

## Возможности практического применения дискретной динамической системы для моделирования процесса обработки металлов давлением

Студенты гр. 10402220: Якубчик Н.Г., Комар А.В.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Для моделирования и имитации технологических процессов металлургии существуют программные комплексы, например, Deform 2D/3D, QForm, Abaqus, OpenFOAM и др. Работа вышеперечисленных программ основывается на численном методе конечных элементов.

Суть метода конечных элементов заключается в том, что исследуемый объект – это область, в которой необходимо найти решение систем дифференциальных матричных уравнений. Исследуемая область разбивается на конечное количество подобластей (элементов), в каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции. Вне своего элемента аппроксимирующая функция равна нулю. Значения функций на границах элементов (в узлах) являются решением задачи и заранее неизвестны. Коэффициенты аппроксимирующих функций обычно находятся из условия равенства значений соседних функций на границах между элементами (в узлах). Затем эти коэффициенты выражаются через значения функций в узлах элементов [1], далее составляется система линейных алгебраических уравнений. Количество уравнений равно количеству неизвестных значений в узлах, на которых необходимо найти решение исходной системы, прямо пропорционально количеству элементов и ограничивается только условием поставленной задачи. Главным преимуществом МКЭ является возможность разбиения на конечные элементы области любой формы, и, таким образом, появляется возможность расчета полей напряжений и деформаций в реальных изделиях с учетом всех их конструктивных особенностей. Главный недостаток МКЭ заключается в необходимости составления «громоздких» вычислительных программ для ручного счета даже в случае решения очень простых задач. Кроме того, данный метод иногда приводит к разрывам значений исследуемой области, следовательно, нарушается дискретность расчета, которая не дает полной оценки исследуемого объекта.

Альтернативной программой для моделирования дискретных динамических систем является модель клеточные автоматы. Клеточный автомат (КА) представляет собой сетку произвольной размерности, которая состоит из клеток. Состояние клетки может в каждый момент времени принимать одно из конечного множества состояний, которые определяются правилами перехода [2]. Существует некоторое количество типов клеточных автоматов, самыми распространенными являются классический и неоднородный. Принципиальное отличие данных видов КА заключается в расположении ячеек, по которым согласно правилу перехода идет расчёт [3]. На рисунке 1 представлен пример расположения ячеек классического и неоднородного клеточного автомата.

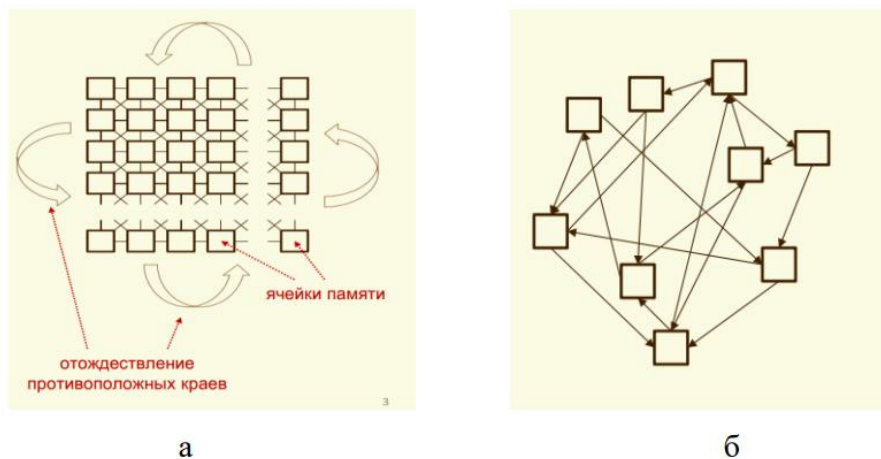


Рисунок 1 – Пример клеточных автоматов:

а – классический; б – неоднородный

В классическом КА значения всех ячеек изменяются синхронно и одновременно. Функция связи одинакова для всех ячеек. В неоднородном КА ячейки изменяются неупорядоченно, аргументы функции выбираются случайно из всего множества ячеек, но являются фиксированными для конкретного автомата. Целесообразность использования КА для решения технических задач обуславливается их простотой, непрерывными параллельными вычислениями систем дифференциальных, матричных уравнений с последующей визуализацией [4].

Одной из актуальных технологических задач является исследование процессов, протекающих на стыке горячей и холодной прокатки, которые являются причиной образования ряда дефектов металлопродукции, которые практически невозможно устранить при последующей обработке. Для решения данной задачи сформулированы следующие этапы исследования:

1) на базе клеточных автоматов построить модель процесса прокатки на стыке горячей и холодной прокатки. Данная модель должна адекватно описывать выходные параметра горячей прокатки, которые, по сути, должны являться входными параметрами процесса холодной прокатки;

2) провести исследование процессов, протекающих на стыке горячей и холодной прокатки, которые приводят к образованию технологических дефектов металлопроката;

3) с помощью программной модели клеточных автоматов разработать ряд технологических мероприятий, реализация которых позволит минимизировать количество возникающих дефектов проката.

Таким образом, результатом научно-исследовательской работы является дискретная динамическая модель горячей и холодной прокатки, которая позволит управлять технологическим процессом в целом в режиме реального времени. На рисунке 2 представлена схема работы дискретной динамической модели, построенная с помощью использования КА.

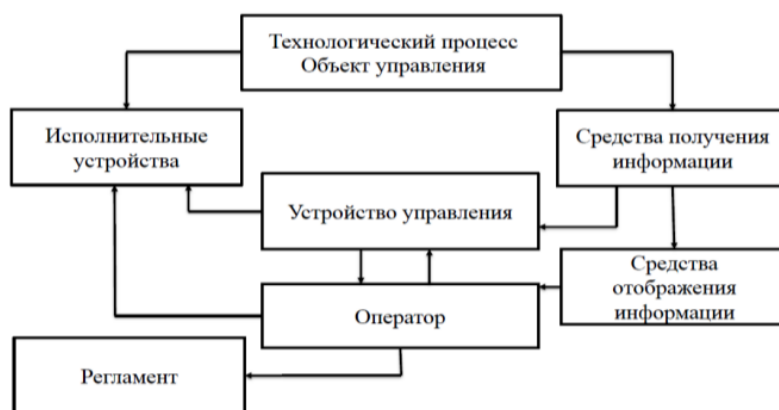


Рисунок 2 – Схема управления работой дискретной динамической модели

Объектом управления данной математической модели является технологический процесс обработки металлов давлением – прокатка, узким местом которой, по нашему мнению, является переход горячей прокатки в холодную. Для эффективного управления технологическим процессом на первом этапе следует определить входные и выходные параметры горячей прокатки, которые характеризуют технологический процесс в целом, например, усилие прокатки, натяжение полосы, скорость прокатки и т.д. Далее входные и выходные параметры необходимо преобразовать в уравнения, описывающие технологический процесс горячей прокатки, а затем холодной прокатки. С помощью исполнительного устройства производится математический расчет согласно заданным условиям, под которыми понимается алгоритм расчета математических уравнений, полученных согласно построенной сетки КА. Далее полученные данные следует визуализировать посредством средств отображения информации, которые также задаются через КА. Таким образом, с помощью полученных данных появится возможность описать поведение модели, процессы, протекающие при пластической деформации на

стыке перехода из горячей прокатки в холодную, а также множество состояний системы, исходя из первоначального состояния исходных элементов сетки.

#### **Список использованных источников**

1. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – М.: Мир, 1979.– 392 с.
2. Тоффоли, Т. Машины клеточных автоматов / Т.Тоффоли, Н. Марголус.– М.: Мир, 1991. –283 с.
- 3.Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган: пер. с англ. – М.: Мир, 1986. –274 с.
4. Рубин, Г.Ш. Клеточно-автоматные модели и перспективы их использования для моделирования процессов ОМД / А.А. Шишов, М.В. Чукин, Г.С. Гун // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. –2012. – №4. – С.66–68.