

О. М. Касперович, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г. Минск);

В. О. Говоровский, инженер-технолог

(ЗАО «Беспилотные летательные аппараты», г. Минск);

А. Г. Любимов, главный инженер-химик

(AUROX Composites and Compounds Oy, Finland, Kellokoski)

СОЗДАНИЕ САД-МОДЕЛЕЙ АУКСЕТИЧЕСКИХ СТРУКТУР

За последние несколько десятилетий разработки в области проектирования конструкций и технологий в авиационной промышленности, в автомобилестроении, в инвентаре для спорта и медицины, в других областях потребовали применение новых материалов для более эффективного решения поставленных задач – это с одной стороны. С другой стороны, – было замечено, что ряд ячеистых материалов с отрицательным коэффициентом Пуассона – так называемые «ауксетики» (у таких материалов при сжатии, например, происходит не расширение, а наоборот – сокращение поперечных размеров, а наименование происходит от греческого *«auxetos»* – «разбухающий») – обладают особыми характеристиками поглощения механической и акустической энергии, стойкостью к вдавливанию, высокой жесткостью при сдвиге и др [1].

Расчет структуры

В основу расчета легла геометрия и ее принципы. Конкретно в нашем случае, под плотностью заполнения будем понимать отношение площади занимаемой структурой к площади простой фигуры, в которую можно вписать эту структуру (квадрат, круг и т.д.). В качестве простой фигуры выбирается квадрат.

На рисунке 1а представлены габариты хиральной структуры 0° с длиной гребня b , длиной основания a и толщиной t . Как видно из рисунка 1, длина стороны квадрата, который описывает структуру, равна двум длинам гребня. Площадь структуры рассчитывается следующим образом: в узлах структуры выделяются элементарные квадраты с длиной стороны равной t , где последующие их (квадратов) перемещения известны по длинам a и b . Таким образом получается уравнение для площади структуры:

$$S_{\text{структуры}} = 5 \cdot t^2 + 4 \cdot t \cdot \left[(a - t) + \left(b - \frac{t}{2} \right) \right], \quad (1.1)$$

Следовательно, плотность заполнения r будет равна:

$$r = \frac{5 \cdot t^2 + 4 \cdot t \cdot \left[(a - t) + \left(b - \frac{t}{2} \right) \right]}{4 \cdot b^2}, \quad (1.2)$$

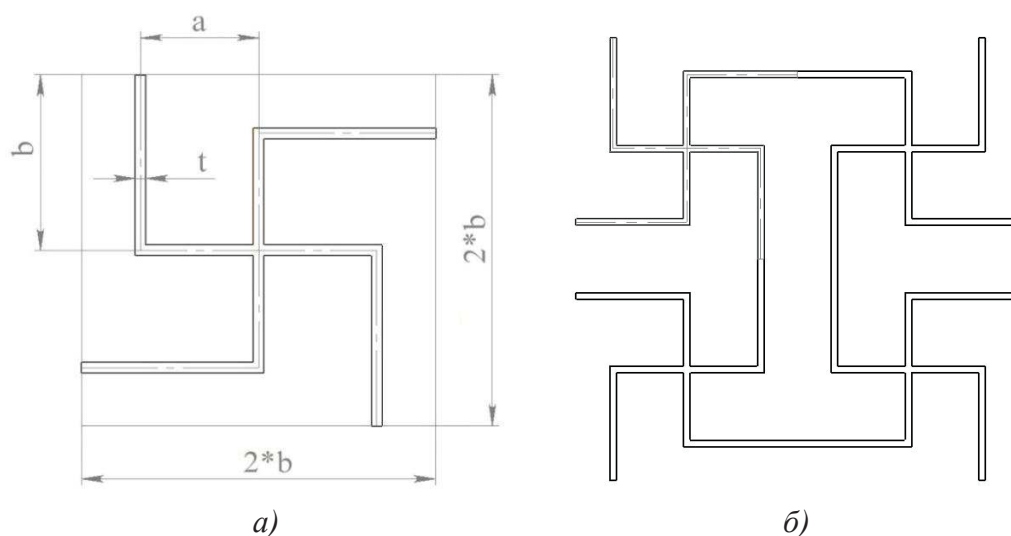


Рис. 1. Габариты (а) и функциональная ячейка (б) хиральной структуры 0°

Так как для нахождения плотности заполнения необходимо решить квадратное уравнение с двумя неизвестными, то нужно задаться габаритными условиями (ограничениями) по длине для a и b , т.е. ограничить их длину. Целесообразно заметить, что a и b не могут быть меньше t , а b , в свою очередь, не может быть меньше a . Следуя этой логике получим:

$$\frac{b}{a} = k, \quad (1.3)$$

где k – коэффициент соотношения b/a .

$$b > a + \frac{t}{2} \text{ и } b > a > t + \frac{t \cdot a}{2}, \quad (1.4)$$

Коэффициент k для хиральной структуры 0° равен 1,5 (принимается условно). Для структуры 0° k не может равняться 1 в силу того, что структура не сможет сворачиваться и разворачиваться, т.к. функциональные грани будут наложены друг на друга.

Для простоты и удобства расчета использовалась программа *PTC Mathcad Prime 7.0.0.0* [2]. Габариты структуры для расчета в программе задаем $135 \times 90 \times 22,5$ ($B \times A \times H$) мм. Функциональная ячейка для хиральной структуры 0° представлена на рисунке 2.

Важно заметить, что количество функциональных ячеек должно быть числом целым, что в свою очередь учитывается в программе:

$$n = \frac{A}{4 \cdot b} \Rightarrow \text{целое число}, \quad (1.5)$$

$$m = \frac{B}{4 \cdot b} \Rightarrow \text{целое число}, \quad (1.6)$$

где A – ширина структуры, мм; B – длина структуры, мм; n – количество функциональных ячеек в горизонтальном направлении; m – количество функциональных ячеек в вертикальном направлении.

Реальные габариты структур $A_{\text{действительное}}$ и $B_{\text{действительное}}$ будут находиться по следующим формулам:

$$A_{\text{действительное}} = n \cdot 4 \cdot b, \quad (1.7)$$

$$B_{\text{действительное}} = m \cdot 4 \cdot b, \quad (1.8)$$

В конце расчетов «прописывается» параметр для выведение полученных данных в формате блокнота (*txt*-файл).

Моделирование структуры

Для моделирования использовалась программа *SolidWorks* [3]. Начало работы начинается с импорта расчетных данных с *txt*-файла в программу *SolidWorks*. Далее делается эскиз структуры произвольных размеров по форме хиральной структуры, добавляются взаимосвязи, расставляются размеры и сразу присваиваются расчетные значения a , b и t при помощи уравнений размерам. Затем необходимо вытянуть элемент структуры на высоту H (делается при помощи уравнения) и получить объемный элемент структуры.

Полученный элемент структуры при помощи команды «зеркальное отображение» отображаем зеркально относительно первой грани (рисунок 2а), а затем отображаем относительно дополнительной грани (рисунок 2б), тем самым получая функциональную ячейку (рисунок 2в).

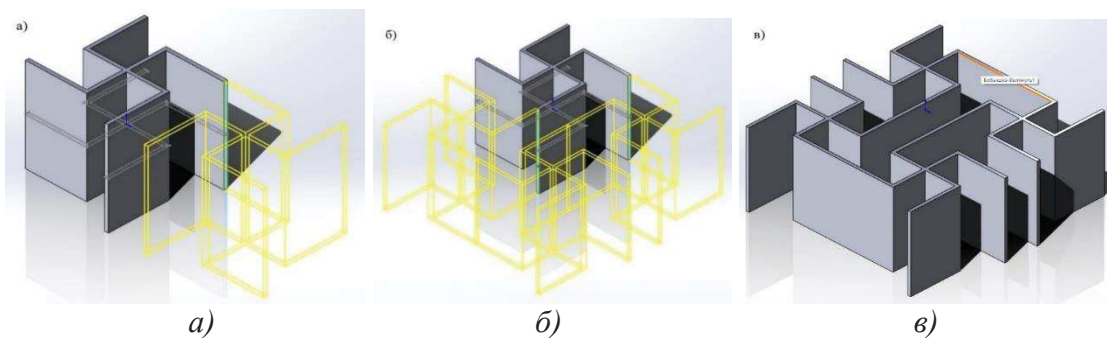


Рисунок 2 – Получение функциональной ячейки для хиральной структуры 0° путем «зеркального отображения»

Далее функциональную ячейку необходимо «размножить» при помощи команды «линейный массив» в горизонтальном и вертикальном направлениях. Для этого отрываем команду, затем задаем гори-

горизонтальному направлению количество повторяющихся элементов равно n через расстояние $4 \cdot b$ (при помощи уравнений), а для вертикального направления выставляем количество повторяющихся элементов равно m через расстояние $4 \cdot b$ (при помощи уравнений), тем самым получая линейный массив структуры (рисунок 3). Хиральная структура построена.

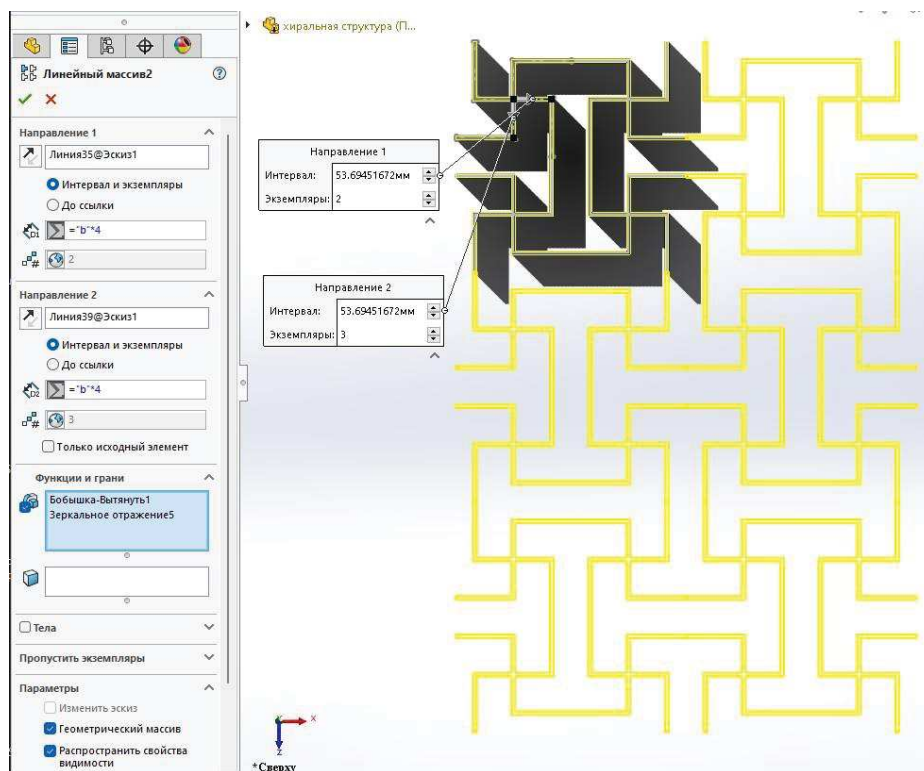


Рисунок3 – Построение линейного массива для хиральной структуры 0°

Таким образом, при помощи расчетов в программе *PTC Mathcad Prime 7.0.0.0*, импортом полученных данных и моделирования в программе *SolidWorks* получается 3D-модель хиральной структуры 0° с возможностью изменения относительной плотности заполнения и автоматическим перестроением модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lim T. C. Auxetic Materials and Structures / Springer. – 2015. – 602 p.
2. Система компьютерной математики Mathcad Prime 3.1 – 7.0. Лабораторный практикум. Для студентов физико – математического факультета / сост.: Абухба А.М. – Сухум: АГУ, 2017. Дораб. – 2018, 2019, 2020, 2021 гг.
3. Тонконогов Б. А. Учебно-методическое пособие «Инженерная и компьютерная графика». – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2008. – 182 с.