

Синтез или выбор эффективных общих и кинематических схем обработки, на основе которых разрабатываются кинематическая структура и кинематика станка, – ответственный этап создания технологий формообразования поверхностей резанием. Решение этих задач относится к концептуальному проектированию станочного оборудования, определяющему его основные технико-экономические показатели – производительность, точность, универсальность и др., поэтому допущенные на этом этапе ошибки не могут быть компенсированы на последующих стадиях его конструирования, технологической подготовки и организации производства. В этой связи синтез рациональных схем формообразования имеет важное практическое значение для создания отечественного конкурентоспособного станочного оборудования.

В приведенной ниже статье эта задача рассмотрена применительно к актуальной проблеме повышения производительности и точности обработки зубчатых контуров на торцах кольцевых деталей в виде равномерно расположенных по окружности пазов и выступов типа кулачковых и храповых муфт, индукторов и т.п., которые широко применяются в трансмиссиях машин, станках, приборах и измерительных устройствах различного назначения.

УДК 621.91.04

СИНТЕЗ И РЕАЛИЗАЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ СХЕМ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТОРЦОВЫХ ЗУБЧАТЫХ КОНТУРОВ

*д-р техн. наук, проф. В.А. ДАНИЛОВ,
канд. техн. наук Р.А. КИСЕЛЕВ, О.В. ЯЛОВСКИЙ
(Полоцкий государственный университет)*

Обосновано построение универсальных схем формообразования торцовых зубчатых контуров, обеспечивающих расширение технологических возможностей базовой схемы обработки по числу обрабатываемых пазов, их ширине и форме боковых поверхностей. Проанализированы способы обеспечения обработки заданного числа пазов за счет управления отношением угловых скоростей инструмента и заготовки, а также вариант реализации метода дискретно-непрерывного деления, позволяющего одним инструментом обрабатывать торцовые зубчатые контуры с различным числом пазов при сохранении их геометрической формы. Описаны кинематические структуры станков, реализующих соответствующие схемы обработки. Показаны кинематический и геометрический методы управления шириной пазов и формой их боковых поверхностей за счет настройки параметров схем обработки, пути их реализации.

Постановка задачи. Кинематическое формирование торцового зубчатого контура (ТЗК) как множества равномерно расположенных по окружности пазов обеспечивается двухэлементарным исполнительным движением, образованным двумя согласованными вращательными движениями производящего контура вокруг параллельных осей.

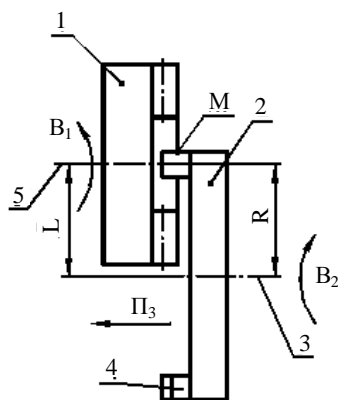


Рис. 1. Базовая схема обработки ТЗК резцовой головкой

Реализация данной принципиальной схемы формообразования возможна тремя практическими схемами обработки, различающимися распределением вращательных движений между инструментом и заготовкой: оба движения сообщаются или инструменту, или заготовке; или одно вращательное движение сообщается инструменту, а второе – заготовке. Более универсальным и простым в реализации является третий вариант распределения движений между инструментом и заготовкой, который положен в основу рассматриваемых в статье схем обработки. Режущим инструментом является резцовая головка с расположенными на торце режущими зубьями при сообщении ей вращательного движения вокруг оси, параллельной оси вращения заготовки (рис. 1). При обработке ТЗК по этой схеме инструменту 2 и заготовке 1 сообщаются вращательные движения соответственно B_2 и B_1 вокруг их параллельных осей 3 и 5, а инструменту – движение врезания P_3 вдоль оси вращения заготовки. Расстояние L между этими осями равно радиусу R резцовой головки.

В относительном движении траектория точки, совершающей два вращательных движения, представляет собой циклоидальную кривую, описываемую системой уравнений:

$$\begin{cases} x = L \cos \alpha - R \cos(\alpha(N-1)); \\ y = L \sin \alpha + R \sin(\alpha(N-1)), \end{cases} \quad (1)$$

где x, y – текущие координаты траектории, формируемой производящими элементами резцовой головки в прямоугольной системе координат с центром на оси вращения заготовки; L – расстояние между осями резцовой головки и заготовки; R – радиус резцовой головки; α – текущее значение угла поворота заготовки; N – отношение частот вращательных движений резцовой головки и заготовки.

Данная схема реализуется, например, на широкоуниверсальном зубошлицефрезерном станке модели ВС-50 производства Витебского станкостроительного завода «Вистан» с помощью специального обрабатывающего модуля.

Форма обработанных пазов зависит от отношения угловых скоростей движений B_1 и B_2 и расстояния L . В частности, при $N = 2$, $L = R$ и одинаково направленных вращательных движениях инструмента и заготовки формообразующая точка перемещается по эллипсу, проходящему через ось вращения заготовки. С увеличением R траектория формообразующей точки приближается к прямой, что обеспечивает возможность обработки с допусковой погрешностью прямолинейных пазов. Так как отношение частот вращательных движений инструмента и заготовки равно двум, то в этом случае число пазов в 2 раза больше числа резцов в головке, поэтому возможна обработка ТЗК только с четным числом прямолинейных пазов. Недостатками данной схемы являются также ограниченные возможности по ширине пазов и форме боковых поверхностей. Практическое значение имеет устранение отмеченных недостатков, что является предметом анализа в статье.

Обеспечение заданного числа пазов. Анализ схемы обработки показал [1], что число M ветвей образуемой гипоциклоиды зависит от отношения N частот вращения заготовки и инструмента, а также от количества режущих зубьев z резцовой головки:

$$M = zNc, \quad (2)$$

где c – коэффициент кратности (целое число, определяющее последовательность обработки пазов).

Пазы могут обрабатываться не только последовательно в порядке расположения по окружности, но и с пропуском определенного числа пазов k . В этом случае числа c и k связаны между собой зависимостью:

$$c = k + 1. \quad (3)$$

Из (2) и (3) следует искомая зависимость, определяющая условия формирования заданного количества пазов ТЗК и необходимая для настройки станка на требуемое число ветвей гипоциклоиды,

$$M = zN(k+1). \quad (4)$$

Для формирования пазов необходимо удалить материал из областей заготовки, которые лежат внутри ветвей траектории исполнительного движения (внутренняя выборка материала), или из областей, расположенных вне ветвей (внешняя выборка материала). Вид выборки материала зависит от требуемой формы паза (выпуклая, вогнутая). Таким образом, для обработки ТЗК с определенным числом пазов отношение частот вращательных движений инструмента и заготовки, а также число режущих зубьев должны удовлетворять условию (4), при этом схема удаления припуска определяется в зависимости от формы их боковых поверхностей.

Для заданного значения N с увеличением числа пазов пропорционально возрастает число резцов в головке, что усложняет ее конструкцию и заточку, а в ряде случаев, учитывая ограниченный диаметр резцовой головки, исключает возможность обработки ТЗК с заданным числом пазов. Данное обстоятельство в большей степени проявляется, когда паз обрабатывают не одним, а группой резцов, что имеет место для широких пазов. В этой связи заслуживает внимания схема обработки с дискретно-непрерывным движением деления [2], при которой заданное множество пазов создается как объединение нескольких групп пазов (рис. 2). Пазы каждой группы обрабатываются по схеме с непрерывным движением деления всеми резцами головки, а для перехода к обработке пазов следующей группы траекторию движения формообразования переносят в новое геометрическое положение, для чего заготовке или инструмен-

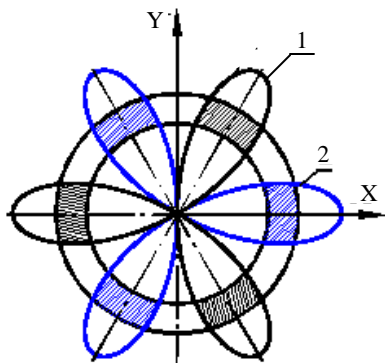


Рис. 2. Схема формирования траектории исполнительного движения при дискретно-непрерывном движении деления:
1 – первоначальная траектория;
2 – смещенная траектория

ту сообщается поворот на определенный угол вокруг своей оси (дискретное движение деления). При такой схеме обработки упрощается конструкция резцовой головки и повышается ее универсальность, так как одним инструментом можно обрабатывать ТЗК с различным числом пазов. Общее число обработанных пазов в этом случае $m = n N_{zp}$, где n – число групп резцов, N_{zp} – число пазов, обрабатываемых одной группой резцов.

Рассмотрим применение непрерывного и дискретно-непрерывного деления на примере обработки ТЗК с шестью пазами (см. рис. 2) с вогнутыми боковыми сторонами ($N = 3$). Расстояние между осями заготовки и резцовой головки равно радиусу последней: $L = R$.

При обработке по схеме с непрерывным делением резцовая головка должна иметь 2 группы резцов ($n = 2$), в частном случае 2 резца. Каждая из групп резцов обеспечивает обработку трех пазов ($N_{гп} = 3$) – заштрихованные участки (см. рис. 2), ограниченные траекторией 1. Таким образом, первая группа резцов формирует пазы, перемещаясь по траектории 1, а вторая – по траектории 2. При обработке пазов по схеме с дискретно-непрерывным делением головка имеет одну группу резцов (или один резец), перемещающихся, например, по траектории 1, которыми обрабатываются 3 паза.

По окончании их обработки за счет дополнительного дискретного движения деления (поворота заготовки или инструмента) траектория движения резцов смещается в новое геометрическое положение (с траектории 1 на траекторию 2) и обрабатываются следующие 3 таких же паза. Таким образом, все пазы обрабатываются одной группой резцов (одним резцом). Благодаря этому количество резцов в головке уменьшается в два раза и, следовательно, упрощается ее конструкция.

В общем случае дискретное движение деления выполняется целое число раз, равное отношению общего числа пазов ТЗК и числа пазов, обрабатываемых при непрерывном движении деления. После выполнения последнего движения деления режущие кромки возвращаются на начальную траекторию, что соответствует окончанию цикла обработки ТЗК. При выполнении дискретного движения деления должна быть исключена возможность контакта резцов с заготовкой, что обеспечивается в цикле обработки вспомогательными движениями отвода и подвода резцовой головки к заготовке.

При $N > 1$ дискретное движение деления следует выполнять за счет поворота заготовки, что обеспечивает уменьшение инерционных нагрузок в механизме деления.

Кинематическая структура станка, работающего по методу непрерывно-дискретного деления должна содержать простую кинематическую группу движения деления, последовательно соединенную со сложной кинематической группой движения формообразования боковых сторон пазов. Этому условию отвечает, в частности, кинематическая структура специального станка (рис. 3) [2].

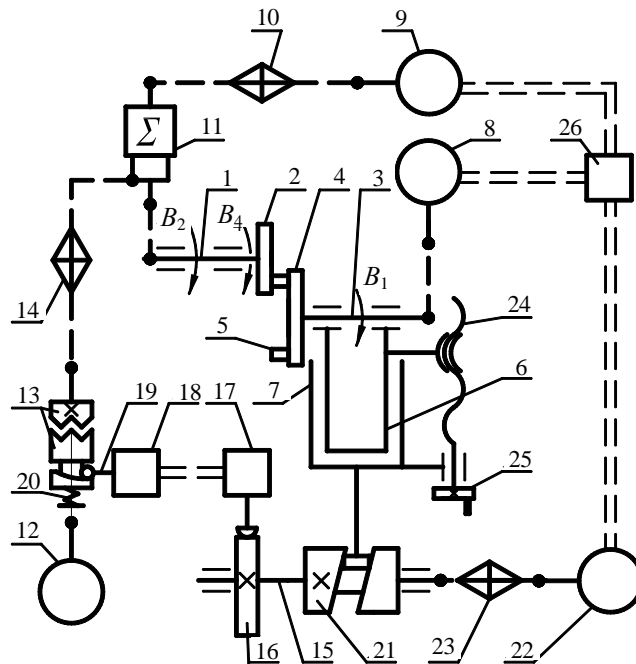


Рис. 3. Кинематическая структура станка для обработки пазов по методу дискретно-непрерывного деления

Станок содержит шпиндель 1, несущий заготовку 2, инструментальный шпиндель 3 с резцовой головкой 4, снабженной равномерно расположенными по окружности резцами 5 (или одним резцом). Шпин-

дель 3 установлен на поперечном суппорте 6, который смонтирован на каретке 7 с возможностью перемещения перпендикулярно оси вращения шпинделя 1, а каретка – на станине станка с возможностью перемещения вдоль оси вращения шпинделя 1. Привод вращения шпинделя 3 выполнен в виде кинематически связанного с ним регулируемого синхронного электродвигателя 8. Привод вращения шпинделя 1 оснащен аналогичным электродвигателем 9, который соединен с этим шпинделем кинематической цепью, содержащей орган настройки 10 числа нарезаемых на заготовке 2 зубьев и суммирующим механизмом 11. Последний служит для подключения к данной кинематической цепи привода периодического поворота заготовки на определенный угол. Этот привод содержит двигатель 12, однооборотную муфту 13 и орган настройки 14 угла периодического поворота заготовки. Для включения однооборотной муфты 13 служат установленный на валу 15 кулачок 16, взаимодействующий с ним преобразователь 17 типа перемещение – электрический сигнал и электрически связанный с ним преобразователь 18 типа электрический сигнал – перемещение. Преобразователь 18 снабжен штоком 19, посредством которого осуществляется включение и выключение однооборотной муфты 13: при отводе штока 19 подвижная часть муфты под действием пружины 20 входит в зацепление с неподвижной частью муфты, а расцепление муфты происходит автоматически через один ее оборот в результате взаимодействия штока 19 с выполненным на муфте торцовым кулачком. На валу 15 неподвижно установлен кулачок 21 для сообщения каретке 7 перемещения вдоль оси вращения шпинделя 1. Вал 15 приводится во вращение синхронным электродвигателем 22 через орган настройки 23. Для перемещения поперечного суппорта 6 перпендикулярно оси вращения шпинделя 1 служит ходовой винт 24 с рукояткой 25. Синхронные электродвигатели 8, 9 и 22 подключены к общему источнику питания (преобразователю частоты) 26, благодаря чему при работе станка они вращаются с одинаковыми частотами.

Перед обработкой на шпинделе 1 устанавливается заготовка 2, а на инструментальном шпинделе 3 – резцовая головка 4. С помощью рукоятки 25 и ходового винта 24 резцовая головка и заготовка устанавливаются относительно друг друга в положение, необходимое для обработки пазов.

Орган настройки 10 настраивается на получение требуемого для обработки пазов отношения частот вращения шпинделей 3 и 1. Орган настройки 14 настраивается на сообщение шпинделю 1 поворота на определенный угол (дискретное движение деления). Передаточное отношение органа настройки 23 настраивается так, чтобы между последовательно выполняемыми дискретными движениями деления вал 15 совершал один оборот.

Станок работает следующим образом. Инструментальный шпиндель 3, несущий резцовую головку 4, получает вращение B_1 от двигателя 8 с угловой скоростью, настраиваемой преобразователем частоты 26. Одновременно шпиндель 1 с заготовкой 2 получает непрерывное вращение B_2 с угловой скоростью, меньшей угловой скорости инструментального шпинделя 3 в соответствии с передаточным отношением органа настройки 10. В результате согласованных вращательных движений резцовой головки и заготовки на ее торце обрабатываются равномерно расположенные по окружности пазы, форма боковых поверхностей которых в продольном направлении зависит от отношения угловых скоростей резцовой головки и заготовки. Например, если это отношение равно 1, то пазы очерчены по окружности, если оно равно 2, то по эллипсу и т.д.

Для обработки пазов по глубине каретка 7 получает посредством кулачка 21 поступательное перемещение P_3 со скоростью, определяемой этим кулачком. Этим же кулачком осуществляется возврат каретки в исходное положение после обработки пазов на полную глубину.

Число m обрабатываемых пазов зависит от числа z резцов в головке и отношения N угловых скоростей резцовой головки и заготовки: $m = z \cdot N$. Например, при $N = 5/3$ для обработки 5 пазов на торце заготовки резцовая головка 4 должна иметь 3 равномерно расположенных по окружности резца 5.

Заданное число пазов на станке формируется как объединение нескольких групп пазов. Паза первой группы обрабатываются, как описано выше, а для перехода к обработке пазов второй и последующих групп пазов заготовке сообщается поворот на определенный угол вокруг своей оси (дискретное движение деления). Для этого после обработки пазов первой группы по команде от кулачка 16 посредством преобразователей 17 и 18 шток 19 выходит из контакта с подвижной частью однооборотной муфты 13, и она под действием пружины 20 входит в зацепление с неподвижной частью муфты.

Муфта после совершения одного оборота автоматически отключается. В результате движение от двигателя 12 через орган настройки 14 и дифференциал 11 передается шпинделю 1, который за время совершения муфтой 13 одного оборота получает поворот на угол, настроенный органом 14. Затем повторяется цикл работы станка, в течение которого по методу непрерывного деления обрабатывается вторая группа пазов, равномерно расположенных по окружности между пазами первой группы.

В общем случае дискретный поворот шпинделя 1 выполняется число раз, равное отношению общего числа пазов ТЗК и числа пазов, обрабатываемых при непрерывном движении деления. Благодаря этому на станке можно обрабатывать ТЗК с любым числом пазов, что обеспечивает его широкие технологические возможности. При этом одной резцовой головкой можно обрабатывать детали с различным числом пазов, что повышает универсальность инструмента.

Технологические возможности базовой схемы (см. рис. 1) по числу обрабатываемых пазов значительно расширяются, если изменять по определенному закону передаточное отношение частот вращательных движений инструмента и заготовки [3]. Например, для обработки зубчатых контуров с нечетным числом прямолинейных пазов угловые скорости движений B_1 и B_2 задают такими, чтобы в течение одного оборота инструмента их отношение N принимало в зоне обработки значение, равное двум (для формирования прямолинейного паза), а на остальном участке компенсировало вызванную несогласованность вращательных движений, нарушающую условие непрерывного деления. В этом случае можно обрабатывать ТЗК как с четным, так и не четным числом пазов.

Кинематическая структура станка, реализующего такую схему обработки, приведена на рисунке 4.

Станок содержит привод вращения инструмента 1, состоящий из двигателя 4 и органа настройки 5 скорости резания, шпиндели 6 и 7 соответственно инструмента 1 и заготовки 3, дополнительную кинематическую цепь с механизмом 8 автоматического изменения угловой скорости вращения заготовки и органом настройки 9, кинематическую цепь деления с суммирующим механизмом 10 и органом настройки 11. Для осуществления поступательного перемещения инструмента вдоль оси заготовки служит привод подачи, содержащий двигатель 12, орган настройки 13 и тяговое устройство 14.

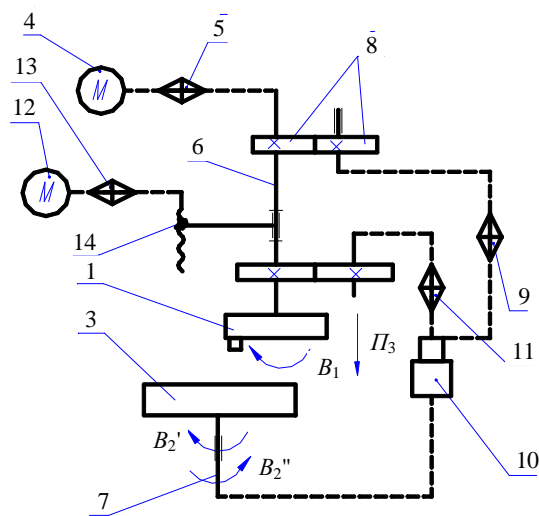


Рис. 4. Кинематическая структура станка для обработки ТЗК с переменным отношением угловых скоростей инструмента и заготовки

Обеспечение ширины пазов. В схеме обработки по рисунку 1 профиль паза образуется методом копирования, поэтому его ширина равна длине проекции режущей кромки резца на плоскость, перпендикулярную оси паза (траектории исполнительного движения). Это ограничивает технологические возможности схемы по ширине пазов, так как с увеличением последней соответственно возрастает сила резания, что снижает виброустойчивость обрабатываемой системы. В этой связи данная схема предпочтительна при обработке относительно узких пазов. Для исключения влияния ширины обрабатываемых пазов на виброустойчивость станка и для повышения универсальности режущего инструмента целесообразно формировать паз по ширине не одновременно, а последовательно, т.е. не методом копирования, а методом следа или комбинированным методом, представляющим сочетание методов копирования и следа. На этом принципе основана схема обработки пазов на торцах деталей [4], которая отличается от базовой тем, что требуемую ширину пазов обеспечивают кинематически, сообщая заготовке дополнительное вращение B_4 для профилирования пазов по ширине (рис. 5). В данном случае процесс обработки состоит из последовательно выполняемых этапов врезания и профилирования. На этапе врезания детали сообщают вращение B_1 с частотой n_1 , а резцовой головке – вращение B_2 с частотой n_2 в том же направлении, что и вращение B_1 . При этом $n_2/n_1 = 2$. Одновременно с движениями B_1 и B_2 резцовой головке сообщается также движение врезания P_3 вдоль оси 3. Скорость перемещения режущих зубьев относительно заготовки на этапе врезания (скорость резания) равна алгебраической сумме проекций V_1' и V_2' соответственно скоростей V_1 и V_2 на ось Y (рис. 5, ε). При переходе к этапу профилирования изменяется отношение частот вращательных движений заготовки и резцовой головки, имевшее место на этапе врезания. Тем самым создается движение профилирования – относительное перемещение режущих зубьев резцовой головки вдоль контура заготовки.

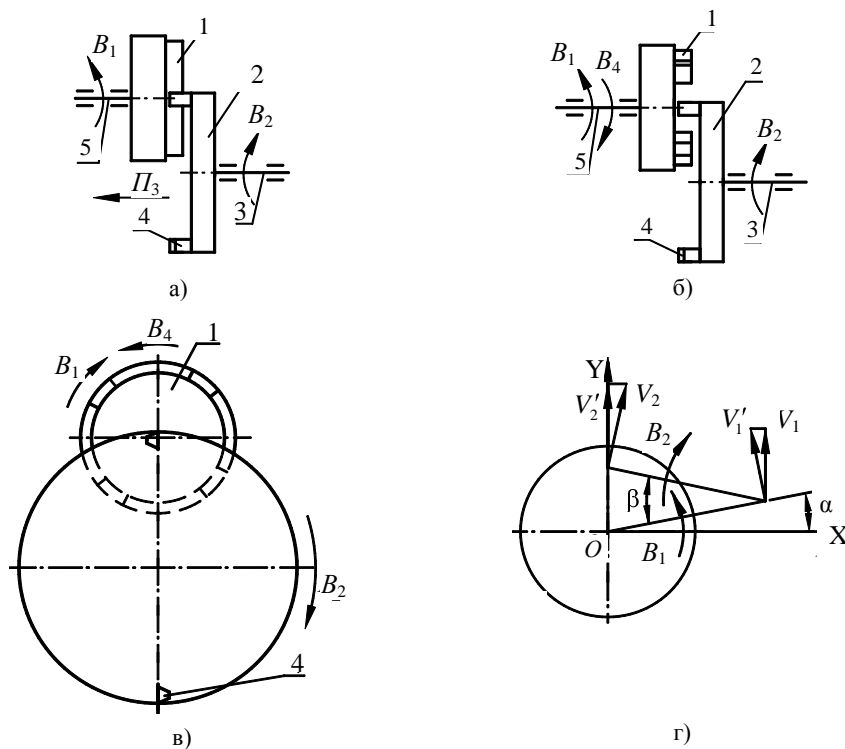


Рис. 5. Схема обработки с управляемой шириной пазов:

а, б – кинематические схемы обработки соответственно на этапе врезания, профилирования;
в – относительное расположение инструмента и заготовки; г – кинематика относительного движения

Отношение частот вращательных движений заготовки и резцовой головки задают в зависимости от скорости и направления движения профилирования по формуле:

$$\frac{n_1}{n_2} = 0,5 \pm \frac{S}{\pi d n_2}, \quad (5)$$

где S – скорость движения профилирования; d – диаметр заготовки; знак «плюс» соответствует одинаково направленным вращению заготовки и движению профилирования, «минус» – противоположно направленным этим движениям.

Для обеспечения соотношения (5) частоту вращения заготовки изменяют по сравнению с этапом врезания на величину $\Delta n_1 = \frac{S}{\pi d}$ или частоту вращения резцовой головки на $\Delta n_2 = \frac{2S}{\pi d}$. Практически это обеспечивается, например, при сообщении дополнительного вращения B_4 заготовке или резцовой головке соответственно с частотой Δn_1 или Δn_2 . Поэтому в первом случае частоту вращения заготовки n_1 на этапе профилирования задают по формуле:

$$n_1 = 0,5 n_2 \pm \frac{S}{\pi d}, \quad (6)$$

а во втором – изменяют частоту вращения резцовой головки

$$n_2 = 2 n_1 \pm \frac{2S}{\pi d}. \quad (7)$$

В обоих случаях скорость движения профилирования $S = S_z z n_2$, где S_z – подача на зуб резцовой головки за один ее оборот.

Благодаря тому, что после выполнения этапа врезания изменяют соотношение частот вращательных движений резцовой головки и заготовки, обеспечивается возможность обрабатывать пазы, ширина которых не зависит от длины режущей кромки зуба инструмента, а определяется временем этапа профилирования. Поэтому данная схема позволяет обрабатывать более широкий диапазон деталей и обеспечивает универсальность инструмента. Последовательное формирование обрабатываемых пазов по ширине

может быть обеспечено не только кинематически за счет введения дополнительного вращения, но и конструктивно при переносе функции кинематики профилирования на режущий инструмент за счет построения его по определенному методу секционирования [5].

Управление формой пазов. Как следует из (1), форма кривой, определяющей форму обработанных пазов по длине, при фиксированном значении N зависит от параметров L и R . Изменением этих параметров обеспечивается управление формой боковых поверхностей пазов. Задавая, например, расстояние L между осями инструмента и заготовки не равным радиусу резцовой головки R (рис. 6, а), можно управлять траекторией исполнительного движения и, следовательно, геометрией обрабатываемых боковых поверхностей пазов. На этом основана, в частности, схема, обеспечивающая обработку как четного, так и нечетного числа пазов ТЗК с выпуклыми и вогнутыми боковыми поверхностями [6], в том числе и пазы со сходящимися к центру боковыми сторонами.

Рассмотрим перемещения инструмента и заготовки в системе координат XOY с началом на оси заготовки. В процессе обработки заготовке 1 и режущему инструменту 2 сообщают согласованные вращательные движения соответственно B_1 и B_2 . Для обработки как четного, так и не четного числа пазов m отношение N угловых скоростей движений B_2 и B_1 задается пропорциональным этому числу

$$N = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{m}{k}, \quad (8)$$

где ω_1 – угловая скорость заготовки; ω_2 – угловая скорость режущего инструмента; k – целое число, меньшее m .

Для формирования паза по глубине режущему инструменту сообщают прямолинейное перемещение (движение врезания) вдоль оси вращения заготовки. При условной (на основании принципа обратимости движения) остановке заготовки путем сообщения ей вращения с той же угловой скоростью в противоположном направлении режущий инструмент получает дополнительное вращение B_1 относительно оси заготовки в направлении, противоположном ее вращению на станке. В результате ось режущего инструмента движется по окружности радиуса L (расстояние OA между осями вращательных движений режущего инструмента и заготовки).

Пусть в начальный момент расстояние от точки B до оси заготовки минимально и равно $L - R$, где R – минимальный радиус режущего инструмента. Для анализа относительных перемещений режущего инструмента и заготовки введем параметр α – угол поворота заготовки, начальное значение $\alpha = 0$. Так как вращение режущего инструмента и заготовки согласованы через параметр N , то любому изменению угла α будет соответствовать изменение угла между отрезками OA и AB на величину $N\alpha$ (рис. 6, б).

Уравнение касательной к траектории режущего элемента в относительном движении имеет вид:

$$\frac{x}{L \cos \alpha - R \cos (N-1) \alpha} = \frac{y}{-L \sin \alpha - R \sin (N-1) \alpha}. \quad (9)$$

Множество точек заготовки, принадлежащей ее среднему радиусу R_0 , представляет окружность:

$$x^2 + y^2 = R_0^2. \quad (10)$$

На основании (8) – (10)

$$\begin{cases} R_0^2 = L^2 + 2LR \cos N\alpha + R^2 \\ \frac{L \sin \alpha - R \sin (N-1) \alpha}{L \cos \alpha - R \cos (N-1) \alpha} = \frac{L \cos \alpha + R \cos (N-1) \alpha}{-L \sin \alpha - R \sin (N-1) \alpha}, \end{cases} \quad (11)$$

откуда

$$\cos N\alpha = \frac{L^2 - (N-1) R^2}{-RL + RL(N-1)}. \quad (12)$$

$$R_0^2 = L^2 + R^2 + 2LR \frac{L^2 - (N-1) R^2}{LR(N-1)},$$

$$L = \sqrt{R^2 + R_0^2 \frac{N-2}{N}}. \quad (13)$$

Аналогично, если вращательные движения инструмента и заготовки осуществляются навстречу друг другу, то

$$L = \sqrt{R^2 + R_0^2 \frac{N+2}{N}}. \quad (14)$$

Таким образом, при обработке сходящихся пазов расстояние между осями вращательных движений

$$L = \sqrt{R^2 + R_0^2 \frac{N \pm 2}{N}}. \quad (15)$$

Знак «минус» в формуле (15) соответствует одинаково направленным, а «плюс» – противоположно направленным вращательным движениям режущего инструмента и заготовки.

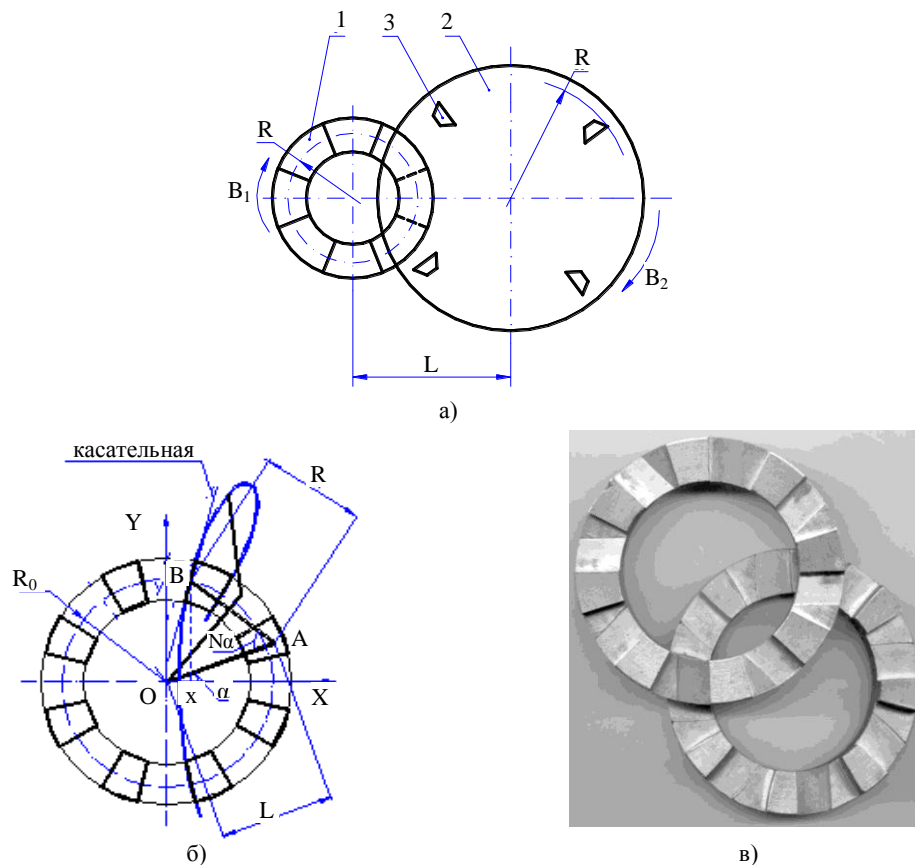


Рис. 6. Схема обработки (а), графическая модель формообразования (б) и образцы обработанных деталей (в) с ТЗК

Радиус режущего инструмента настраивается в зависимости от формы пазов. Например, если ширина паза равна ширине зуба на среднем радиусе R_0 , то минимальный радиус режущего инструмента при обработке по схеме с одинаково направленными вращательными движениями определяется из системы уравнений

$$\begin{cases} R = \frac{R_0 - \frac{N-2}{N} R_0}{-2 \cos N\alpha + \lambda - \alpha}; \\ \alpha = \left(\frac{\arccos R_0^2 \left(1 - \frac{N-2}{N} \right) - 2R^2}{-2R \sqrt{R^2 + \frac{N-2}{N} R_0^2}} \right) / N; \\ \lambda = \frac{3\pi}{2N}. \end{cases} \quad (16)$$

Следует отметить, что рассмотренная схема при соответствующей настройке ее параметров позволяет обрабатывать одним инструментом пазы с выпуклыми и вогнутыми поверхностями. Например, на рисунке 6, в показаны обработанные на станке модели ВС-50 кулачковые полумуфты, сопряженные поверхности зубьев которых имеют кривизну противоположных знаков, что обеспечивает лучшие условия их контакта и более высокую долговечность по сравнению с прямолинейными зубьями.

Заключение. Расширение технологических возможностей схемы формирования ТЗК двухэлементарным исполнительным движением возможно по числу и геометрическим параметрам пазов. Увеличение числа пазов заданной формы и размеров достигается применением метода дискретно-непрерывного деления и управлением отношением угловых скоростей инструмента и заготовки в цикле обработки. Обработка широких пазов без снижения виброустойчивости станка возможна при последовательном выполнении движений врезания и профилирования, что реализуется соответствующим регулированием угловой скорости инструмента или заготовки. Настройкой расстояния между осями их вращения и радиуса инструмента обеспечивается широкая универсальность схемы обработки по форме боковых поверхностей зубьев ТЗК, включая формирование сопряженных их рабочих поверхностей с противоположной по знаку кривизной, что важно для повышения долговечности деталей с ТЗК типа кулачковых муфт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов, В.А. Анализ условий формирования пазов на торцах деталей методом кинематического профилирования / В.А. Данилов, О.В. Яловский // Теория и практика машиностроения: междунар. науч.-техн. журнал. – 2004. – № 2. – С. 14 – 16.
2. Станок для обработки пазов на торцах деталей: пат. 6350 Респ. Беларусь, МПК⁷ В23С3/00 / В.А. Данилов, О.В. Яловский; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № u20091006; заявл. 2009.11.30; опубл. 2010.06.30.
3. Способ обработки пазов на торцах деталей и станок для его осуществления: пат. 6165 Респ. Беларусь, МПК⁷ В23С3/28 / В.А. Данилов, Р.А. Киселев; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № a19990206; заявл. 1999.03.02; опубл. 2004.06.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004.
4. Способ обработки пазов на торцах деталей: а. с. 1798053 СССР, МКИ⁵ В23С3/00 / В.А. Данилов, Л.А. Данилова; Полоц. гос. ун-т; опубл. // Открытия. Изобрет. – 1993. – № 8.
5. Данилов, В.А. Управление формообразованием торцовых зубчатых контуров геометрическим методом / В.А. Данилов, О.В. Яловский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2009. – № 2. – С. 99 – 106.
6. Способ формирования пазов на торце детали: пат. 5707 Респ. Беларусь, МПК⁷ В23С3/28 / В.А. Данилов, Р.А. Киселев. – № a 2000051; заявл. 1998.07.10; опубл. 2003.03.30 // Бюл. Изобрет. – 2003. – № 4. – С. 125.

Поступила 12.01.2011

SYNTHESIS AND ACHIEVEMENT OF UNIVERSAL SCHEMES SHAPING THE CONTOURS OF FACE GEAR

V. DANILOV, R. KISELEV, O. YALOVSKI

Justified the construction of universal schemes shaping the contours of face gear, ensure the expansion of technological capabilities of the basic scheme of treatment on the number of processed grooves, their width and shape of the lateral surfaces. The different methods of forming a specified number of slots due to management attitude angular velocities of the tool and workpiece, as well as the implementation of the discrete continuous division, allowing one tool to handle Mechanical jagged contours with different numbers of slots and the shape of their lateral surfaces by adjusting the parameters of processing schemes. Describes the kinematic structure of the machines that implement the appropriate processing circuitry.