

ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПАЗОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТОРЦОВЫХ ЗУБЧАТЫХ КОНТУРОВ ПО СХЕМЕ С НЕПРЕРЫВНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ДЕЛЕНИЯ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Технология обработки торцовых зубчатых контуров по схемам с непрерывным процессом деления обеспечивает более высокие показатели производительности и точности формообразования [1]. Практическая реализация этой технологии связана с решением задачи профилирования обрабатываемых пазов при условии непрерывности вращательных движений инструмента и заготовки. Традиционно при такой кинематике профилирования боковые поверхности пазов (зубьев) формируются методом обката, что не всегда целесообразно. В частности, это относится к пазам с плоскими боковыми поверхностями, которые предпочтительно получать методом копирования, так как упрощается геометрия режущей части инструмента. Такая форма пазов характерна для индукторов антиблокировочной системы автомобилей.

В этой связи важно выявить условия, при которых при одновременных вращательных движениях инструмента и заготовки пазы профилируются методом копирования.

Рассмотрим эту задачу на основе математической модели, описывающей траекторию движения режущих элементов инструмента [2], на примере схемы обработки, по которой результирующая скорость (скорость резания) относительных движений инструмента и заготовки направлена вдоль паза.

В процессе формообразования каждый режущий элемент движется по своей траектории 1, 2, 3 и т.д. (рис. 1, а), которая определяется параметрами настройки обрабатываемой системы и геометрией инструмента.

Обкат исключается, если выполняется условие $BC < AO$ (рис. 1, б) на внешнем и внутреннем диаметре торцового зубчатого контура для всех режущих элементов, участвующих в формировании торцового зубчатого контура, при условии обеспечения равномерной подачи на зуб. В этом случае боковые режущие кромки резца не выходят за пределы профиля, формируемого методом копирования последним режущим элементом в резцовом секторе. Координаты точек пересечения режущими элементами наружного и внутреннего диаметра заготовки можно определить следующими системами уравнений, описывающими траекторию движения точки, принадлежащей режущей кромке, и условия контакта режущего элемента с внутренним и внешним диаметром заготовки:

D – внутренний диаметр детали.

Решая системы уравнений (1) и (2), получаем значения координат пересечения центральной точки режущих элементов с внешним и внутренним диаметром заготовки. Необходимо отметить, что анализ всего множества корней рассматриваемых систем уравнений не требуется, так как они по своим функциональным характеристикам идентичны. Достаточно рассмотреть параметры, относящиеся только к одному пазу. Результаты расчета по каждому i -му режущему элементу согласно уравнения (1) представляем в виде матрицы A , а согласно уравнению (2) - в виде матрицы B .

$$A = \begin{vmatrix} \beta_1 & R_1 & x_{11} & y_{11} \\ \beta_2 & R_2 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_{i-1} & R_{i-1} & x_{(i-1)1} & y_{(i-1)1} \\ \beta_i & R_i & x_{i1} & y_{i1} \end{vmatrix}; \quad (3)$$

$$B = \begin{vmatrix} \beta_1 & R_1 & x_{12} & y_{12} \\ \beta_2 & R_2 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_{i-1} & R_{i-1} & x_{(i-1)2} & y_{(i-1)2} \\ \beta_i & R_i & x_{i2} & y_{i2} \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Преобразуем результаты, представленные в матрицах A и B в матрицу C , учитывая, что:

первый столбец отображает угловое расположение режущих элементов на инструменте и $\beta_i = 0$;

вторые столбцы матриц A и B преобразуем согласно следующему условию $t_i = R_i - R_1 \Rightarrow t_1 = 0$.

Если столбец матрицы A идентичен соответствующему столбцу матрицы B , то в матрице C пишется один столбец, в противном случае в матрицу вводятся оба столбца.

$$C = \begin{vmatrix} \beta_1 & 0 & x_{11} & x_{12} & y_{11} & y_{12} \\ \beta_2 & t_2 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_{i-1} & t_{i-1} & x_{(i-1)1} & x_{(i-1)2} & y_{(i-1)1} & y_{(i-1)2} \\ 0 & t_i & x_{i1} & x_{i2} & y_{i1} & y_{i2} \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Каждая строка матрицы C несет информацию о траектории движения i -ого режущего элемента, формирующего паз на глубине t_i . Комплексный анализ всей выборки результатов, представленных в рассматриваемой матрице, позволяет установить наличие или отсутствие обката по каждому режущему элементу.

Анализ геометрических характеристик торцовых зубчатых контуров [3] показал, что наибольшее применение нашли торцовые зубчатые контуры с поперечным профилем в виде ломаной линии (рис. 2), формирование которого возможно инструментом с такой же формой режущих элементов.

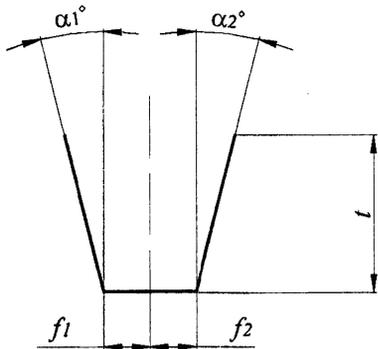


Рис. 2. Профиль формируемого паза

По данной схеме режущий элемент можно представить в формализованном виде пятью параметрами $(t, f_1, f_2, \alpha_1, \alpha_2)$. В частности, профиль режущего элемента, формирующего пазы храповой муфты, описывается следующим образом: $t=a, f_1=f_2=0, \alpha_1=7\alpha_2=b$.

Рассмотрим условие отсутствия обката при обработке торцового зубчатого контура режущими элементами с профилем, описываемым параметрами $t, f_1, f_2, \alpha_1, \alpha_2$ для i -ого уровня матрицы C :

$$\begin{aligned} f_1 + y_{i1} &\leq f_1 + (t - t_i) \operatorname{tg}(\alpha_1), \\ f_2 + y_{i1} &\leq f_2 + (t - t_i) \operatorname{tg}(\alpha_2), \\ f_1 + y_{i2} &\leq f_1 + (t - t_i) \operatorname{tg}(\alpha_1), \\ f_2 + y_{i2} &\leq f_2 + (t - t_i) \operatorname{tg}(\alpha_2). \end{aligned}$$

Представим приведенные условия в виде матриц D и F

$$D = \begin{vmatrix} (t - t_1) \operatorname{tg} \alpha_1 \\ \dots \\ (t - t_{(i-1)}) \operatorname{tg} \alpha_1 \\ (t - t_i) \operatorname{tg} \alpha_1 \end{vmatrix}, \quad (6)$$

$$F = \begin{vmatrix} (t - t_1) \operatorname{tg} \alpha_2 \\ \dots \\ (t - t_{(i-1)}) \operatorname{tg} \alpha_2 \\ (t - t_i) \operatorname{tg} \alpha_2 \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Таким образом, при обработке торцового зубчатого контура по рассматриваемой схеме обработки обкат отсутствует, если каждый параметр пятого и шестого столбцов матрицы C меньше или равен соответствующему параметру в матрицах D и F . Применение матриц для анализа схемы формообразования позволяет выполнять его с применением вычислительной техники.

По рассчитанным значениям координат представляется возможным построить линию АВ (рис. 1, б) в координатах, по оси абсцисс которых откладывается значение y (пятый и шестой столбцы матрицы C), а по оси ординат глубина резания t (второй столбец матрицы C). Анализ полученных кривых позволяет визуально оценивать возникновение обката при обработке пазов с заданным поперечным профилем и параметрами настройки обрабатывающей системы.

Рассмотрим характер изменения кривых для четырех различных вариантов расположения режущих элементов:

1. По простой винтовой спирали:

$$k_i = b\beta_i, \quad (8)$$

где b -параметр, характеризующий винтовую линию.

2. По сложной траектории, определяемой геометрическими характеристиками торцового зубчатого контура:

$$k_i = L(\cos \lambda \operatorname{tg}(\lambda + \beta_i) - \sin \lambda). \quad (9)$$

3. На эксцентрично установленном секторном инструменте с нулевым углом наклона.

4. На эксцентрично установленном наклоненном секторном инструменте:

$$k_i = (R - R_i \cos \beta_i) \sin \rho, \quad (10)$$

где ρ – угол наклона секторного инструмента.

Результаты расчета указанных типов инструментов по системам уравнений (1), (2) с использованием зависимостей (8) – (10) приведены в виде графиков на рис. 3.

На графиках показаны кривые следов контакта центральной точки режущих элементов с наружным и внутренним диаметром детали по каждому инструменту. Сплошной линией отображен след контакта с наружным диаметром, а штрих пунктирной - с внутренним диаметром детали. В частности, кривые 1 и 1' относятся к инструменту с расположением режущих элементов по простой винтовой линии, 2 и 2' – по сложной траектории, определяемой геометрическими характеристиками торцового зубчатого контура и т.д.

Характер кривых существенно зависит от геометрических характеристик обрабатываемой детали. Расстояние между кривыми (например, 1 и 1') уменьшается при увеличении диаметра обрабатываемой детали, количества пазов и уменьшении ширины зубчатого венца, что позволяет обрабатывать пазы с более крутым углом подъема боковых стенок при отсутствии обката.

По результатам расчетов определена пространственная схема снятия припуска (рис. 4). С достаточной степенью точности можно считать прямолинейным движение режущих элементов в пределах зубчатого венца. Данное допущение применимо только к торцовым зубчатым контурам с шириной венца, много меньшим радиуса расположения режущих элементов на инструменте.

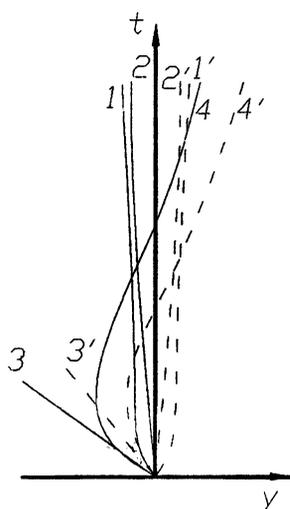


Рис. 3. Следы контакта центральной точки режущих элементов с наружным и внутренним диаметром детали

Схема отражает процесс формирования торцового зубчатого контура методом копирования и пути обеспечения формирования торцовых зубчатых контуров данным методом. К ним относятся:

- анализ пригодности торцового зубчатого контура для формирования его методом копирования;
- оптимизация геометрии инструмента (выбор закона расположения режущих элементов на инструменте, выбор оптимальных радиусов расположения режущих элементов, оптимизация профилей режущих элементов) и параметров настройки обрабатывающей системы, обеспечивающих формирование торцового зубчатого контура методом копирования.

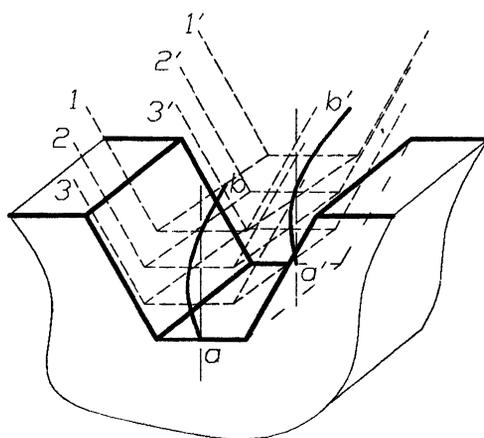


Рис. 4. Пространственная схема снятия припуска при обработке торцовых зубчатых контуров по схеме с непрерывным движением деления

При обработке торцовых зубчатых контуров по схеме, когда результирующая скорость (скорость резания) относительного движения инструмента и заготовки направлена к детали, необходимо использовать следующие системы уравнений:

$$\begin{cases} x = L \cos \alpha - R_i \sin(\alpha m + \beta_i) \cos(\alpha + \lambda) - k_i \sin(\alpha + \lambda), \\ y = L \sin \alpha - R_i \sin(\alpha m + \beta_i) \sin(\alpha + \lambda) + k_i \cos(\alpha + \lambda), \\ \left(\frac{D}{2}\right)^2 = x^2 + y^2, \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} x = L \cos \alpha - R_i \sin(\alpha m + \beta_i) \cos(\alpha + \lambda) - k_i \sin(\alpha + \lambda), \\ y = L \sin \alpha - R_i \sin(\alpha m + \beta_i) \sin(\alpha + \lambda) + k_i \cos(\alpha + \lambda), \\ \left(\frac{d}{2}\right)^2 = x^2 + y^2. \end{cases} \quad (12)$$

Анализ систем уравнений (11) и (12) показал, что характер кривых, описывающих след контакта режущих элементов с наружным и внутренним диаметрами детали, идентичен кривым, относящимся к ранее рассмотренной схеме.

Таким образом, установлено, что при обработке торцовых зубчатых контуров с непрерывными вращательными движениями инструмента и заготовки возможно профилирование пазов методом копирования, что существенно упрощает геометрию инструмента и технологию его заточки. Выявлены необходимые условия формообразования, при которых профилирование пазов осуществляется без обката.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов В.А., Данилова Л.А., Киселев Р.А. Анализ схем обработки поверхностей с периодически повторяющимся зубчатым профилем при непрерывном процессе деления // *Машиностроение: Сб. науч. тр. Вып.16; под ред. И.П. Филонова.* – Мн.: УП "Технопринт", – 2000. – С.109–114.
2. Данилов В.А., Киселев Р.А., Определение параметров схемы формообразования и геометрии червячного инструмента для непрерывной обработки плоского зубчатого контура // *Машиностроение.* – Мн., 2001. – Вып. 17. – С.205-209.
3. Ряховский О.А., Иванов С.С. *Справочник по муфтам.* – М.: Политехника, 1991. – 384 с.