

4. Борисов Н.А. Двухуровневая подготовка школьников и студентов к олимпиадам по программированию (электронная статья <http://ru.convdocs.org/docs/index-115028.html>);

5. Кондрашев А.И. О подготовке студентов непрофильных вузов к участию в олимпиадах по программированию (электронная статья <http://ru.convdocs.org/docs/index-115028.html>);

6. <http://acm.timus.ru>;

7. <http://vuzmen.com/book/870-olimpiadnoe-dvizhenie-kak-forma-organizacii-obucheniya-v-vuze-puchkov-np/20-34-metodika-podgotovki-i-provedeniya-olimpiad.html>.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА НА ОСНОВЕ 3D-МОДЕЛИ

*Ю.В. Шиёнок, В.С. Школьникова
Витебск, ВГУ имени П.М. Машерова*

Металлы и, как следствие, изделия из металлов представляют собой тела, имеющие поликристаллическую структуру. Они состоят из небольших кристаллов (зерен), которые имеют различные размеры и ориентацию кристаллической решетки относительно других зерен изделия. Механические свойства изделия, выполненного из металла, например, пластичность и вязкость, зависят от размеров зерен и их взаимной ориентации. Форма и ориентация кристаллической решетки зерен определяется в процессе их кристаллизации. При получении металлических изделий, обладающих заданными механическими свойствами, необходимо предсказывать процессы, которые приводят к образованию зерен с определенными размерами и кристаллической структурой.

При применении аддитивных технологий при изготовлении металлических изделий с заданными физическими свойствами необходимость получения информации о процессах, протекающих в металле, выходит на новый уровень. В процессе 3d-печати металлического изделия происходит плавление металлической проволоки (порошка) электронным либо лазерным пучком. Таким образом, на практике при изготовлении изделия регулировать возможно параметры электронного пучка и скорость подачи материала, например, проволоки. Процессы плавления и кристаллизации, протекающие в изделии, будут определяться указанными начальными условиями. О свойствах изделия мы в основном можем узнать только постфактум, проведя исследование кристаллической структуры. Такой подход требует изготовления большого числа изделий с последующим изучением их параметров. В настоящее время основным приемом, позволяющим сузить область подбора параметров для получения изделия с определенными характеристиками, является математическое моделирование.

Целью работы является анализ современных математических моделей и методов и разработка наиболее оптимального метода для математического описания процесса плавления металла для использования в аддитивных технологиях.

В связи с этим вопросы, связанные с методами математического моделирования процесса 3d печати металлических изделий и возможностью их применения на производстве, являются актуальными.

Материал и методы. Для достижения цели нам необходимо будет выбрать и построить оптимальную для дальнейшего использования трехмерную модель представления изделия, в которой мы могли бы учитывать внутреннюю структуру изделия, в частности параметры зерен. С последующим решением на базе модели задачи теплопроводности и изменение геометрии изделия в результате плавления.

Начальным этапом решения нашей задачи является создание программы, осуществляющей на основе 3d-модели объекта, импортированной из системы автоматизированного проектирования, построение трехмерной сетки [1]. Так как в данной модели предполагается учитывать внутреннюю структуру кристаллов, что будет необходимо при моделировании процессов плавления и образования сплавов различных металлов, то детализация модели изначально предполагается высокой. Размер зерен, образующихся при кристаллизации металла, может варьироваться в достаточно широких пределах от 1 до 1000 микрон.

На основе трехмерной сетки [2] в дальнейшем планируется решение задачи теплопроводности по всему объему изделия. Так как нагрев изделия планируется точечным источником тепла (его параметры будут зависеть от параметров электронного пучка), то сетка будет нерав-

номерной. Наибольшее число узлов будет в области наибольшего градиента температур. В жидкой фазе металла будет решаться задача переноса вещества. Так как в процессе работы будет изменяться положение источника тепла, геометрия изделия и его физические свойства, то предусматривается перестроение трехмерной после каждой итерации.

В качестве среды разработки программного обеспечения используется Visual Studio и язык программирования C++. Для построения 3d-модели объекта и в дальнейшем визуализации полученного результата было выбрано ПО SolidWorks.

Результаты и их обсуждение. При аддитивном способе изготовления форма изделия образуется путем последовательного добавления необходимых объемов (слоев) материала. Если в рамках модели для первого слоя изделия можно учитывать его взаимодействие только с подложкой, то для следующих слоев необходимо учитывать параметры предыдущих. Так, например, не успевший кристаллизоваться первый слой при наложении следующего слоя может привести к незапланированному перемешиванию.

Средствами программы SolidWorks была создана модель металлического стержня (рис. 1). При разбиении поверхности построенного в SolidWorks объекта на сетку (рис. 2), получаем набор треугольных ячеек. При этом сетка является равномерной.

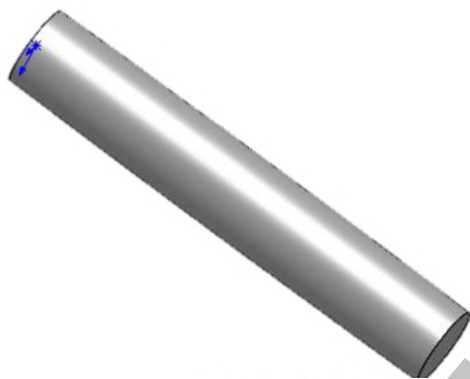


Рисунок 1

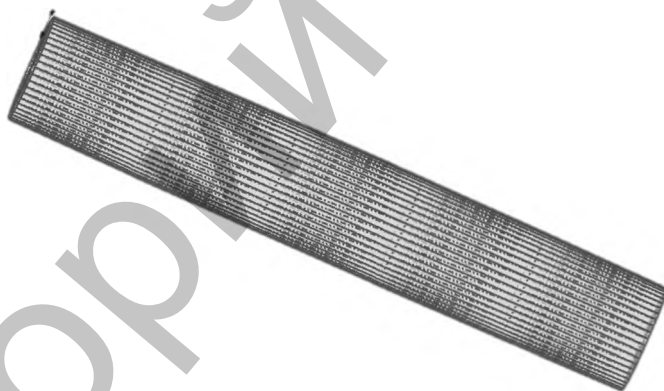


Рисунок 2

Если перевести полученный объект в формат .stl, получаем текстовый файл, который содержит описание каждого узла сетки в векторном виде. На Рисунке 3 показан фрагмент, описывающий одну из треугольных ячеек.

```
facet normal 0.000000e+000 0.000000e+000 -1.000000e+000
  outer loop
    vertex 0.000000e+000 5.000000e+000 0.000000e+000
    vertex 4.461268e-002 5.666435e+000 0.000000e+000
    vertex 5.000000e+000 5.000000e+000 0.000000e+000
  endloop
endfacet
```

Рисунок 3

Был создан трехмерный массив, заполненный нулями и единицами, где единица – это точка, принадлежащая объекту, 0 – не принадлежащая объекту. Т.е. получена трёхмерная сетка объекта на C++. Континуальные модели, осуществляющие описание процессов нагрева и фазовых трансформаций в металлах, опираются на уравнения механики сплошной среды, как правило, представляющие собой уравнения в частных производных, с соответствующими граничными условиями и уравнениями состояний. В ходе решения настоящей задачи были рассмотрены следующие математические модели решения задачи теплопроводности: метод сеток (или конечно-разностный метод) [3], метод матричной прогонки [4], метод конечных элементов (МКЭ) [4], метод переменных направлений [5]. Сравнение методов проводилось по следующим критериям: устойчивость, погрешность аппроксимации, скорость сходимости.

После проведенного анализа было выделено два наиболее подходящих для настоящей задачи метода: метод конечных элементов и метод переменных направлений.

При использовании МКЭ в качестве конечных элементов принимаются треугольные или четырехугольные элементы. Как было замечено ранее, полученная нами сетка как раз состоит из треугольных элементов. Достоинствами треугольных элементов являются возможность хорошей аппроксимации границы области и возможность аппроксимации искомой функции на треугольном элементе с помощью простейшей поверхности – плоскости, которая определяется значениями искомой функции в вершинах треугольного элемента.

Метод переменных направлений относится к экономичным разностным схемам, то есть сочетает в себе лучшие качества явной и неявной схем. Основная идея состоит в сведении перехода со слоя на слой к последовательному решению ряда одномерных задач по каждому из координатных направлений. При этом для каждой из промежуточных задач строится безусловно устойчивая схема, для решения которой требуется количество действий, пропорциональное числу узлов сетки на каждом временном слое. Как неявная схема, он является безусловно устойчивым.

Заключение. В данной работе рассмотрены потенциальные возможности и пути реализации моделирования процесса послойного выращивания изделий из металлов и сплавов с последующей термической обработкой. Выполнено средствами SolidWorks построение трехмерной сетки для тонкой металлической проволоки, служащей основой для формирования слоев изделия. В дальнейшем предполагается моделирование процессов переноса тепла и массы для тонкой металлической проволоки под действием электронного пучка.

1. Лисейкин, В. Д. Обзор методов построения структурных адаптивных сеток / В. Д. Лисейкин – Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 1996, том 36, номер 1, 3–41
2. Матвеев, А. Д. Метод многосеточных конечных элементов в расчетах трехмерных однородных и композитных тел / А. Д. Матвеев – Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки, 2016, том 158, книга 4, 530–543
3. Фалейчик, Б. В. Методы вычислений : пособие / Б. В. Фалейчик. – Минск : БГУ, 2014. – 224 с.
4. Формалев, В. Ф. Численные методы / В. Ф. Формалев, Д. Л. Ревизников – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 400 с.
5. Формалев В. Ф., Воробьева О. Р. Метод переменных направлений с экстраполяцией численного решения задач теплопроводности с тензором теплопроводности и конвективными членами / В. Ф. Формалев, О. Р. Воробьева – М. : Вестник МАИ. 1997. Т. 5. №1. С. 41–48.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОДЕЛИ ИСТОЧНИКА СВЕТА RGB ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТТЕНКОВ ЦВЕТА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРИХРОМАЗИИ У ЧЕЛОВЕКА

М.В. Шилина¹, Е.А. Марутько², А.В. Богомол²

¹Витебск, ВГУ имени П.М. Машерова

²Витебск, ГУО «СШ № 47 имени Е.В. Ивановского»

Глаз человека может различать до 16 миллионов оттенков цвета, эти возможности субъективны, поэтому возможны врожденные и приобретенные нарушения. Для кодирования цвета в технических устройствах, осуществляющих регистрацию и обработку светового сигнала, создали несколько цветовых моделей. Цветовые модели – это средства количественного описания цвета и различия между его оттенками. Цветовая модель (режим) представляет собой правило обозначения цветов пикселей документа. В модели RGB каждый базовый цвет характеризуется яркостью, которая может принимать значения от 0 до 256.

Цель исследования: используя цветовую модель RGB, качественно и количественно продемонстрировать механизм формирования цветов и возможность визуализировать трихромазии у человека.

Задачи исследования:

1. Ввести механизм кодирования цветового сигнала и создать шкалу RGB для модельного устройства.
2. Качественно описать зависимость изменения цвета излучения от величины силы тока.

Материал и методы. Источник белого света (в схеме использован реостат на 100 Ом, резистор 10 Ом); блок питания (зарядное устройство для телефона (входное напряжение 100-240 В, выходное 4 В); мультиметр; источник света – RGB (в схеме использованы реостаты на 100 Ом, 10кОм; резисторы 10 Ом); две коробки, выкрашенные в черный цвет изнутри; соедини-