

возможности метода полигонального точения в отношении профиля обработанных граней, что необходимо учитывать при проектировании технологической операции. Повышение универсальности станка для полигонального точения по форме поверхностей граней обеспечивается при введении в кинематическую цепь профилирования органа настройки отношения частот вращательных движений инструмента и заготовки.

### *Литература*

1. Данилов, В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием / В.А. Данилов. – Мн. : Наука и техника, 1995. – 264 с.
2. Данилов, А.А. Анализ и реализация схем полигонального точения многогранных поверхностей / А.А. Данилов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. – Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 11, с. 19-27.

УДК 621.91.04

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПАЗОВ НА ТОРЦЕ КОЛЬЦЕВОЙ ДЕТАЛИ МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЛЕНИЯ**

Магистрант Наранович В.Ф.

*Научный руководитель – профессор Данилов В.А.*

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

*Постановка задачи.* Детали машин, имеющие на торце равномерно расположенные по окружности пазы, широко применяются в изделиях машиностроения для выполнения различных функций (индукторы АБС, храповые и кулачковые муфты и др.). Высокая производительность и точность расположения пазов обеспечиваются при их обработке методом непрерывного деления благодаря совмещению процессов

формообразования и деления. Поэтому этот метод положен в основу современных технологий формообразования пазов на торцах деталей [1], и его применение при разработке и реализации технологий обработки таких изделий имеет практическое значение.

Формообразование пазов рассматриваемым методом осуществляется в результате согласованных вращательных движений инструмента (резцовой головки) и заготовки вокруг параллельных или перпендикулярных осей. При этом профиль пазов формируется методом копирования за счет геометрии режущих лезвий инструмента, а форма их боковых поверхностей по длине – методом следа в соответствии с траекторией движения формообразования. В зависимости от параметров схемы обработки ею может быть окружность, эллипс либо иная замкнутая кривая, что позволяет обрабатывать пазы с выпуклыми, вогнутыми или близкими к плоским боковым сторонам. Анализ технологических возможностей схемы обработки по форме обрабатываемых поверхностей удобно выполнять с применением компьютерного моделирования, обеспечивающего наглядность процесса формообразования. Эта задача рассматривается ниже для схемы обработки пазов при сообщении заготовке и лезвийному инструменту согласованных вращательных движений вокруг параллельных осей.

*Схемы формирования циклоидальных кривых.* Известно, что при сообщении точке двух согласованных вращательных движений она перемещается по циклоидальной кривой (рисунок 1), некоторые участки которой могут служить производящими линиями обрабатываемых пазов. При анализе целесообразно рассматривать замкнутые линии, обеспечивающие непрерывность процесса формообразования и возможность многократного повторения траектории исполнительного движения, что часто требуется при обработке поверхностей резанием за несколько ходов

В математике циклоидальная кривая рассматривается как траектория формообразующей точки, определенным образом расположенной в плоскости производящей окружности, катящейся без скольжения по неподвижной окружности (рисунок 1). Принципиальные схемы кинематического формирования циклоидальных кривых отличаются относительным расположением

производящей и направляющей окружностей и положением формообразующей точки в плоскости, связанной с производящей окружностью. Указанные окружности могут иметь между собой внешнее (рисунок 1, а) или внутреннее (рисунок 1, б) касание. При этом формообразующая точка  $M$  может быть расположена внутри, вне или на производящей окружности.

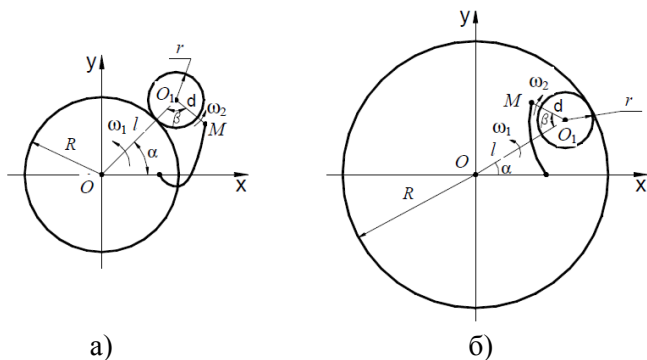


Рисунок 1 – Принципиальные схемы формирования эпициклоидальных (а) и гипоциклоидальных (б) кривых

Для использования циклоидальных кривых в качестве производящих линий при обработке поверхностей резанием необходимо знать влияние на их форму геометрических и кинематических параметров схем формообразования. Известно [2], что если производящая точка принадлежит подвижной окружности ( $d=r$ ), то формируются обыкновенные циклоидальные кривые (эпи – или гипоциклоида). Если производящая точка расположена внутри производящей окружности ( $d < r$ ), то образуются укороченные циклоидальные кривые. Если же производящая точка находится вне подвижной окружности ( $d > r$ ), то формируются удлиненные циклоидальные кривые. Геометрические свойства формируемой линии зависят от значений параметров  $R$ ,  $r$ ,  $d$ , и она может состоять из множества последовательно образованных конгруэнтных участков. Это позволяет использовать такие циклоидальные кривые в качестве производящих линий множества определенным образом расположенных относительно друг друга

одинаковых поверхностей что важно, например, при обработке деталей с равномерно расположенными пазами.

Геометрическими параметрами схем формирования циклоидальных кривых являются:

- радиус  $R$  направляющей и радиус  $r$  производящей окружностей;
- расстояние  $d$  между формообразующей точкой  $M$  и центром  $O_1$  производящей окружности.

Настраиваемыми геометрическими параметрами схем формирования циклоидальных кривых являются:

- расстояние  $l$  между центрами  $O$  и  $O_1$  направляющей и производящей окружностей, которое при внешнем их касании составляет  $l = R + r$ , а при внутреннем касании  $l = R - r$ ;
- коэффициент  $\lambda = r/d$ , определяющий расположение формообразующей точки относительно центра производящей окружности, который независимо от вида контакта направляющей и производящей окружностей может удовлетворять одному из трех условий:  $\lambda < 1$ ;  $\lambda = 1$ ;  $\lambda > 1$ .

В схемах обработки, основанных на сообщении вращательных движений инструменту и заготовке, параметр  $l$  является расстоянием между их осями, а параметр  $d$  – радиусом режущего инструмента.

Кинематическим параметром рассматриваемых схем, влияющим на форму образуемой линии, является отношение  $i = \omega_2 / \omega_1$  угловой скорости  $\omega_2$  вращения формообразующей точки  $M$  вокруг центра  $O_1$  производящей окружности и угловой скорости  $\omega_1$  поворота центра  $O_1$  производящей окружности относительно центра  $O$  направляющей окружности. Если это отношение  $i$  выражается целым числом, то любая формируемая линия состоит из  $i$  конгруэнтных участков и является замкнутой.

При анализе схем формирования циклоидальных кривых переменными являются не только параметры  $i$ ,  $l$ ,  $d$  схем формирования, но и их отношения (коэффициенты  $\lambda$ ,  $\eta$ ), необходимые для настройки формообразующей системы станка. Это важно для реализации кинематических схем обработки независимо от структуры станков, основанных на сообщении планетарного движения профилирования или инструменту, или заготовке или на взаимосвязанных вращательных движениях

инструмента и заготовки в соответствии со значением кинематического коэффициента  $i$ . Рассмотрен случай, когда этот коэффициент имеет целое значение.

*Результаты исследования.* В результате аналитического исследования и компьютерного моделирования движения режущей кромки (некоторые результаты компьютерного моделирования представлены на рисунках 2-4) установлено:

- количество ветвей гипоциклоиды, которые описывает режущая кромка, соответствует передаточному отношению  $i$  частот вращения заготовки и инструмента, когда оно принимает целые значения (рисунок 2);

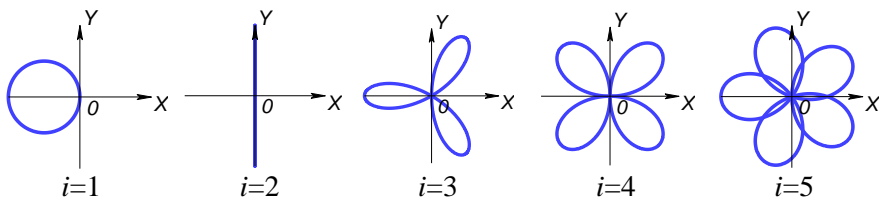


Рисунок 2 – Зависимость траектории режущей кромки от передаточного отношения  $i$

- коэффициент  $\lambda = r/d$ , характеризует отклонение траектории режущей кромки от окружности (рисунок 3): чем больше его значение, тем траектории ближе к окружности;

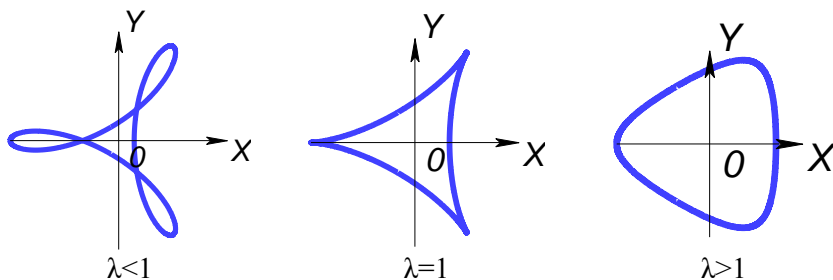


Рисунок 3 – Зависимость траектории режущей кромки при целом значении кинематического коэффициента ( $i=3$ ) от коэффициента  $\lambda$

- коэффициент  $\eta=l/d$  определяет положение кривой по отношению к центру осей координат (рисунок 4): при  $\eta=1$  траектория движения формообразования проходит через начало координат.

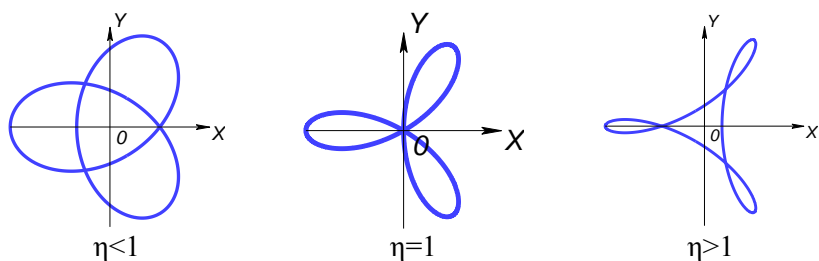


Рисунок 4 – Зависимость траектории режущей кромки при целом значении кинематического коэффициента ( $i=3$ ) от коэффициента  $\eta$

Таким образом, на основе моделирования схемы обработки пазов резцовыми головками при сообщении инструменту и заготовке согласованных вращательных движений вокруг параллельных осей определены геометрические и кинематические условия формообразования пазов при непрерывном движении деления. Управление формой образуемых линий, как следует из анализа моделей процессов их образования, достигается кинематическим и геометрическим методами. Использование результатов компьютерного моделирования геометрии замкнутых циклоидальных кривых позволяет упростить выбор производящих линий и определение параметров схемы обработки резанием пазов на торцах деталей в зависимости от их геометрии.

### *Литература*

1. Данилов, В.А. Прогрессивные технологии формообразования торцовых зубчатых контуров деталей машин / В.А. Данилов, Р.А. Киселев, О.В. Яловский. – Новополюцк: УО ПГУ, 2015. – 220 с.
2. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я.Выгодский. – М.: Наука, 1997. – 870с.