

(слайд 1)

Меня зовут Мехоношин Владислав Антонович, и я представляю вашему вниманию курсовую работу на тему: «Создание математической модели процесса электроэрозионной обработки для симулятора электроэрозионного станка».

(слайд 2)

В ходе проектирования симулятора электроэрозионного станка возникла острая необходимость в математической модели описывающей процесс электрической эрозии.

Объект исследования – объектом исследования является процесс электроэрозионной обработки, включая оборудование, используемое для этой цели, и методы, которые можно использовать для его моделирования в виртуальной среде.

Предмет исследования – предметом исследования является разработка алгоритмов и моделей, необходимых для создания реалистичного симулятора электроэрозионного станка.

Цель работы – реализация упрощенно модели, позволяющей симулировать процесс удаления материала с заготовки с учетом требований о работе симулятора в реальном времени.

(слайд 3)

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Проанализировать существующие подходы к моделированию процесса электроэрозионной обработки;
- Разработать математическую модель процесса электроэрозионного прошивания микроотверстий;
- Создать программное обеспечение для реализации разработанной модели;
- Провести экспериментальные исследования для проверки адекватности модели.

(слайд 4)

Электроэрозионная обработка – это процесс удаления материала с электропроводящей заготовки под действием серии быстрых электрических разрядов между электродом-инструментом и заготовкой в среде диэлектрической жидкости. Электрическая энергия преобразуется в тепловую, что приводит к плавлению, испарению и последующему выбросу материала из зоны обработки. Моделирование этого процесса сопряжено со значительными трудностями. Это мультифизический процесс, где одновременно протекают тепловые, электрические и гидродинамические явления. Кроме того, процесс

носит стохастический характер, а прямое наблюдение явлений в межэлектродном зазоре затруднено. Также, для симуляторов также критически важна производительность модели.

(слайд 5)

После анализа различных подходов, включая детальные физические и эмпирические модели, для данной работы была выбрана модель, основанная на энергетическом балансе единичного электрического разряда. Такой подход позволяет напрямую оценить объем удаляемого за один разряд материала и представляет собой хороший компромисс между точностью и вычислительной сложностью, что важно для симуляторов. Ключевая формула модели для расчета объема материала, удаляемого за один импульс, представлена на слайде. Она связывает эффективную энергию разряда E_{rem} (находящуюся в знаменателе) с теплофизическими свойствами материала, такими как плотность, теплоты плавления и испарения, удельная теплоемкость, температуры фазовых переходов, а также учитывает долю материала, удаляемого испарением, через коэффициент альфа.

(слайд 6)

Алгоритм работы реализованной модели включает несколько ключевых этапов. Сначала производится инициализация всех входных данных: свойств материала, параметров процесса ЭЭО, геометрических размеров и настроечных коэффициентов модели, таких как C_a и α_{factor} . Затем рассчитывается объем материала, удаляемый за один единичный импульс, по формуле, представленной ранее. Далее, для каждого моделируемого кратера, на основе заданного количества электрических разрядов, вычисляется суммарный удаленный объем и, как следствие, глубина кратера.

(слайд 7)

Программный прототип модели был реализован на языке Python. Выбор этого языка обусловлен его гибкостью и наличием удобных средств для работы с данными. Структурно скрипт включает модули для определения входных параметров, функцию для расчета объема удаляемого материала за один импульс согласно выбранной модели, логику для расчета итоговых глубин кратеров на основе суммарного числа разрядов, а также функцию, ответственную за генерацию кода для последующей 3D-визуализации. Для визуализации результатов моделирования была выбрана система параметрического твердотельного моделирования OpenSCAD, так как она позволяет создавать 3D-модели на основе текстового описания.

(слайд 8)

Для демонстрации работоспособности модели был проведен вычислительный эксперимент. Его целью было смоделировать формирование

кратеров на заготовке из стали С45 и показать, как количество электрических разрядов влияет на глубину эрозии. В симуляции использовались следующие параметры: напряжение импульса 160 Вольт, сила тока 8 Ампер, длительность импульса 100 микросекунд. Коэффициент использования энергии α был принят равным 1%, а доля материала, удаляемого испарением α_{factor} , – 10%. Моделировалось три кратера, для которых было задано 10 тысяч, 50 тысяч и 100 тысяч электрических разрядов соответственно.

(слайд 9)

В результате вычислительного эксперимента было установлено, что при заданных параметрах объем материала, удаляемый за один электрический разряд, составляет примерно одна десятитысячная кубического миллиметра. На слайде представлены расчетные физические глубины для трех смоделированных кратеров. Для 10 тысяч разрядов глубина составила около 0.05 мм, для 50 тысяч разрядов – около 0.25 мм, и для 100 тысяч разрядов – почти 0.5 мм. Также на слайде вы можете видеть скриншот трехмерной модели, сгенерированной в OpenSCAD, которая наглядно демонстрирует полученные кратеры различной глубины. Эти результаты показывают, что модель корректно отражает увеличение глубины эрозии с ростом числа разрядов.

(слайд 10)

В заключение, в рамках данной курсовой работы был выполнен анализ процесса электроэрозионной обработки и существующих подходов к его моделированию. Была выбрана и адаптирована математическая модель на основе энергетического баланса. Разработан программный прототип, который реализует эту модель, позволяет рассчитывать объем удаляемого материала и прогнозировать глубину эрозионных кратеров. Проведенный вычислительный эксперимент продемонстрировал работоспособность модели и возможность визуализации результатов. Таким образом, можно считать, что цель курсовой работы – реализация модели, позволяющей симулировать процесс удаления материала с заготовки – была достигнута

Направления дальнейшей работы могут включать в себя:

- Проведение физических экспериментов для валидации и калибровки модели.
- Расширение модели (учет износа электрода, свойств диэлектрика, сложной геометрии кратера).
- Развитие симулятора (GUI, интерактивность).
- Исследование стохастических аспектов.

(слайд 11)

Спасибо за внимание!