

УДК 621.91.04

## ОБРАБОТКА ПАЗОВ НА ТОРЦАХ ДЕТАЛЕЙ ИНСТРУМЕНТОМ С УПРАВЛЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

*канд. техн. наук Р.А. КИСЕЛЕВ*  
(Полоцкий государственный университет)

*Рассмотрена схема инструмента, реализующая способ формообразования пазов при непрерывном движении деления. Выявлена взаимосвязь геометрических параметров инструмента и формируемых пазов на торце. Предложена конструктивная схема инструмента, обеспечивающая возможность профилирования пазов на торцах деталей различной формы за счет управления его геометрией. Дан комплексный анализ схем формообразования и резания при обработке таким инструментом и рассмотрен пример ее практической реализации.*

**Постановка задачи.** Для обработки пазов на торце используются различные инструменты, применение которых определяется геометрическими параметрами формируемых пазов. Например, известен инструмент для обработки пазов на торце детали [1], содержащий равномерно расположенные по окружности режущие элементы и характеризуемый высокой производительностью формообразования. Однако данный инструмент не позволяет обрабатывать пазы, ширина которых превышает ширину реза. Поэтому для обработки широких пазов необходимы широкие режущие зубья, что ухудшает динамику процесса резания и ограничивает технологические возможности инструмента.

Такой же недостаток имеет инструмент в виде резцовой головки-протяжки [2], резцы которой расположены в угловом секторе, а также имеющей свободный от резцов участок, обеспечивающий возможность периодически выполнять движение деления без отвода инструмента при его непрерывном вращении. Кроме того, дискретный характер движения деления отрицательно влияет на производительность и точность обработки.

Известен также инструмент [3] для обработки пазов на торцах деталей, режущие зубья которого расположены в плоском угловом секторе, составляющем  $180^\circ$  и наклоненном к оси вращения инструмента для обеспечения непрерывности движения деления. Величина угла наклона плоского углового сектора к оси вращения определяется параметрами обрабатываемой детали, инструмента и их взаимным расположением. Недостатком данного инструмента является то, что угловой сектор расположения режущих зубьев составляет  $180^\circ$ , вследствие чего возможна лишь обработка деталей с шириной пазов, равной ширине выступов между пазами, причем ширина пазов не превышает ширину реза.

Все рассмотренные инструменты связаны жесткой зависимостью их геометрии от параметров формируемых пазов на торце. Невозможность трансформирования параметров инструмента при изменении характеристик формируемых пазов сильно ограничивает их технологический потенциал. Поэтому актуальна разработка универсального инструмента с управляемой геометрией, позволяющего обрабатывать разнообразные пазы с заданными параметрами.

**Анализ схемы инструмента.** Рассмотрим инструмент для обработки пазов на торце, режущие зубья которого расположены в угловом секторе, перпендикулярном оси вращения инструмента.

Отличительной особенностью данного инструмента является возможность управления шириной обрабатываемых пазов при неизменной ширине режущих зубьев. Указанный эффект достигается за счет распределения снимаемого припуска между всеми режущими зубьями, расположенными в угловом секторе, при этом нагрузка на каждый из режущих зубьев не зависит от ширины паза.

Схема инструмента для обработки пазов на торце детали показана на рисунке 1. Инструмент представляет собой корпус 1, несущий сменные режущие зубья 2. Они расположены в определенном угловом секторе, который перпендикулярен оси вращения инструмента. Значение угла  $\chi$  углового сектора определяется по формуле:

$$\chi = \frac{\varphi m}{p}, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – угловая ширина паза по наружному диаметру заготовки (рис. 2);  $m$  – число обрабатываемых пазов;  $p$  – число пропускаемых пазов.

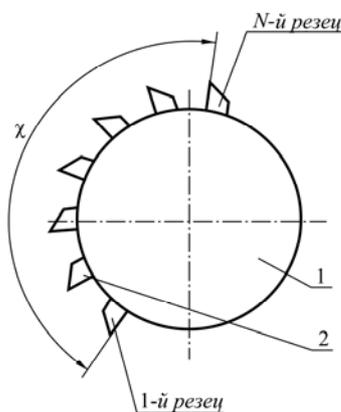
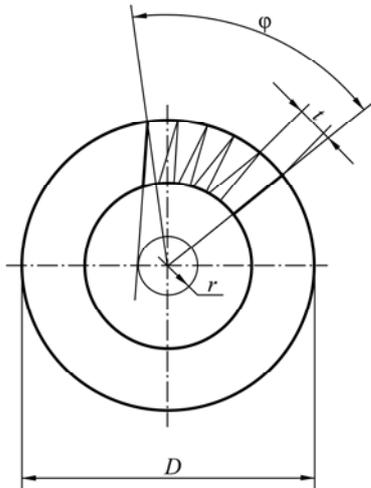


Рис. 1. Схема инструмента для обработки пазов на торце



Так как профилирование одного паза по всей ширине происходит за один оборот инструмента, то

$$\frac{\chi}{2\pi} = \frac{\varphi}{\left(\frac{2\pi}{m}\right)}, \tag{2}$$

откуда

$$\chi = \varphi m. \tag{3}$$

С учетом числа  $p$  пропускаемых пазов получаем выражение (1). Количество  $N$  режущих зубьев, необходимых из условия перекрытия следов реза, определяется из неравенства:

$$N \geq \frac{\varphi}{\arcsin\left(\frac{2t}{D}\right)}, \tag{4}$$

Рис. 2. Схема формирования паза на торце где  $\varphi$  – угловая ширина паза по наружному диаметру заготовки;  $t$  – ширина реза;  $D$  – наружный диаметр заготовки.

Ширина паза, обработанного предлагаемым инструментом, зависит не от ширины режущих зубьев, а от значения угла  $\chi$  углового сектора, в котором они расположены. Изменяя угол  $\chi$ , можно управлять шириной обрабатываемых пазов, сохраняя параметры отдельных режущих зубьев, которые выбираются из условия обеспечения рациональных условий резания. Благодаря этому одновременно расширяются технологические возможности инструмента по ширине обрабатываемых пазов и обеспечиваются благоприятные условия его работы.

Для точной настройки угла  $\chi$  и, следовательно, ширины обрабатываемых пазов режущие зубья 2 смонтированы на корпусе 1 с возможностью перемещения по окружности и фиксации на нем в требуемом положении. Это позволяет осуществлять поднастройку инструмента в процессе эксплуатации для обеспечения требуемой точности обработки пазов, что повышает его универсальность.

**Математическая модель формообразования.** Схема к математической модели формообразования пазов на торце секторным инструментом представлена на рисунке 3.

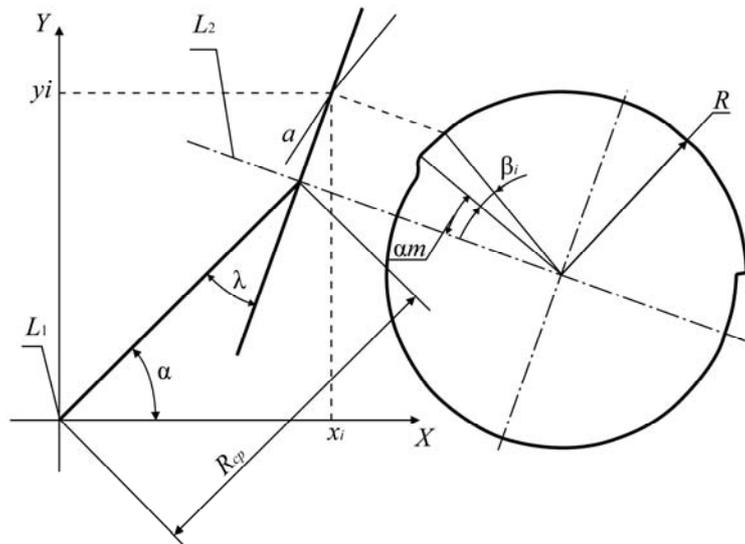


Рис. 3. Схема к математической модели формообразования пазов на торце секторным инструментом

Семейство линий, описываемых точками, принадлежащими различным режущим элементам секторного инструмента, согласно рисунку 3, определяется системой уравнений:

$$\begin{cases} x_1 = L \cos \alpha + R \sin(\alpha m + \beta_1) \cos(\alpha + \lambda); \\ y_1 = L \sin \alpha + R \sin(\alpha m + \beta_1) \sin(\alpha + \lambda), \end{cases} \tag{5}$$

где  $\alpha$  – угол поворота заготовки или резцовой головки в относительном движении;  $\lambda$  – угол установки инструмента относительно заготовки;  $R$  – радиус расположения режущих элементов;  $L$  – линейный параметр установки инструмента относительно заготовки;  $\beta_i$  – величина, определяющая угловое относительное расположение режущих элементов. При количестве резцов  $N$  и равномерном распределении их по всему периметру сектора спирали, определяемого углом  $\chi$ , будет выполняться условие:

$$\beta_{i+1} = \beta_i - \frac{\chi}{N}. \quad (6)$$

Анализ математической модели, представленной в виде системы уравнений (5), показал невозможность формирования рассмотренным инструментом пазов со сходящимися в центре заготовке гранями.

При обработке пазов инструментом, представленном на рисунке 1, прямые, продолжающие боковые грани формируемых пазов, будут являться касательными к окружности с радиусом  $r$  (см. рис. 2), определяемым установкой инструмента относительно заготовки и шириной режущих элементов  $t$ . Наличие такого геометрического параметра в формируемых пазах на торце детали обеспечивает возникновение кромочного контакта, что является не допустимым.

Исключение данного негативного эффекта обеспечивается особым расположением режущих элементов в резцовом секторе. Сущность такой настройки инструмента заключается в том, что точки первого 1 и последнего 2 режущих элементов сектора, формирующих боковые грани пазов, располагались на одной линии (рис. 4). Это возможно осуществить путем применения двухсекторной конструкции инструмента. Развертка инструмента с предлагаемой схемой расположения режущих элементов представлена на рисунке 4.

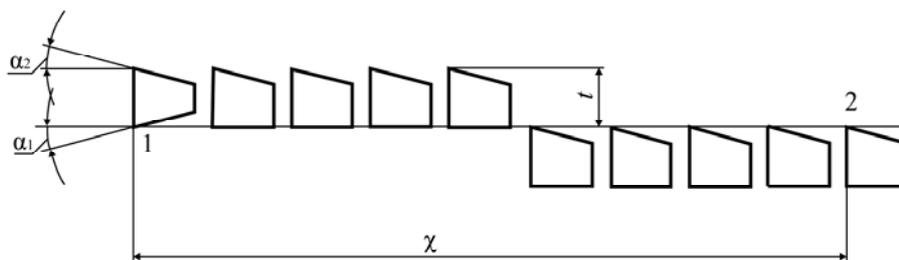


Рис. 4. Развертка инструмента с двухсекторным расположением режущих элементов

**Анализ схемы резания.** Выбор оптимальной схемы резания и возможность управления ею обеспечивает высокую производительность, минимальные энергозатраты и высокую экономичность инструмента. Достижение всех этих критериев при проектировании инструмента является трудно выполнимой задачей, а зачастую и невозможной, так как инструмент сам собой не определяет их в процессе обработки. Передача геометрической информации на изделие осуществляется комплексно всей обрабатывающей системой и требует гармоничности от составляющих ее компонентов. Гармоничность подразумевает отлаженность взаимодействия в общем случае инструмента, станка и приспособления при обработке детали, т.е. технико-экономические показатели системы обеспечиваются не отдельными элементами, а их комплексным взаимодействием. Поэтому схему резания определяют не только геометрические параметры инструмента и его конструктивные особенности, а вся обрабатывающая система.

Так как параметры, определяющие состояние обрабатывающей системы, являются величинами не постоянными и изменяются в процессе работы, то и схема резания видоизменяется как результат взаимодействия элементов обрабатывающей системы.

Таким образом, если исключить случаи изменения схемы резания, вызванные непостоянностью скорости резания и недостаточной жесткостью обрабатывающей системы, то она гарантированно будет видоизменяться при изменении направления относительного движения исполнительных органов оборудования, несущих на себе инструмент и заготовки (процесс врезания), и при выходе инструмента из заготовки, что определяется непостоянностью геометрии обрабатываемой детали.

Анализ схемы резания, реализуемой данным инструментом, позволяет предложить ряд рекомендаций по его заточке. Формирование задних углов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , обеспечивающих исключения затирания по задней поверхности режущего элемента, необходимо только на первом режущем элементе (см. рис. 4), на остальных режущих элементах достаточно односторонней заточки со стороны направления резания.

Оптимальная величина задних углов определяется комплексом параметров [4] в соответствии с зависимостью:

$$\alpha \geq 90 - \arctg \frac{2 \left( \frac{t}{2} + R_{cp} \sin \lambda \right)}{\sqrt{d^2 - \left( \frac{t}{2} + R_{cp} \sin \lambda \right)^2}} + \alpha_3, \quad (7)$$

где  $\alpha_3$  – задний угол, необходимый из условий резания;  $R_{cp}$  – средний радиус расположения пазов на торце;  $d$  – внутренний диаметр пазов на торце.

**Настройка станка.** Наладка станков, реализующих технологию обработки пазов на торце рассмотренным инструментом, сводится к следующим операциям: настройка частоты вращения шпинделя; настройка гитары деления; настройка величины подачи; установка инструмента; установка изделия; установка межцентрового расстояния; установка осевого смещения инструмента; установка упоров глубины врезания. Указанные операции являются типовыми для оборудования этого типа. Таким образом, применение данного инструмента не влечет за собой осложнения наладки.

**Практическая реализация.** Рассмотренная конструкция инструмента была реализована на станке модели 5А308П (рис. 5). Возможность осуществлять геометрическую настройку инструмента обеспечивает ему широкие технологические возможности при обработке пазов на торце.

При лабораторных исследованиях данного инструмента была обработана партия деталей с различной геометрией (рис. 6) одним инструментом с переналадкой зубофрезерного станка, что показало широкие технологические возможности предлагаемой схемы формообразования и инструмента, ее реализующего. Возможность изменения отношения частоты вращения инструмента и частоты вращения заготовки позволяет обрабатывать широкую номенклатуру деталей с различным количеством пазов разной формы.



Рис. 5. Процесс обработки пазов на торце



Рис. 6. Образцы, обработанные секторным инструментом

**Заключение.** Решена задача создания универсального инструмента к зубообрабатывающим станкам для обработки пазов на торцах деталей с управляемой геометрией исходя из реализуемых схем формообразования и резания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коганов, И.А. Прогрессивные методы изготовления цилиндрических зубчатых колес / И.А. Коганов, Ф.Н. Федоров, Е.Н. Валиков. – М.: Машиностроение, 1981.
2. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2.
3. Инструмент для обработки пазов на торцах деталей: пат. 553 ВУ. МПК<sup>7</sup> В23С3/28 / В.А. Данилов, Р.А. Киселев (ВУ). – № u20010263; заявл. 2001.11.06; опубл. 2002.06.03.
4. Данилов, В.А. Определение параметров схемы непрерывного формообразования и режущего инструмента для обработки плоского зубчатого контура / В.А. Данилов, Р.А. Киселев // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2003. – Т. II, № 2. – С. 34 – 41.

Поступила 31.05.2007