

УДК 658.512

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ
НАПРАВЛЯЮЩЕЙ ВНУТРЕННЕЙ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ
ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНЦЕВОЙ ФРЕЗОЙ**

М. И. МИХАЙЛОВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Ключевые слова: моделирование фрезерования, концевые фрезы, цилиндрическая поверхность, кинематическая направляющая.

Введение

Современное машиностроение характеризуется повышением требований к геометрическим параметрам качества изготовления поверхностей деталей – точности получаемых размеров, отклонениям формы, взаимному расположению поверхностей, их волнистости и шероховатости. Именно эти параметры определяют контактные деформации и жесткость стыков, характеризуют трение и износ поверхностей, герметичность соединений, прочность сцепления с покрытием и т. п. [1], [2]. При этом необходимо обеспечить не только заданные требования качества поверхности, но и их стабильность, которая определяется характеристиками параметров геометрии поверхности детали, задаваемыми законом их распределения.

Геометрия поверхности детали определяется ее топографией. Математическое описание формирования топографии поверхности при механической обработке затрудняется большим количеством влияющих на нее параметров. Ситуация еще более осложняется тем, что случайные отклонения могут иметь динамический характер. При этом эмпирические рекомендации позволяют разрешить только отдельные из возникающих проблем, для которых эти эмпирические данные существуют.

Математическое моделирование операций механической обработки по сравнению с экспериментальными исследованиями позволяет получать большее количество информации и сократить время на исследования. Эти преимущества приводят к широкому внедрению моделирования в технологические расчеты. Однако разнородность существующих моделей технологических систем и процессов, а также отсутствие единого подхода к их разработке значительно затрудняют внедрение этих моделей.

Так, С. Л. Леонов и В. Н. Некрасов используют метод математического моделирования при формировании топографии поверхности торцовым фрезерованием, при этом они представляли этот процесс в виде «черного ящика» [1], [3], [4].

Кроме того, топография обработанных поверхностей зависит от расположения формообразующей кромки фрезы в корпусе инструмента и траектории ее движения, на которую, в свою очередь, влияют параметры режима резания и геометрические параметры режущих кромок фрезы [2], [5], [6].

Цель работы – прогнозирование параметров топографии цилиндрической обработанной поверхности концевой фрезой.

Основная часть

Во время обработки цилиндрической поверхности инструментом совершаются следующие движения: D_r – главное вращательное; D_s – круговое движение подачи (рис. 1).

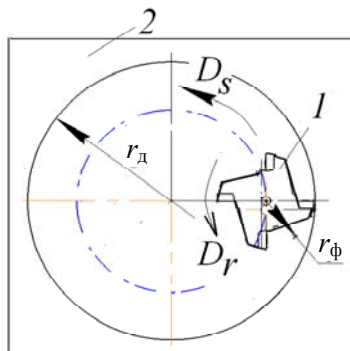


Рис. 1. Схема обработки закрытой цилиндрической поверхности:
1 – фреза; 2 – деталь

Для описания траектории точки зуба фрезы при обработке закрытых цилиндрических поверхностей была разработана расчетная схема (рис. 2).

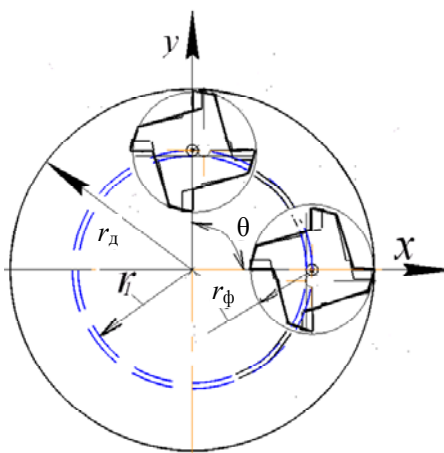


Рис. 2. Расчетная схема обработки

При обработке каждая точка инструмента совершает сложное планетарное движение. Математическое моделирование траектории движения выполнялось в параметрической форме:

$$x = (r_d - r_\phi) \sin\left(\theta \pm k \frac{\pi}{n}\right) + \left(\frac{S_0}{2\pi} \pm \left(r_\phi - \frac{S_0}{2\pi}\right)\right) \sin\left((r_d - r_\phi) \frac{2\pi}{S_0} \left(\theta \pm k \frac{\pi}{n}\right)\right); \quad (1)$$

$$y = \left(r_d - r_\phi - \frac{S_0}{\pi}\right) \cos\left(\theta \pm k \frac{\pi}{n}\right) + \left(\frac{S_0}{2\pi} \pm \left(r_\phi - \frac{S_0}{2\pi}\right)\right) \cos\left((r_d - r_\phi) \frac{2\pi}{S_0} \left(\theta \pm k \frac{\pi}{n}\right)\right), \quad (2)$$

где r_ϕ – радиус фрезы; r_d – радиус направляющей поверхности детали; S_0 – подача за один цикл главного движения; k и n – целые числа; θ – центральный угол между лучом, проходящим через рассматриваемую точку траектории и осью oy . Верхний знак соответствует встречному, а нижний – попутному фрезерованию.

Анализ полученных кинематических направляющих обработанных поверхностей производился по максимальному расстоянию между геометрической и кинематической направляющими обработанной поверхности (Δ):

$$\Delta = r_d - \sqrt{x_{i-1,i}^2 + y_{i-1,i}^2},$$

где $x_{i-1,i}$, $y_{i-1,i}$ – координаты точки пересечения траекторий движения двух соседних циклов обработки.

Подставив в уравнения (1) и (2) числовые значения параметров, была получена траектория, описываемая точками кромок фрезы (рис. 3).

Расчеты по построению траектории выполнены в MathCad.

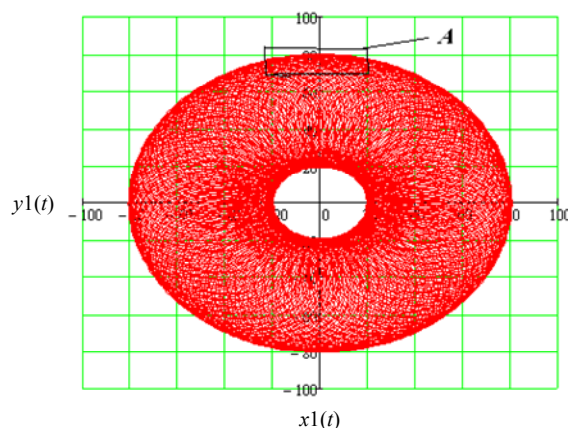


Рис. 3. Траектория движения фрезы по закрытой цилиндрической поверхности

Исследования влияния параметров режима резания и параметров фрезы на параметры кинематической направляющей детали производились поэтапно.

На первом этапе исследовалось влияние параметров режима резания на максимальное расстояние между геометрической и кинематической направляющими обработанной поверхности (МРГКН) (рис. 4). На рис. 4 представлены траектории в зоне А при $r_d = 81$ мм и $r_d/r_\phi = 2,5$ (рис. 3).

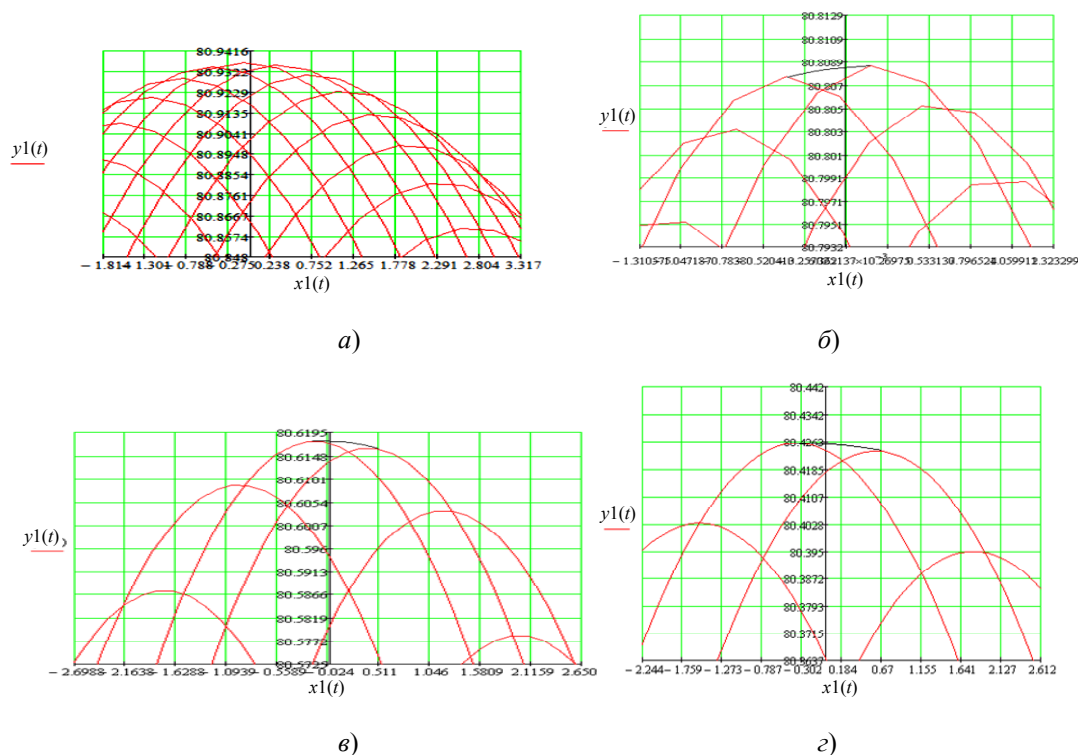


Рис. 4. Траектории движения формообразующих кромок фрезы с подачами: а – 0,2 мм/об; б – 0,4 мм/об; в – 0,6 мм/об; г – 0,8 мм/об

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Величины максимального расстояния между геометрической и кинематической направляющими

Подача S_0	Максимальное расстояние между геометрической и кинематической направляющими Δ , мм
0,2	0,000195
0,4	0,000546
0,6	0,0011

На основании полученных расчетов построен график влияния подачи на максимальное расстояние между геометрической и кинематической направляющими обработанной поверхности (рис. 5).

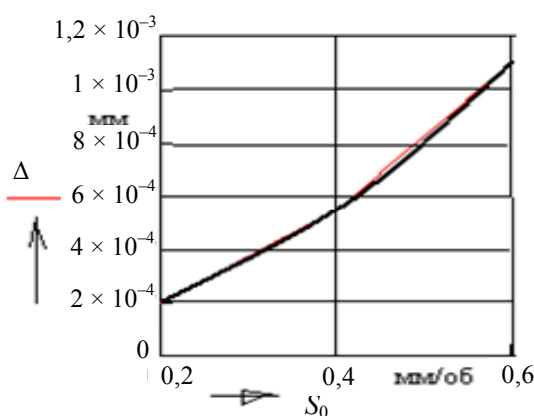


Рис. 5. Влияние подачи S на максимальное расстояние между геометрической и кинематической направляющими

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что влияние подачи на МРГКН зависит от ее соотношения с диаметром инструмента. При увеличении подачи в два раза МРГКН возрастает в 2,8 раза.

На втором этапе установлено влияние параметров инструмента на максимальное расстояние между геометрической и кинематической направляющими обработанной поверхности (рис. 6)

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Величины максимального расстояния между геометрической и кинематической направляющими

Отношение радиуса обрабатываемой поверхности к радиусу фрезы r_d/r_ϕ	Максимальное расстояние между геометрической и кинематической направляющими Δ
2,29	0,00041
2,61	0,00045
2,94	0,0004
3,38	0,00065

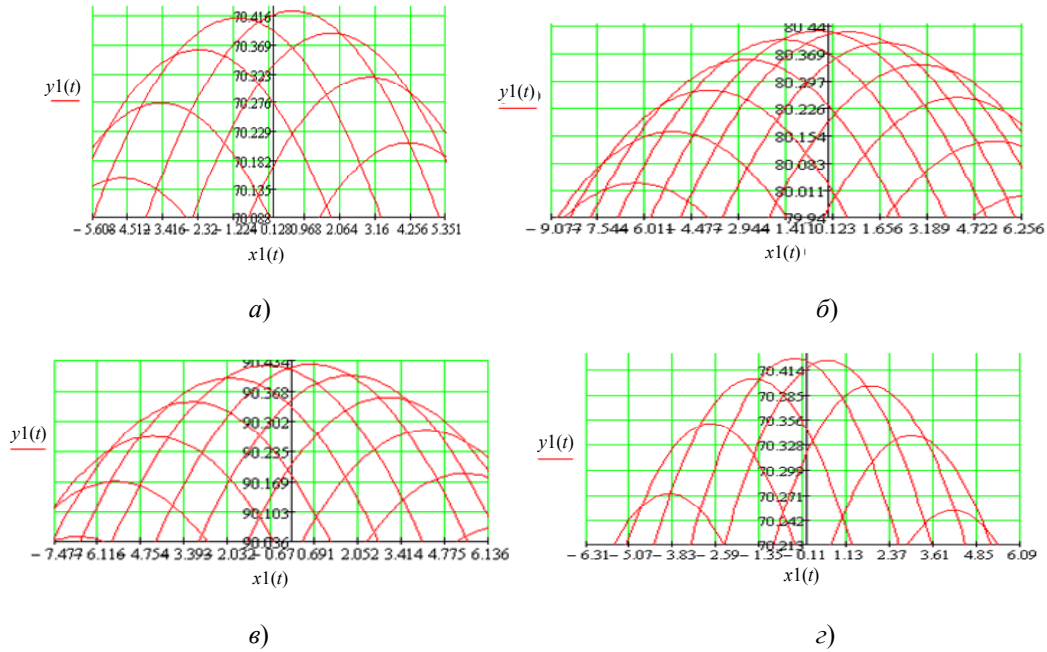


Рис. 6. Траектории движения формообразующих кромок фрезы при соотношении радиуса обрабатываемой поверхности к радиусу фрезы:
 а – 2,29; б – 2,61; в – 2,94; г – 3,38

На основании полученных расчетов построен график влияния отношения радиуса обрабатываемой поверхности к радиусу фрезы на максимальное расстояние между геометрической и кинематической направляющими обработанной поверхности (рис. 7).

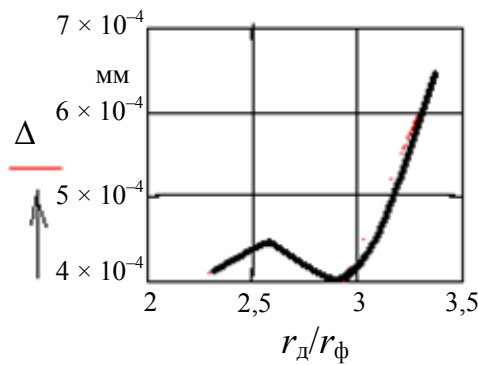


Рис. 7. График влияния отношения радиуса обрабатываемой поверхности к радиусу фрезы на максимальное расстояние между геометрической и кинематической направляющими обработанной поверхности

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что влияние отношения радиуса обрабатываемой поверхности к радиусу фрезы на МРГКН зависит от соотношения угловой и линейной подач инструмента, которые, в свою очередь, зависят от радиуса r_1 (см. рис. 2).

На третьем этапе установлено влияние количества обрабатывающих сменных многогранных пластин (СМП) инструмента на максимальное расстояние между геометрической и кинематической направляющими обработанной поверхности (рис. 8).

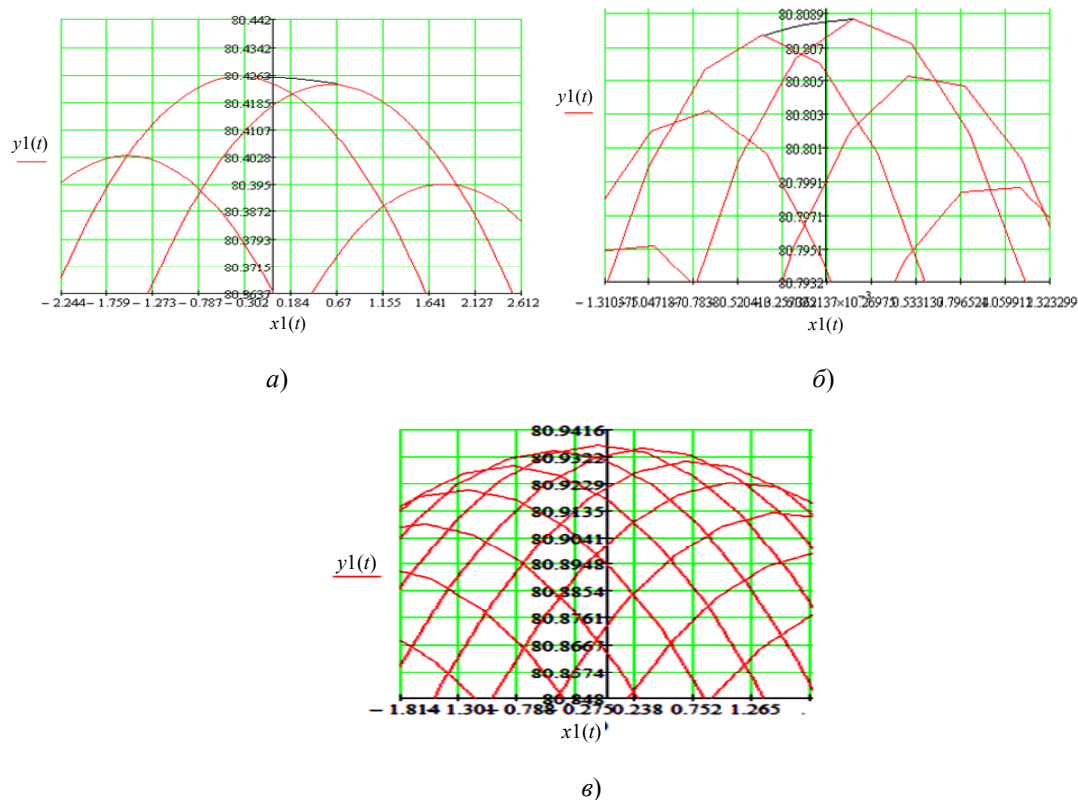


Рис. 8. Траектории движения формообразующих кромок фрезы при количестве обрабатываемых сменных многогранных пластин:
 $a - 4$; $b - 2$; $v - 1$

На основании полученных расчетов построен график влияния количества обрабатываемых СМП на максимальное расстояние между геометрической и кинематической направляющими обработанной поверхности (рис. 9).

Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Величины максимального расстояния между геометрической и кинематической направляющими

Количество пластин n	Максимальное расстояние между геометрической и кинематической направляющими Δ , мм
4	0,000196
2	0,000445
1	0,00245

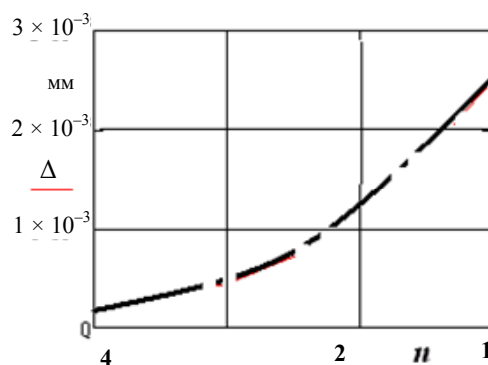


Рис. 9. График влияния количества обрабатывающих сменных многогранных пластин на максимальное расстояние между геометрической и кинематической направляющими обработанной поверхности при подаче 0,2 мм/об

Анализ графика позволяет заключить, что шероховатость уменьшается в 1,25 раза при обработке 4-мя пластинами в сравнении с 1-й пластиной.

Заключение

Таким образом, в результате обобщения вышеизложенного можно отметить следующее:

1. Разработана математическая модель траектории результирующего движения зубьев фрезы, позволяющая учитывать погрешность позиционирования СМП в корпусе фрезы.

2. Установлено, что при увеличении подачи в два раза максимальное расстояние между геометрической и кинематической направляющими обработанной поверхности возрастает в 2,8 раза.

3. Установлено, что шероховатость уменьшается в 1,25 раза при обработке 4-мя пластинами в сравнении с 1-й пластиной.

4. Выявлено, что влияние отношения радиуса обрабатываемой поверхности к радиусу фрезы на МРГКН зависит от соотношения угловой и линейной подач инструмента, которые, в свою очередь, зависят от радиуса r_1 .

Литература

1. Леонов, С. Л. Обеспечение требуемого микрорельефа поверхности при фрезерной обработке основы для нанесения покрытия / С. Л. Леонов // Обработка металлов. – 2008. – № 1. – С. 4–7.
2. Михайлов, М. И. Сборный металлорежущий механизированный инструмент: Ресурсосберегающие модели и конструкции / М. И. Михайлов ; под ред. Ю. М. Плещачевского. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 339 с. : ил.
3. Леонов, С. Л. Основы создания имитационных технологий прецизионного формообразования / С. Л. Леонов, А. Т. Некрасов. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2006. – 198 с.
4. Леонов, С. Л. Конструирование моделей для расчета шероховатости и топографии обработанных поверхностей / С. Л. Леонов, Е. Ю. Хоменко. // Ползунов. вестн. – 2008. – № 1/2. – С. 170–174.
5. Михайлов, М. И. К вопросу о методике моделирования кинематических поверхностей, сформированных режущим инструментом по различным схемам формообразования / М. И. Михайлов // Машиностроение : сб. науч. тр. – Минск, 2000. – Вып. 16. – С. 125–132.

6. Михайлов, М. И. Моделирование точности сборного механизированного инструмента / М. И. Михайлов // Современные проблемы машиноведения : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Гомель, 2006. – С. 88–89.

Получено 19.02.2018 г.