

СТОХАСТИЧЕСКОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОРЦОВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

В.А. Хоменко, А.О. Черданцев

Изложены принципы построения стохастической имитационной математической модели процесса торцового фрезерования. Рассмотрены составляющие модели: модель поверхности, модель фрезы и модель процесса резания.

Ключевые слова: имитационное моделирование, торцовое фрезерование, торцовая фреза, качество поверхности, топография поверхности, процесс резания.

Развитие вычислительной техники на сегодняшний день открыло широкие просторы для применения математического моделирования в технологии машиностроения. При изучении множества мелких объектов, к которым относятся и отдельные микронеровности, математическое моделирование, по сравнению с экспериментом, позволяет получить большее количество информации, а также сократить время и затраты на исследо-

вания. В частности, с помощью моделирования, возможно прогнозировать геометрические параметры качества обработанной поверхности еще на этапе проектирования операции.

При технологической подготовке большой интерес представляет вопрос о получении годной продукции с заданной вероятностью. Перебор различных вариантов инструмента, оптимизация режимов резания



Рисунок 1 – Стохастическая модель

при проектировании и оптимизации операций фрезерования, а так же, анализ конкретных их сочетаний посредством имитационного моделирования, позволяют сократить вероятность брака, назначить наиболее выгодные режимы резания и инструмент, обеспечивающие необходимое качество поверхности. Существующие эмпирические и теоретические модели, описывающие процесс торцового фрезерования, имеют множество существенных недостатков. Они позволяют прогнозировать шероховатость только для какого-то определённого участка поверхности, обработанного фрезой определённой конструкции, к тому же зачастую эти зависимости справедливы только для определённого обрабатываемого материала. Следствием этого становится весьма узкий диапазон их применимости.

Для решения поставленной задачи разработана стохастическая имитационная модель (рисунок 1). Процесс фрезерования перед его началом описывается набором параметров в виде плотностей распределения входных величин. Полагая, что процесс фрезерования носит детерминированный характер, параметры шероховатости после фрезерования будут иметь некоторую плотность распределения, зависящую как от детерминирующих, так и от стохастических параметров. Для конкретного случая обработки детерминирующими факторами являются заданные режимы резания, конструктивные и геометрические параметры используемого инструмента, механические свойства обрабатываемого материала. К стохастическим – можно отнести погрешности базирования элементов инструмента, отклонения размеров режущих пластин в пределах допуска, и другие факторы имеющие вероятностный характер.

Объединение детерминированной модели и плотностей распределения входных параметров, позволяет создать стохастическую имитационную модель (рисунок 1) для оценки вероятности получения годных деталей по плотностям распределения выходных параметров.

Из литературных источников [1,2] известно, что шероховатость поверхности обуславливается геометрическими параметрами инструмента, кинематикой его движения, возникающими вибрациями, упругими и пластическими деформациями в зоне резания, а также микрогеометрией режущих кромок инструмента.

При правильном подходе к выбору режимов резания и оборудования влияние виб-

рации на общую картину шероховатости значительно сокращается. Также современные тенденции приводят к применению высокоскоростной обработки [3], которая в свою очередь подразумевает сведение вибраций к минимальным значениям. В этих условиях наиболее существенное влияние на форму микронеровностей оказывает кинематика движения профиля режущих кромок инструмента. С другой стороны при наличии зачищающих режущих кромок, параллельных обрабатываемой поверхности, формировалась бы идеальная плоскость, но под влиянием вибраций этого не происходит. Вибрации возникают из-за наличия переменных сил в зонах резания. Величина сил резания обусловлена свойствами обрабатываемого материала и условиями резания.

В соответствии с изложенным выше, центральное место занимает детерминированная модель процесса торцового фрезерования, позволяющая прогнозировать параметры шероховатости поверхности на любом участке с учетом особенностей конструкции применяемого инструмента, влияния вибраций, свойств обрабатываемого материала и при широких диапазонах варьирования режимов резания.

Модель имеет структуру, изображенную на рисунке 2

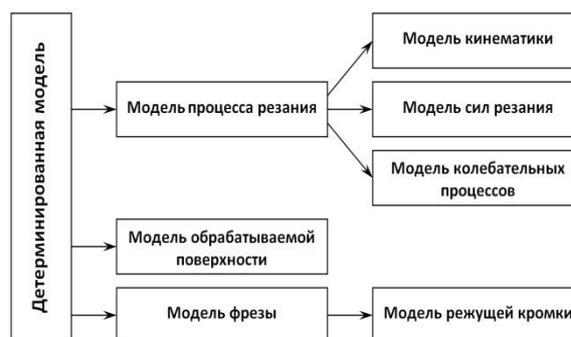


Рисунок 2 – Детерминированная модель

Детерминированная модель является имитационной, то есть развивается во временном интервале от начала фрезерования до его завершения аналогично реальному процессу. Весь временной интервал поделен на малые промежутки времени, а режущие кромки и обрабатываемая поверхность на малые элементы. Конкретные их значения обусловлены требуемой точностью расчета.

Модель поверхности представляет собой совокупность данных:

- l_x - размер участка вдоль оси X;
- l_y - размер участка вдоль оси Y;

СТОХАСТИЧЕСКОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОРЦОВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

- s_x - шаг сетки вдоль оси X;
- s_y - шаг сетки вдоль оси Y;
- p_x - координата X нижней левой точки участка;
- p_y - координата Y нижней левой точки участка;
- массив $Z[i, j]$ - высот микронеровностей в узлах сетки, с помощью которых можно описать пространственную сеть, повторяющую форму поверхности (рисунок 3).

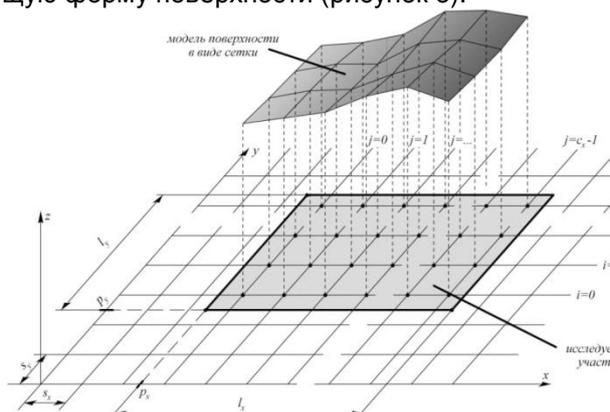


Рисунок 3 – Модель поверхности

Модель конструкции фрезы (рисунки 4,5) включает в себя параметры единичных режущих зубьев. Положение и ориентация которых в пространстве описывается следующими величинами:

- d_v - диаметр, на котором расположена вершина лезвия;
- z_v - положение вершины лезвия в осевом направлении;
- φ_v - угол, на котором расположена вершина лезвия;
- φ - главный угол в плане;
- γ_p - радиальный передний угол;
- γ_o - осевой передний угол.

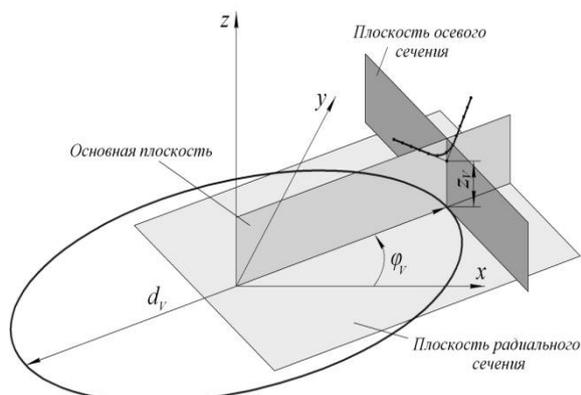


Рисунок 4 – Модель фрезы

Из перечисленных величин и массива точек, описывающих геометрию режущей кромки, рассчитывается точечная модель фрезы.

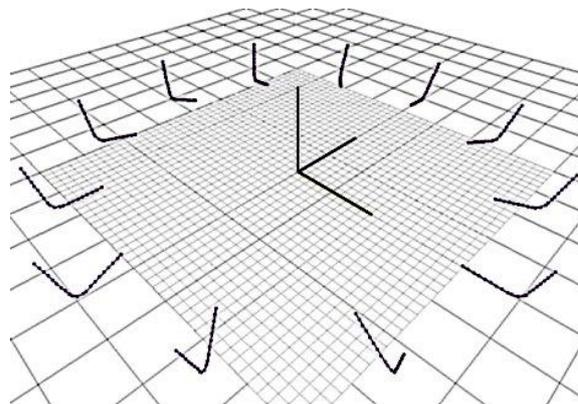


Рисунок 5 – Точечная модель фрезы

Модель режущей кромки (рисунок 6) описывается следующими параметрами:

- r_{skr} - радиус при вершине;
- ε_{rk} - угол при вершине;
- l_{rk} - длина режущей кромки;
- массив точек режущей кромки;

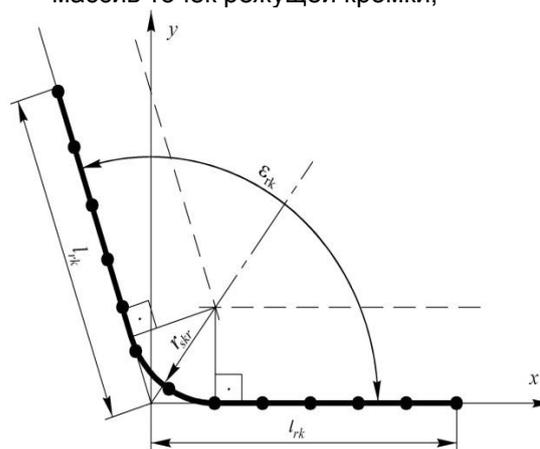


Рисунок 6 – Модель режущих кромок

Модель процесса резания объединяет в одно целое все её составляющие и имитирует их взаимодействие во времени аналогично динамике реального процесса фрезерования.

В расчетах используется дискретный способ задания перемещений. Изначально заданная точность расчета определяет максимально возможное перемещение точек режущей кромки за один шаг, которое в свою очередь с учетом скорости резания опреде-

ляет и шаг по времени между соседними рас- четными положениями.

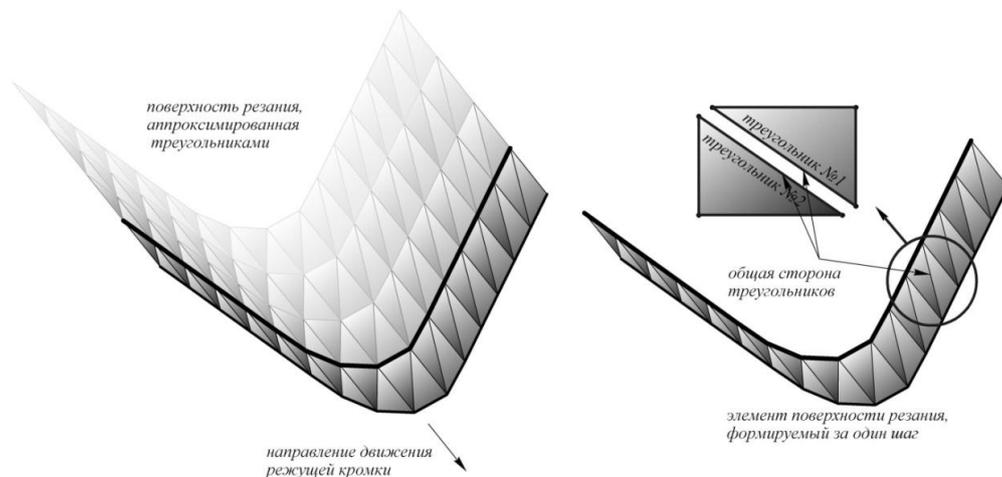


Рисунок 7 – Режущая кромка

Отрезки режущей кромки (рисунок 7), перемещаясь во времени, переходят в новые положения в пространстве, в результате формируется поверхность резания. Чтобы минимизировать расчетную сложность модели не в ущерб требуемой точности, поверхность резания аппроксимируется парами треугольников с общими сторонами. Поверхность детали, представляемая в виде набора нормальных отрезков с длинами равными высотам микронеровностей, на каждом расчетном шагу подвергается усечению треугольниками поверхности резания.

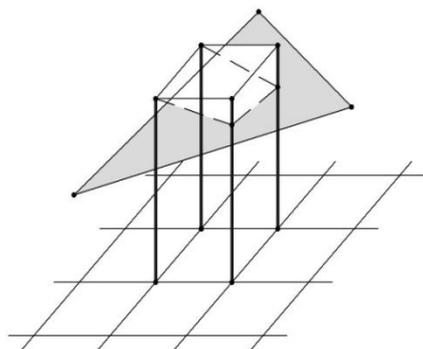


Рисунок 8 – Основная задача модели

Таким образом, основой вычислительной части модели является тривиальная геометрическая задача поиска точки пересечения треугольника и отрезка (рисунок 8). Решение этой задачи определяет происходит ли процесс съема металла участком режущей кромки в данном пространственно-временном положении. Если имеется точка пересечения отрезка с треугольником, то соответствующая этому отрезку высота микронеровности принимает новое значение.

Полный расчет можно описать многократно повторяющимися вложенными после-

довательностями действий. Для каждого шага по времени, для каждого зуба инструмента, для каждого отрезка его режущей кромки, для каждой расчетной точки высоты микронеровностей, для каждого из двух треугольников решается описанная выше задача. В результате получается топография обработанной поверхности. На каждом этапе производится оптимизация расчетов заведомо непересекающихся примитивов, тем самым многократно повышая вычислительную эффективность алгоритмов модели.

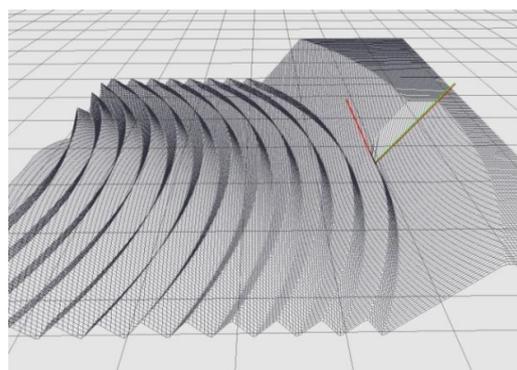


Рисунок 9 – Кинематико-геометрическое копирование

Описанная детерминированная модель реализует кинематико-геометрическое копирование режущих кромок (рисунок 9). Используемый принцип позволяет так же получать при расчете площадь срезаемого слоя (рисунок 10), что дает возможность для дальнейшего качественного усовершенствования модели и расширения её диапазона применимости.

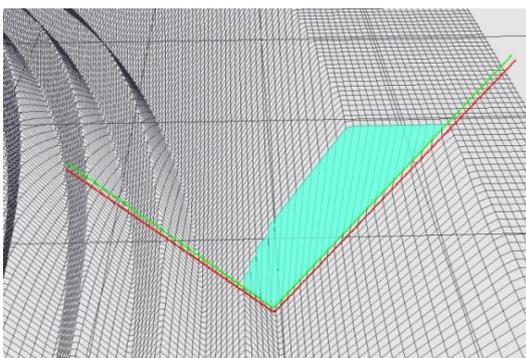


Рисунок 10 – Площадь срезаемого слоя

Усовершенствование модели в направлении расширения её диапазона применимости может быть проведено за счет следующих дополнений:

- возможности учета износа инструмента путем микро-корректировки значений координат режущих кромок в процессе резания в зависимости от пройденного пути и характера обработки;
- возможности учета пластических деформаций микронеровностей путем введения обратной связи расчета с обрабатываемой поверхностью;
- возможности задания передних и задних углов в каждой из точек режущей кромки, и как следствие анализ воздействия сил резания, и учет упругих отжатий;
- возможности наложения влияния вибраций посредством соответствующих аффинных преобразований, зависящих от текущих фаз колебательных процессов.

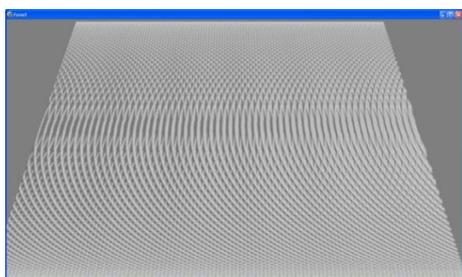


Рисунок 11 – Экранная форма программы с рассчитанной топографией

Детерминированная модель реализована в виде отдельной программы для ЭВМ «FaceMiller», на которую получено официальное свидетельство о регистрации №2011613866. Программа рассчитывает и отображает форму микронеровностей при торцовом фрезеровании (рисунок 11).

Топография поверхности передается на математическую обработку, в результате которой получают конкретные значения требуемых параметров шероховатости (рисунок

12). Этим результатом ограничивается работа детерминированной модели.



Рисунок 12 – Обработка данных в детерминированной модели

Стохастическая модель формирует входные массивы данных на основе законов плотностей распределения входных параметров. Инкапсулированная в стохастическую детерминированная модель рассчитывает законы плотностей распределения требуемых параметров шероховатости. Обладая законом распределения нужного параметра инженер-технолог способен корректировать параметры технологической операции для достижения требуемой вероятности изготовления годных деталей.

Разработанная модель может быть использована при технологической подготовке операций торцового фрезерования. Приведенный принцип построения модели легко переносим и на другие виды обработки. Структура модели обладает большим потенциалом для дальнейшего совершенствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
2. Леонов С.Л., Зиновьев А.Т. Основы создания имитационных технологий прецизионного формообразования. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – 198 с.
3. Высокопроизводительная обработка металлов резанием. – М.: издательство «Полиграфия», 2003. – 301 с.

Хоменко В.А., д.т.н., профессор заведующий кафедрой ТАП,
тел. 8 (3852) 29-08-95,
Черданцев А.О., аспирант,
e-mail: hypertigr@mail.ru,
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»