru/>
5. Vdovichenko I.I., Yakovlev M.Ya., Vershinin A.V., Levin V.A. Calculation of the effective thermal properties of the composites based on the finite element solutions of the boundary value problems [Электронный ресурс] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, V. 158, I. 1, 2016. - Article 012094. - Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/158/1/012094/pdf>