

УДК 621.91.04

**ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
ТОРЦОВЫХ ЗУБЧАТЫХ КОНТУРОВ****д-р техн. наук, проф. В.А. ДАНИЛОВ, Р.А. КИСЕЛЕВ, О.В. ЯЛОВСКИЙ**
(Полоцкий государственный университет)

Исследуется проблема создания прогрессивного станочного оборудования и специальных режущих инструментов для обработки торцовых зубчатых контуров у деталей машин типа кулачковых и храповых муфт, индукторов измерительных систем и т.п. Рассмотрены технологии формообразования торцовых зубчатых контуров, основанные на прогрессивных схемах их обработки резцовыми головками и секторными инструментами при непрерывном движении деления, обеспечивающие интенсификацию процессов обработки. Показаны пути реализации рассмотренных схем обработки за счет расширения технологических возможностей станков иного назначения, создания специальных станков и соответствующего инструментального оснащения. Обосновано построение кинематических структур станков этих типов при обработке торцовых зубчатых контуров по различным схемам формообразования. Описаны конструкции созданных режущих инструментов для обработки таких контуров на универсальных и специальных станках. Приведены данные об эффективности созданных технологий их формообразования.

Введение. В трансмиссиях машин, станках, приборах и измерительных устройствах различного назначения широко применяются изделия с зубчатым контуром на торцах типа кулачковых и храповых муфт, индукторов и роторов с пазами и т.п. [1]. Применяемые технологии, основанные обычно на последовательной обработке пазов торцовых зубчатых контуров (ТЗК), имеют относительно низкую производительность и точность из-за дискретного процесса деления – периодического поворота заготовки на угол между пазами. Эти недостатки в большей мере проявляются с увеличением числа пазов и, соответственно, циклов обработки. Поэтому актуальной задачей является интенсификация процессов обработки ТЗК, в частности, за счет разработки рациональных способов формообразования, создания реализующих их станочного оборудования и инструментов. Торцовые зубчатые контуры различаются геометрией и требованиями к точности и относительному расположению пазов [1], что обуславливает многообразие возможных схем обработки и средств их реализации – основных компонентов технологий формообразования. Важным этапом проектирования технологий формообразования поверхностей резанием является разработка или выбор эффективных общих и кинематических схем обработки [2], поскольку эти задачи относятся к концептуальному проектированию обрабатываемых систем станочного оборудования, определяющему его основные технико-экономические показатели. Методические аспекты решения этих задач применительно к механической обработке ТЗК проанализированы авторами в [3 – 5]. Здесь рассматриваются вопросы, связанные с реализацией технологий формообразования ТЗК.

Направления интенсификации технологий формообразования торцовых зубчатых контуров. Формообразование зубчатых контуров на торцах кольцевых деталей в виде равномерно расположенных по окружности пазов и выступов возможно множеством методов, что обуславливает необходимость их синтеза, анализа и выбора рациональных применительно к конкретным условиям. Заслуживает внимания подход к решению этой задачи на основе структурного анализа способа обработки [2].

Способы обработки ТЗК различаются, прежде всего, схемой срезания припуска и типом инструмента, определяющими метод (вид) обработки (первый компонент способа). Любую поверхность можно обработать одним методом, но разными комбинациями движений, сообщаемых инструменту и заготовке, при различных направлениях и траекториях исполнительных движений. Так, обработка ТЗК резцовой головкой возможна при сообщении ей и заготовке вращательных движений вокруг параллельных и скрещивающихся осей. Поэтому способы обработки ТЗК различаются также схемами формообразования (второй компонент способа обработки).

Схема формообразования поверхности и метод обработки реализуются формообразующей системой – совокупностью технических средств, составляющих её базисную, инструментальную, кинематическую, транспортную (манипуляционную), энергетическую, управляющую, контрольно-измерительную и другие подсистемы (третий компонент способа обработки).

При таком представлении способ обработки может рассматриваться как технология формообразования, под которой понимается совокупность метода обработки и реализующего его оборудования.

Анализ способов обработки ТЗК [5 – 8] показывает, что возможные схемы их формообразования различаются:

- взаимным расположением инструмента и заготовки, формой траектории и направлением их относительного перемещения;
- формой характеристического образа инструмента, числом режущих элементов и их относительным расположением;

- характером обработки пазов (дискретная или непрерывная, многоцикловая или одноцикловая), общими схемами обработки;
- кинематикой формообразования – сочетанием и соотношением скоростей и направлений элементарных движений, сообщаемых инструменту относительно заготовки;
- возможностью управления процессом формообразования.

Схема формообразования ТЗК определяется пространственными и временными характеристиками методов генерации производящих линий пазов. К пространственным характеристикам относится, в частности, форма производящих линий (профиль пазов и их форма по длине), к временным – закон возникновения их во времени в смысле непрерывности. Кинематика формообразования и кинематика резания является основой кинематической схемы обработки – совокупности абсолютных элементарных движений, сообщаемых инструменту и заготовке в процессе обработки, включая делительное и установочные движения.

Структура способа обработки обуславливает необходимость комплексного подхода к проблеме интенсификации технологий обработки ТЗК путем оптимизации как процессов формообразования и резания, так и средств их реализации. Поэтому общими путями интенсификации технологий формообразования ТЗК на стадии функционального проектирования станков для их обработки являются:

- задание рационального распределения функции формообразования между инструментальной и кинематической подсистемами станка;
- синтез рациональной схемы формообразования поверхности;
- разработка или выбор эффективного метода обработки и реализующего его режущего инструмента;
- оптимизация структуры формообразующих компонентов обрабатываемой системы [3].

Основная функция формообразования – образование заданной поверхности, которая может быть обеспечена или только кинематикой станка, или совместно кинематикой станка и инструментом, или только инструментом. При выборе конкретного варианта следует учитывать, что при перенесении функции формообразования на инструмент упрощается кинематика станка, однако усложняется форма производящих элементов инструмента и снижается его универсальность.

Важность синтеза рациональной кинематики формообразования обусловлена тем, что она как основа кинематической схемы обработки в значительной степени влияет на сложность кинематики, производительность и универсальность станка. К основным принципам синтеза кинематики формообразования ТЗК относятся:

- рациональное распределение функции кинематики формообразования между инструментом и станком;
- синтез структуры исполнительных движений, обеспечивающих благоприятные условия резания и работы механизмов станка за счет исключения возвратно-поступательных движений исполнительных органов, замены их вращательными;
- совмещение исполнительных движений для упрощения кинематической схемы обработки и повышения производительности;
- введение движений для управления точностью формообразования, схемой или условиями резания.

Изложенные принципы построения схем формообразования положены в основу прогрессивных способов обработки ТЗК резцовыми головками [пат. Респ. Беларусь, № 5707, 6063, 6165], инструментами червячного [пат. Респ. Беларусь, № 7846] и секторного [пат. Респ. Беларусь, № 7041, 9765, 1550] типов. Некоторые из этих схем с описанием основных параметров процесса формообразования представлены в таблицах 1 и 2.

Существенным преимуществом методов обработки ТЗК червячными инструментами является высокая производительность, благодаря непрерывности процесса обработки и возможности реализации процесса кругового протягивания. Такой же эффект достигается и при обработке более простым по конструкции и в реализации секторным наклонным инструментом, который можно рассматривать как разновидность инструментов червячного типа. Математическое и компьютерное моделирование процессов формообразования ТЗК различными инструментами позволило оптимизировать параметры схем обработки ТЗК при непрерывном движении деления [9, 10].

Реализация рассмотренных схем обработки связана с необходимостью в соответствующих станках и режущих инструментах.

Станочное оборудование для обработки торцовых зубчатых контуров. Для обработки ТЗК в условиях серийного производства могут применяться как модернизированные станки иного технологического назначения, так и специальное станочное оборудование. На оборудовании обоих типов при соответствующем инструментальном оснащении реализуются приведенные прогрессивные схемы обработки ТЗК.

Задача оснащения производства станками для обработки ТЗК в зависимости от конкретных условий может решаться по следующим направлениям:

- проектирование специального оборудования с соответствующим инструментальным оснащением;
- расширение технологических возможностей близких по кинематической структуре универсальных станков за счет обеспечения необходимых параметров настройки и оснащения их сменными обрабатываемыми модулями или инструментами;
- создание специальных станков на базе универсальных.

Таблица 1

Схемы обработки ТЗК резцовыми головками

| № схем | Схемы обработки ТЗК | Параметры процесса формообразования |
|--------|---------------------|--|
| 1 | | <p>Уравнение траектории исполнительного движения:</p> $\begin{cases} x = L \cos \alpha + R \sin(\alpha i) \cos(\alpha + \lambda) \\ y = L \sin \alpha + R \sin(\alpha i) \sin(\alpha + \lambda) \end{cases}$ <p>Параметр установки инструмента:</p> $\lambda = \arcsin \frac{R_{CP}}{Ri}$ <p>Отношение частот движений B_2 и B_1 соответственно инструмента 2 и заготовки 1:</p> $i = \frac{m}{z}$ |
| | | <p>где m – число обрабатываемых пазов; z – число резцов головки. Кривизна боковых поверхностей пазов:</p> $R_k = \frac{Ri \cos \lambda}{2}$ |
| 2 | | <p>Уравнение траектории исполнительного движения:</p> $\begin{cases} x = L \cos \alpha - R \cos(\alpha(i-1)) \\ y = L \sin \alpha + R \sin(\alpha(i-1)) \end{cases}$ |

Таблица 2

Схемы обработки ТЗК червячными и секторными инструментами

| № схем | Схемы обработки ТЗК | Параметры процесса формообразования |
|--------|---------------------|---|
| 1 | | <p>Уравнение траектории исполнительного движения:</p> $\begin{cases} x_i = R_{CP} \cos \alpha + k_i \sin(\alpha + \lambda) + \\ + R_i \sin(\alpha m + \beta_i) \cos(\alpha + \lambda) \\ y_i = R_{CP} \sin \alpha - k_i \cos(\alpha + \lambda) + \\ + R_i \sin(\alpha m + \beta_i) \sin(\alpha + \lambda) \end{cases}$ $\lambda = \arcsin \frac{R_{CP}}{R_i m}$ $k_i = \frac{\cos \lambda \sin(\lambda + \delta) - \sin \lambda R_{CP} \beta_i}{2\pi}$ |
| 2 | | <p>Уравнение траектории исполнительного движения:</p> $\begin{cases} x_i = L \cos \alpha + \\ + R \sin(\alpha m + \beta_i) \cos(\alpha + \lambda) \\ y_i = L \sin \alpha + R \sin(\alpha m + \beta_i) \sin(\alpha + \lambda) \end{cases}$ |
| 3 | | <p>Уравнение траектории исполнительного движения:</p> $\begin{cases} x_i = R_{CP} \cos \alpha + R_i \sin(\alpha m + \beta_i) \cos(\alpha + \lambda) - \\ - (k_i + R_i \cos(\alpha m + \beta_i) \operatorname{tg} \rho) \cos \rho \sin(\alpha + \lambda); \\ y_i = R_{CP} \sin \alpha + R_i \sin(\alpha m + \beta_i) \sin(\alpha + \lambda) + \\ + (k_i + R_i \cos(\alpha m + \beta_i) \operatorname{tg} \rho) \sin \rho \cos(\alpha + \lambda), \end{cases}$ <p>где k_i – величина, определяющая относительное расположение режущих элементов вдоль оси вращения инструмента.</p> $k_i = \sqrt{(R_i \cos \beta_i + R)^2 - \left((R_i \cos \beta_i + R) \cos \left(\frac{\pi}{2} - \rho \right) \right)^2}$ <p>Эксцентриситет установки инструмента</p> $e = \frac{S - R - R \cos(2\rho)}{1 - \cos(2\rho)}$ |

Важным этапом схмотехнического проектирования станка является разработка его структурной схемы, устанавливающей функциональные связи между движениями органов, несущих инструмент и заготовку, составляющими исполнительные движения в соответствии с реализуемой схемой обработки.

Примером *специального станка* для обработки ТЗК и других прерывистых поверхностей на деталях машин является станок-профилятор с ЧПУ модели ВС-400Ф2, который был разработан совместно Витебским станкостроительным заводом им. Коминтерна и Полоцким государственным университетом по заданию Госкомпрома Республики Беларусь [11]. Структурная схема станка показана на рисунке 1.

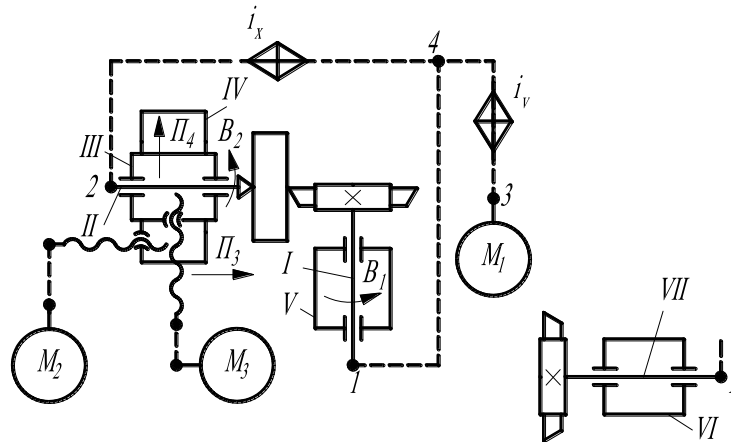


Рис. 1. Структурная схема станка модели ВС-400Ф2

По сравнению с аналогичным станком-профилятором фирмы «Wera» станок модели ВС-400Ф2 имеет более широкие технологические возможности, благодаря реализации ряда прогрессивных схем формообразования поверхностей с периодически повторяющимся профилем.

Исходя из реализуемых схем обработки ТЗК, кинематическая структура данного станка содержит сложную кинематическую группу движения резания и простые движений врезания, установки и вспомогательных перемещений исполнительных органов.

Станок имеет два сменных обрабатывающих модуля – вертикальный V и горизонтальный VI, каждый из которых используется для реализации схем обработки соответственно при скрещивающихся и параллельных осях инструмента и заготовки.

Инструментальный шпиндель I модуля V соединен внутренней связью 1-2, содержащей орган настройки i_x (гитару деления) со шпинделем II изделия, который смонтирован в бабке III, установленной с возможностью поперечного перемещения Π_4 от двигателя M_3 относительно каретки IV. Последняя имеет возможность перемещения Π_3 по направляющим станины станка от двигателя M_2 . Настройка скорости движения $\Phi_v(B_1B_2)$ обеспечивается гитарой i_v внешней связи 3-4, по которой вращение от двигателя M_1 передается во внутреннюю связь. Данная структурная схема обеспечивает реализацию на этом станке рассмотренных выше схем обработки ТЗК резовыми головками и секторными инструментами при скрещивающихся осях вращательных движений инструмента и заготовки.

Для реализации схем обработки, основанных на вращательных движениях инструмента и заготовки вокруг параллельных осей, используется сменный обрабатывающий модуль VI с горизонтально расположенным инструментальным шпинделем VII, который устанавливается вместо модуля V.

Необходимые наладочные и установочные перемещения бабки 3 и каретки 4, движения врезания и подачи обеспечиваются двигателями M_2 и M_3 от системы ЧПУ.

Перспективным направлением решения проблемы обеспечения станочным оборудованием производства деталей с ТЗК является расширение технологических возможностей универсальных станков для выполнения на них соответствующих схем формообразования. При выборе универсального станка определяющим является соответствие его частной кинематической структуры кинематической структуре специального станка для обработки ТЗК. Такой подход реализован в широкоуниверсальном зубошлифрезерном станке модели ВС-50 [11], который создан совместно Витебским специальным конструкторским бюро зубообрабатывающих, шлифовальных и заточных станков (разработка рабочего проекта станка), Полоцким государственным университетом (обоснование кинематической структуры станка, разработка и исследование схем формообразования, разработка методики настройки станка, проектирование специальных режущих инструментов) и Витебским станкостроительным заводом им. Коминтерна (изготовление станка и специальных режущих инструментов) по ГНПП «Станки и инструмент».

Благодаря применению сменных модулей и различных инструментов данный станок обеспечивает возможность обработки широкой номенклатуры поверхностей с периодически повторяющимся профилем, в том числе и ТЗК, по схемам, представленным в таблицах 1 и 2, специальными инструментами. Частная кинематическая структура этого станка при обработке ТЗК аналогична рассмотренной структуре станка модели ВС-400Ф2.

Для обработки ТЗК на мелких деталях по схемам, основанным на сообщении вращательных движений инструменту и заготовке вокруг скрещивающихся осей, в частности секторными инструментами, целесообразно использовать легкие зубофрезерные станки типа 5А308П, обеспечивающие благодаря прогрессивной схеме резания высокопроизводительную обработку деталей типа храповых муфт. Например, основное время обработки на этом станке зубчатого контура храповой муфты 64226-3501171 диаметром 26 мм, имеющей 36 зубьев, составляет менее 10 секунд [12].

Специальные станки для обработки ТЗК были созданы на базе универсальных зубообрабатывающих станков по заданию региональной научно-технической программы «Инновационное развитие Витебской области» станкостроительным заводом им. Коминтерна при участии Полоцкого государственного университета.

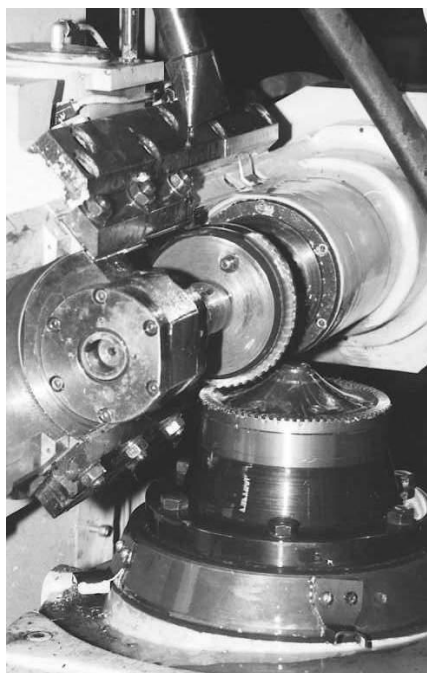


Рис. 2. Рабочая зона станка модели ВС30П-9253 для обработки ТЗК индуктора антиблокировочной системы автомобиля секторным инструментом

Станок модели ВС50-9601 на базе широкоуниверсального зубошлицефрезерного станка ВС-50 и станок ВС30П-9253 на базе универсального зубофрезерного станка модели ВС30П предназначены для обработки ТЗК резцовыми головками [пат. Респ. Беларусь, № 5707] по схеме 1 (см. табл. 1), а также червячным [пат. Респ. Беларусь, № 7846] или наклонным секторным [пат. Респ. Беларусь, № 553] инструментом по схемам соответственно 1 и 3 (см. табл. 2). Вариант реализации схемы обработки ТЗК наклонным секторным инструментом на станке модели ВС30П-9253 показан на рисунке 2.

Созданные станки обеспечивают по сравнению с применяемой технологией нарезания ТЗК по схеме с дискретным движением деления повышение в 2,5...4 раза производительности обработки при более высокой точности шага расположения пазов. Кроме повышения производительности и уровня автоматизации производства, созданные станки исключают необходимость в приобретении аналогичного импортного оборудования.

Режущие инструменты для обработки ТЗК. Конструкция режущего инструмента для обработки зубчатого контура в части количества и расположения режущих элементов во многом определяется реализуемой схемой формообразования и кинематической схемой обработки. Здесь рассматриваются два типа созданных инструментов для обработки ТЗК по схемам, приведенным в таблицах 1 и 2, – резцовые головки и инструменты секторного типа.

Резцовые головки. Обработка ТЗК осуществляется резцовыми головками с радиальным или осевым расположением режущих элементов. Головки первого типа применяются при обработке по схеме с сообщением заготовке и инструменту согласованных вращательных движений вокруг скрещивающихся осей, а головки второго типа – при параллельном расположении указанных осей. Резцовая головка с радиальным расположением режущих элементов (рис. 3) представляет собой корпус 1 с равномерно расположенными по окружности пазы. В них с помощью прихватов закреплены резцы 2, спрофилированные по форме профиля обрабатываемых пазов. Резцовая головка устанавливается на станке с помощью стандартной оправки.

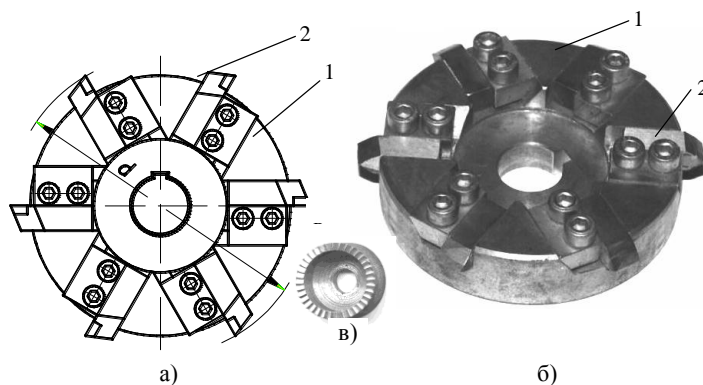


Рис. 3. Конструкция резцовой головки (а, б) и деталь (в) с ТЗК:
1 – корпус; 2 – резец

Резцовые головки с радиальным расположением режущих элементов более эффективны при обработке торцовых зубчатых контуров с короткими пазми, так как с уменьшением их длины повышается точность формообразования.

Для реализации схемы обработки с параллельными осями инструмента и заготовки (см. табл. 1, схема 2) используется резцовая головка с режущими зубьями 2 (рис. 4), расположенными на торцевой поверхности корпуса 1.

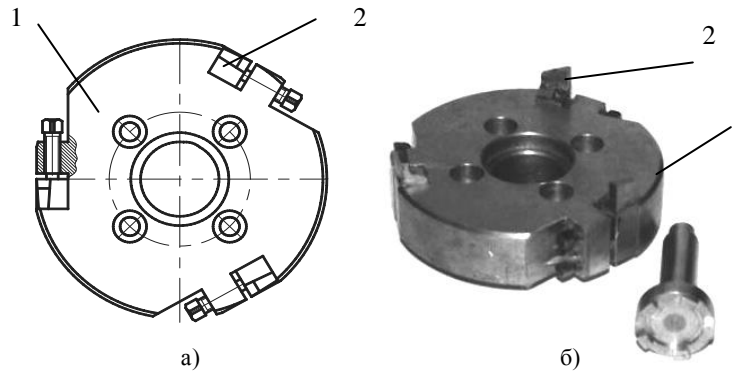


Рис. 4. Инструмент к станку модели ВС-50 для обработки торцового зубчатого контура:
а – конструкция инструмента; б – общий вид инструмента с обработанной деталью

Резцовые головки этого типа в зависимости от геометрии ее режущей части и параметров схемы формообразования позволяют обрабатывать ТЗК трех видов: с пазми, имеющими по длине одинаковую ширину (первый вид); с пазми переменной ширины – со сходящимися к оси детали гранями (второй вид) и с расходящимися к периферии гранями (третий вид). В первом случае профиль паза формируется методом копирования и определяется формой режущей части резцов. В продольном направлении боковые поверхности пазов очерчены по циклоидальным кривым, кривизна которых зависит от радиуса инструмента [9]. При обработке прямолинейных пазов его значение задается исходя из допускового отклонения боковой поверхности паза от прямолинейности, а также допускового изменения рабочих углов режущих лезвий. Торцовые зубчатые контуры с пазми второго и третьего видов обрабатываются по схеме 2, представленной в таблице 1. Для ее реализации на станке модели ВС-50 по способу [пат. Респ. Беларусь, № 6063] создан инструмент, конструкция которого позволяет при настройке устанавливать резцы в корпусе на различных расстояниях от оси вращения. В сочетании с настройкой расстояния между осями инструмента и заготовки, отношения частот и направления их вращательных движений, что обеспечивает возможность управлять траекторией движения формообразования и благодаря этому позволяет обрабатывать пазы с выпуклыми или вогнутыми боковыми поверхностями [6]. Это имеет важное практическое значение, так как при выпукло-вогнутой форме контакта боковых поверхностей исключается кромочный контакт зубьев при эксплуатации, благодаря чему повышается долговечность муфты по сравнению с выполнением обеих контактирующих поверхностей выпуклыми или плоскими.

Секторные инструменты. Особенностью конструкции секторного инструмента является то, что режущие элементы расположены на части окружности, т.е. в определенном угловом секторе. Поэтому основной частью такого инструмента является режущий сектор 2 (рис. 5), выполненный, например, в виде дисковой фрезы с неполным числом зубьев, который устанавливается на оправке и зажимается между фланцами.

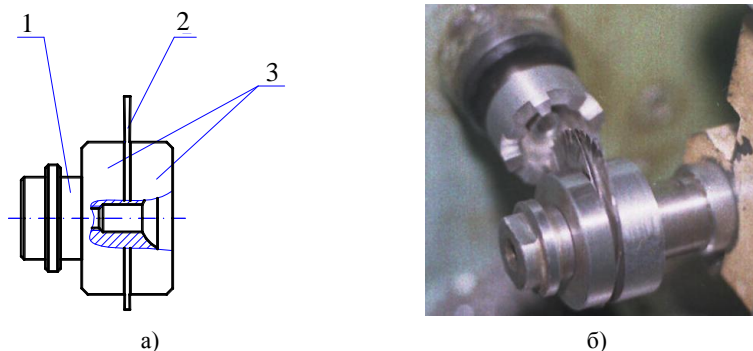


Рис. 5. Конструктивная схема секторного инструмента (а) первого типа
и пример его применения (б) для обработки широких пазов на зубофрезерном станке модели 5А308П

В зависимости от реализуемого способа обработки применяются два типа секторных инструментов, различающихся расположением режущего сектора относительно оси вращения инструмента:

- 1) перпендикулярно оси вращения [пат. Респ. Беларусь, № 7041,1550];
- 2) под углом к оси вращения [пат. Респ. Беларусь, № 9765].

Секторный инструмент первого типа (см. рис. 5) предназначен для обработки ТЗК по схеме 2, показанной в таблице 2. Благодаря тому, что каждый паз обрабатывается по ширине не одним, а последовательно несколькими резами (режущими зубьями), этот инструмент позволяет при меньшей нагрузке на них обрабатывать пазы, ширина которых, как видно из рисунка 5, б, многократно превышает толщину режущей части инструмента. Ширина обработанного паза пропорциональна величине угла сектора, в котором расположены режущие зубья, а нагрузка на каждый зуб зависит от их числа в секторе, что позволяет управлять динамикой процесса резания. Вследствие этого по сравнению с формированием паза одновременно по всей ширине (методом копирования) обеспечиваются лучшие условия резания, что является резервом повышения производительности обработки, долговечности инструмента и оборудования.

Секторный инструмент второго типа (секторный наклонный инструмент) предназначен для обработки узких пазов ТЗК методом кругового протягивания при непрерывном движении деления по схеме 3, (см. табл. 2). Инструмент создан для оснащения специальных станков моделей ВС50-9601 и ВС30П-9253 (см. рис. 2) при обработке ТЗК индукторов АБС автомобилей.

Угол наклона режущего сектора к оси оправки зависит от шага расположения пазов, а эксцентриситет его установки – от их глубины. Данная конструкция позволяет переналаживать инструмент на обработку различных зубчатых контуров с одинаковой шириной пазов, что обеспечивает его универсальность. Благодаря наклону инструмента относительно оси его вращения создается винтовое расположение режущих элементов, необходимое для непрерывного движения деления, а установка инструмента с эксцентриситетом относительно оси вращения обеспечивает возможность обработки каждого паза за один оборот инструмента методом кругового протягивания, что обеспечивает высокую производительность процесса обработки ТЗК.

Создание движения врезания за счет эксцентричной установки режущего сектора упрощает кинематику и существенно улучшает динамику работы станка [13].

Выводы

1) системный подход к разработке технологий формообразования ТЗК на основе структурной модели способа обработки, отражающей взаимосвязь его основных компонентов – схемы формообразования, метода обработки и обрабатываемой системы, позволил решить задачи функционального проектирования станочного оборудования и его инструментального оснащения, обеспечивающих интенсификацию процессов обработки зубчатых контуров деталей кольцевого типа;

2) схемы обработки ТЗК с непрерывным движением деления разработанными резовыми головками, червячными и секторными инструментами обеспечивают высокую производительность и обладают широкими технологическими возможностями по сравнению с традиционной технологией формообразования, основанной на дискретном движении деления;

3) предложенные схемы формообразования ТЗК и режущие инструменты могут быть использованы как на специальных, так и универсальных станках, что упрощает их практическую реализацию;

4) промышленная реализация созданных технологий формообразования ТЗК в виде способов обработки, станков и режущих инструментов решает актуальную проблему создания конкурентоспособного отечественного оборудования для интенсификации процессов обработки ТЗК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов, В.А. Синтез схем формообразования торцовых зубчатых контуров / В.А. Данилов, Р.А. Киселев // Теория и практика машиностроения. – 2005. – № 1. – С. 83 – 87.
2. Данилов, В.А. Общие принципы синтеза рациональных технологий формообразования сложных поверхностей резанием / В.А. Данилов // Мир технологий. – 2003. – № 1. – С. 61 – 71.
3. Данилов, В.А. Методические основы синтеза схем формообразования торцовых зубчатых контуров / В.А. Данилов, Р.А. Киселев, О.В. Яловский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2007. – № 2. – С. 82 – 92.
4. Данилов, В.А. Оптимизация схем обработки торцовых зубчатых контуров секторным инструментом / В.А. Данилов, Р.С. Киселев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2006. – № 6. – С. 106 – 110.

5. Данилов, В.А. Синтез и анализ технологических возможностей методов формообразования торцовых зубчатых контуров / В.А. Данилов, О.В. Яловский // Машиностроение: респ. межведомств. сб. науч. тр. Вып. 21: в 2-х т. / под ред. Б.М. Хрусталева. – Минск: БНТУ, 2005. – Т. 1. – С. 119–124.
6. Данилов, В.А. Прогрессивные схемы формообразования плоских прерывистых поверхностей / В.А. Данилов, Р.А. Киселев // Машиностроение: респ. межведомств. сб. науч. тр. Вып. 18 / под ред. И.П. Филонова. – Минск: Технопринт, 2002. – С. 13–17.
7. Данилов, В.А. Определение параметров схемы формообразования и геометрии червячного инструмента для непрерывной обработки плоского зубчатого контура / В.А. Данилов, Р.А. Киселев // Машиностроение: респ. межведомств. сб. науч. тр. Вып. 17 / под ред. И.П. Филонова. – Минск: Технопринт, 2001. – С. 205–209.
8. Данилов, В.А. Анализ схемы обработки прерывистых поверхностей на торцах детали при непрерывном движении деления / В.А. Данилов, О.В. Яловский // Теория и практика машиностроения. – 2003. – № 1. – С. 16–18.
9. Данилов, В.А. Анализ условий формирования пазов на торцах деталей методом кинематического профилирования / В.А. Данилов, О.В. Яловский // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 2. – С. 14–16.
10. Данилов, В.А. Профилирование пазов при обработке торцовых зубчатых контуров по схеме с непрерывным движением деления / В.А. Данилов, Р.А. Киселев // Машиностроение: респ. межведомств. сб. науч. тр. Вып. 21: в 2-х т. / под ред. Б.М. Хрусталева. – Минск: БНТУ, 2005. – Т. 1. – С. 167–173.
11. Данилов, В.А. Новые технологии формообразования профильных и прерывистых поверхностей резанием / В.А. Данилов // Инженер-механик. – 2003. – № 3(20). – С. 26–31.
12. Данилов, В.А. Прогрессивные инструменты для обработки торцовых зубчатых контуров резанием / В.А. Данилов, Р.А. Киселев // Современные технологии металлообработки: материалы междунар. науч.-техн. конф. / редкол.: С.А. Астапчик [и др.]. – Минск: Экоперспектива, 2005. – С. 377–380.
13. Данилов, В.А. Обеспечение динамической устойчивости процесса обработки пазов на торцах деталей по схеме с непрерывным делением / В.А. Данилов, Р.А. Киселев // Машиностроение: респ. межведомств. сб. науч. тр. Вып. 20: в 2-х т. / под ред. И.П. Филонова. – Минск: Технопринт, 2004. – Т. 2. – С. 22–28.

Поступила 17.12.2009

PROGRESSIVE SHAPING TECHNOLOGIES OF TOOTHED SURFACES OF WORKPIECES

V. DANILOV, R. KISELYOV, O. YALOVSKY

The article is devoted to creating progressive machines and special cutting tools for machining toothed surfaces such works, as a phylum cam-driven and pawl couplings, measuring systems inductors etc. The progressive shaping methods with continuous work rotation for machining toothed surfaces by special tools are considered. The implementation paths of the machining schemes by rise technological capabilities of known machines, creating the special machines and cutting tools are displayed. The kinematics machine circuits for working the toothed surfaces are created. The cutting tools constructions for machining this surfaces by the universal and special machines are presented. The results proofing the effectiveness of created technologies are presented.