

Анизотропный метод спектральных элементов для анализа пористых метаматериалов

Научный руководитель – Яковлев Максим Яковлевич

Жмуровский Амир Андреевич

Аспирант

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

E-mail: amir.zhurovskii@math.msu.ru

Доклад посвящен численному моделированию пористых структур, геометрия которых задана аналитически. Рассматриваются метаматериалы с гироидным скелетом, относящиеся к классу трижды периодических минимальных поверхностей и обладающие выраженной геометрической периодичностью. Предлагаемый подход основан на методе спектральных элементов высокого порядка с r -анизотропией, что позволяет согласовать порядок аппроксимации с выделенными геометрическими направлениями (в частности, по толщине тонкостенной структуры). Для повышения геометрической точности используется построение высокопорядкового отображения элемента с проекцией узлов на аналитически заданную поверхность. Совместное применение r -анизотропии и геометрически точного позиционирования узлов обеспечивает высокую точность механического отклика при уменьшении числа степеней свободы по сравнению с традиционными низкопорядковыми дискретизациями.

В результате проделанной работы было продемонстрировано, что использование r -анизотропии позволяет согласовать порядок аппроксимации с геометрическими особенностями структуры и существенно снизить число степеней свободы по сравнению с изотропным выбором порядков. В рассмотренных численных экспериментах это привело к уменьшению числа узлов дискретизации при сохранении точности вычисления эффективных механических характеристик. В сотрудничестве с лабораторией аддитивного производства НИТУ «МИСиС» и её заведующим - Чернышихиным С.В., были проведены натурные эксперименты по оценке прочностных характеристик гироидных структур. Выполнено сопоставление численных результатов с экспериментальными данными для гироидной структуры. Получено хорошее согласие между расчётными и экспериментальными значениями эффективных упругих характеристик и эффективного предела текучести, что подтверждает корректность предложенного подхода как с точки зрения геометрически согласованной дискретизации, так и с точки зрения моделирования упруго-пластического поведения материала.

Источники и литература

- 1) Schoen A.H., Infinite periodic minimal surfaces without self-intersections. 1970. NASA Technical Note
- 2) Flores-Jimenez M., Delgado-Gutiérrez A., Fuentes-Aguilar R., Cardenas D., Generation of a Quadrilateral Mesh based on NURBS for Gyroids of Variable Thickness and Porosity. 2022. J. Appl. Comput. Mech., 8(2), 684-698
- 3) Gandy P., Klinowski, J., Exact computation of the triply periodic G ('Gyroid') minimal surface. 2000. Chemical Physics Letters 321, 363-371.

- 4) Oakley D., Knight N., Adaptive Dynamic Relaxation algorithm for non-linear hyperelastic structures Part I. Formulation. 1995. Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 126, 67-89
- 5) Федоренко Л.В., Чернышихин С.В., Жмуровский А.А., Яковлев М.Я., Сравнительный анализ эффективных механических свойств гироидных структур: лабораторный эксперимент и численное моделирование в пакете «Фидесис». 2024. Сборник тезисов докладов на научной конференции «Ломоносовские чтения. Секция Физика», с. 149-150
- 6) Levin V.A., Vdovichenko I.I., Vershinin A.V., Yakovlev M.Ya., Zingerman K.M., Numerical estimation of effective mechanical properties for reinforced plexiglas in the two-dimensional case. Modelling and Simulation in Engineering, Vol. 2016, 2016.