

СПОСОБ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЯЧЕЙСТЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНЫХ ТЕТРАЭДРАЛЬНЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТОЧНОЙ МОДЕЛИ ДЕТАЛИ

Маканов Д. В., Трубач А. Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Полозков Ю. В.

В последнее время тема аддитивного производства вызывает высокий интерес, так как позволяет более эффективно создавать объекты с более сложными геометрическими формами по сравнению с традиционными методами производства, а также максимально адаптировать дизайн изделий и функциональные свойства под требования пользователя [1]. Важной задачей в развитии аддитивных технологий является снижение материалоемкости деталей. Одним из наиболее эффективных путей решения этой задачи является замещение монолитных деталей «легковесными», в теле которых создаются полые области – ячейки. Это особенно актуально в таких сферах как авиастроение, инновационное машиностроение, где критически важно снижение массы готовых изделий и экономия дорогих материалов (сложные сплавы, редкие металлы).

Решать задачу по автоматизации многократного перепроектирования исходной геометрической модели монолитной детали для интеграции ячеистых структур с учетом инженерного анализа предлагается с помощью системы SolidWorks и библиотек для языка программирования C#, которые позволяют динамически управлять компонентами этой САПР с помощью API. На базе методов API SolidWorks разработано программное средство с пользовательским интерфейсом на основе WinForms, которое обеспечивает автоматизацию итерационного режима проведения инженерного анализа модели детали в среде SolidWorks. В качестве исходных данных рассматривается геометрическая модель монолитной детали, файл которой подгружается на начальном этапе работы с программой. В самом программном средстве имеется инструментарий для задания в интерактивном режиме схемы рабочей нагрузки детали с указанием ограничений, действующих сил и прочих показателей, определяющих напряженно-деформированное состояние детали в условиях ее планируемой эксплуатации.

Автоматизация инженерного анализа модели базируется на трех основных шагах. При первом шаге осуществляется получение исходных данных в виде файла модели и задания рабочей схемы ее нагружения. При этом во время загрузки файла происходит анализ и запись данных о гранях, составляющих исходную геометрическую модель, для определения граничных условий инженерного исследования и реализации действий, связанных с конструированием ячеистых структур.

На втором шаге выполняется задание и проведение исследования напряженно-деформированного состояния детали. На данном шаге в ходе проведения исследования модель представляется в виде сетки конечных элементов, в узлах которой

определяются значения показателей инженерного анализа. При этом идентификаторы конечных элементов могут варьироваться от эксперимента к эксперименту. В результате проведения исследования значения показателей, например, напряжения и деформации, рассчитанные для всех узлов конечно-элементной сетки, записываются в соответствующие таблицы для последующей обработки в процессе принятия решения о конфигурации ячеистых структур.

На третьем шаге выполняется конструирование ячеистых структур в областях, где показатели инженерного анализа соответствуют заданному диапазону значений, обеспечивающему работоспособность детали. Сортировкой по условию заданного пользователем диапазона значений показателей инженерного анализа автоматически составляется список узлов сетки и, соответственно, конечных элементов, которые формируют области для потенциальной интеграции ячеистых структур. В связи с тем, что конечные элементы имеют линейную тетраэдральную форму, целесообразно на ее основе конструировать ячеистые структуры. Тогда такие ячеистые структуры могут представлять собой множества дискретных тетраэдров, разделенных стенками, либо полностью вычитаемый из тела модели многогранник. В обоих случаях возможно осуществлять масштабирование размеров ячеек. Пример конструирования дискретных тетраэдральных ячеистых структур с помощью разработанного программного средства представлен на рис. 1.

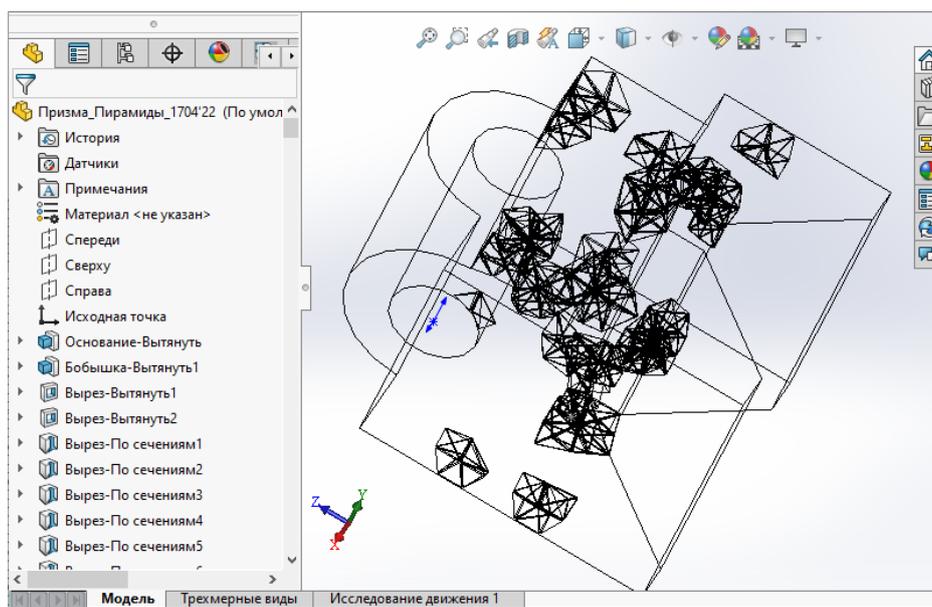


Рис. 1 – Результат выполнения выреза конечных элементов

В ходе итераций алгоритма конструируются различные варианты геометрической конфигурации ячеистых структур и повторно запускаются исследования напряженно-деформированного состояния детали при исходной схеме нагружения. В случае превышения показателей инженерного анализа заданному диапазону значений после интеграции текущего варианта конфигурации ячеистых структур осуществляется перепроектирование с сокращением занимаемого ими объема.

С точки зрения программно-алгоритмической реализации конструирования тетраэдральных ячеистых структур в начале формируется список конечных элементов, в узлах которых действуют допустимые значения показателей инженерного анализа. Совокупность смежных конечных элементов формирует область ячейки. Конструирование ячеистых структур, соответствующих форме тетраэдральных конечных элементов, выполняется путем использования вспомогательной плоскости, построенной на трех точках-узлах (основание тетраэдра) и вспомогательного трехмерного эскиза, в котором четвертый узел и узлы вспомогательной плоскости соединяются отрезками. Далее в модели вырезаются конечные элементы, образуя при этом полые ячеистые структуры.

Данные действия автоматизируются с использованием методов API Solid Works и средств языка С# в виде класса PyramidCell, который описан следующим образом:

```
public class PyramidCell : ICell
{
    // описание полей класса
    public PyramidArea area;
    public SketchSegment[] sketchSegments;
    public SketchPoint;
    public Feature;

    public PyramidCell(PyramidArea area) { this.area = area; }
    // метод создания ячейки
    public bool Create(ModelDoc2 swDoc) {
        Draw(swDoc);
        bool result = Cut(swDoc);
        if (!result) {
            Delete(swDoc);
        }
        return result;
    }
    // метод выреза ячейки
    public bool Cut(ModelDoc2 swDoc)
    {
        if (sketchSegments != null && sketchPoint != null) {
            swDoc.ClearSelection();
            sketchPoint.Select2(true, 1);
            ((Feature)sketchSegments[0].GetSketch()).Select2(true, 1);
            feature = swDoc.FeatureManager.InsertCutBlend(false, true,
false, 1, 0, 0, false, 0, 0, 0, true, true);
        }
        return feature != null;
    }

    public void DeleteSketch(ModelDoc2 swDoc)
    {
        if (sketchSegments != null && sketchPoint != null)
        {
            swDoc.ClearSelection();
            sketchSegments[0].Select(false);
            sketchPoint.Select(true);
            swDoc.EditDelete();
        }
    }
    public void DeleteFeature(ModelDoc2 swDoc)
    {
        if (feature != null)
```

```

        {
            swDoc.ClearSelection();
            feature.Select(false);
            swDoc.EditDelete();
        }
    }
    public void Delete(ModelDoc2 swDoc)
    {
        DeleteFeature(swDoc);
        DeleteSketch(swDoc);
    }
    // метод прорисовки ячейки в SolidWorks
    public void Draw(ModelDoc2 swDoc, double unit = 1000)
    {
        swDoc.ClearSelection();
        swDoc.SketchManager.Insert3DSketch(false);
        this.sketchPoint = swDoc.SketchManager.CreatePoint(area.vertex1.X / unit, area.vertex1.Y / unit, area.vertex1.Z / unit);
        swDoc.SketchManager.Insert3DSketch(true);
        swDoc.ClearSelection();
        swDoc.SketchManager.Insert3DSketch(false);

        this.sketchSegments = new SketchSegment[] {

            swDoc.SketchManager.CreateLine(area.vertex2.X / unit, area.vertex2.Y / unit, area.vertex2.Z / unit, area.vertex3.X / unit, area.vertex3.Y / unit, area.vertex3.Z / unit),
            swDoc.SketchManager.CreateLine(area.vertex3.X / unit, area.vertex3.Y / unit, area.vertex3.Z / unit, area.vertex4.X / unit, area.vertex4.Y / unit, area.vertex4.Z / unit),
            swDoc.SketchManager.CreateLine(area.vertex4.X / unit, area.vertex4.Y / unit, area.vertex4.Z / unit, area.vertex2.X / unit, area.vertex2.Y / unit, area.vertex2.Z / unit) };
        sketchSegments[0].GetSketch().MergePoints(0.000001);
        swDoc.SketchManager.Insert3DSketch(true); } }

```

Разработанное на текущем этапе программное средство позволяет автоматизировать многократное перепроектирование геометрии исходной модели монолитной детали путем интеграции тетраэдральных ячеистых структур на основе обработки данных инженерного анализа. Однако не гарантируется выработка наилучшего варианта алгоритма расчета структурно-геометрической конфигурации указанных ячеистых структур для окончательного результата такого перепроектирования. Поэтому перспективные исследования связываются с разработкой алгоритмов оптимизации геометрической формы и расположения ячеистых структур в теле детали.

Литература

1. Полозков, Ю. В. Проблемы проектирования и формообразования легко-весных деталей в аддитивном производстве / Ю. В. Полозков // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. междунар. науч. конф., Минск, 10–12 октября 2017 г. / СПб.: Изд-во Политехн. ун-та; под общ. ред. А. А. Большакова. – Минск, 2017. – Т. 10. – С. 61–65.