

АНАЛИЗ СХЕМ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПЕРИОДИЧЕСКИ ПОВТОРЯЮЩИМСЯ ЗУБЧАТЫМ ПРОФИЛЕМ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ПРОЦЕССЕ ДЕЛЕНИЯ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Высокая трудоемкость изготовления деталей, имеющих на торцах прерывистые поверхности с периодическим зубчатым профилем (муфты, роторы, индукторы и т.д.), обуславливает необходимость создания технологий, основанных на прогрессивных методах формообразования. Для традиционных технологий с периодически выполняемым движением деления характерны низкая производительность и невысокая точность, что особенно проявляется с увеличением числа нарезаемых зубьев. Более эффективны схемы обработки с совмещенными движениями формообразования и деления, выполняемыми непрерывно в течение обработки всех зубьев (пазов). При непрерывном делении для формообразования зубьев по длине необходимо сложное исполнительное движение, компонентами которого являются согласованные вращательные движения инструмента и заготовки. Эти условия обуславливают выполнение режущего инструмента в виде резцовой головки с равномерно расположенными по окружности режущими элементами. Последние могут быть размещены на наружной или торцевой поверхностях ее корпуса. Соответственно оси вращения инструмента и заготовки должны скрещиваться или располагаться параллельно друг другу.

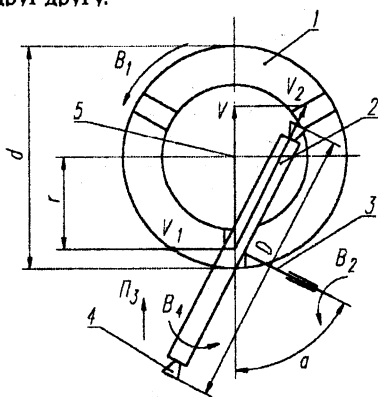


Рис. 1. Схема обработки прямолинейных пазов.

В первом случае ось 3 (рис. 1) инструмента 2 и ось 5 заготовки 1 расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях. В процессе обработки заготовке и инструменту сообщают согласованные вращательные движения соответственно V_1 и V_2 с частотами n_1 и n_2 . Для обеспечения непрерывности процесса деления отношение $i = n_2/n_1$ указанных частот должно удовлетворять условию

$$i = \frac{m}{z}, \quad (1)$$

где m – число обрабатываемых пазов; z – число режущих элементов.

Для образования пазов по длине инструменту сообщают также в плоскости вращения заготовки прямолинейное перемещение Π_3 вдоль прямой, проходящей через ось вращения заготовки, и связанный с этим перемещением поворот V_4 в той же плоскости вокруг перпендикулярной ей оси [1]. Независимо от схемы резания (попутная или встречная) перемещение резца 4 относительно заготовки 1 должно осуществляться по прямой, проходящей через ось вращения заготовки. Это возможно при определенном соотношении окружных скоростей V_1 и V_2 соответственно заготовки и резца и определенной ориентации инструмента относительно направления его поступательного перемещения, задаваемого углом α .

Результирующая скорость V скоростей V_1 и V_2 должна быть направлена вдоль паза, поэтому

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{V_1}{V_2}. \quad (2)$$

Так как $V_1 = 2\pi n_1 r$, $V_2 = \pi D n_2$, то с учетом формулы (1)

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{2rz}{Dm}. \quad (3)$$

Скорость резания при данной схеме обработки практически определяется значением скорости V , которая максимальна при $r = 0,5d$, где d – диаметр заготовки. Для этого момента

$$V = \pi \sqrt{(Dn_2)^2 - (dn_1)^2}, \quad (4)$$

откуда частота вращения инструмента при заданной скорости резания определяется зависимостью

$$n_2 = \frac{V}{\pi \sqrt{D^2 - \left(d \frac{z}{m}\right)^2}}. \quad (5)$$

Для коротких пазов, когда допускается формообразование впадин по дуге окружности, более производительна упрощенная схема обработки без перемещения инструмента вдоль паза. В этом случае пазы образуются по длине только движениями B_1 и B_2 , а по глубине – относительным перемещением инструмента и заготовки вдоль оси вращения последней. Угол α установки инструмента определяется по формуле (3), где r принимается равным среднему радиусу зубчатого контура.

Схема обработки пазов при параллельных осях инструмента 2 и заготовки 1 показана на рис. 2. В процессе обработки им сообщаются вращательные движения соответственно B_2 и B_1 вокруг осей 3 и 5, а инструменту – движение врезания Π_3 вдоль оси вращения заготовки.

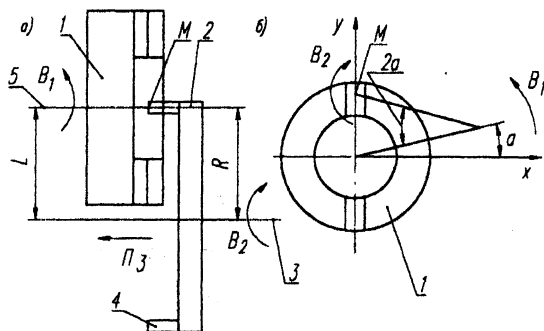


Рис. 2. Схема обработки пазов торцевой резцовой головкой: а – кинематическая схема обработки, б – схема формообразования паза.

Траектория формообразующей точки M в системе координат XOY описывается системой уравнений

$$\begin{cases} x = L \cos \alpha - R \cos(\alpha(i-1)) \\ y = L \sin \alpha + R \sin(\alpha(i-1)) \end{cases}, \quad (6)$$

где α – угол поворота заготовки, соответствующий углу $\alpha(i-1)$ поворота резцовой головки;

i – отношение частот вращательных движений B_2 и B_1 .

В частном случае при $i=1$

$$\begin{cases} x = L \cos \alpha - R \\ y = L \sin \alpha \end{cases}, \quad (7)$$

или

$$(x + R)^2 + y^2 = L^2, \quad (8)$$

т.е. траектория данной точки представляет собой окружность, радиус которой равен расстоянию L между осями инструмента и заготовки, а центр смещен на расстояние R от начала координат. Исходя из формы траектории формообразующего движения, данная схема применима для обработки пазов, боковые поверхности которых спрофилированы по окружности. Схема позволяет обрабатывать детали с четным и нечетным числом пазов.

Если $i=2$, то при $L=R$ и одинаково направленных вращательных движениях инструмента и заготовки (рис. 2, б) формообразующая точка движется по траектории, уравнение которой в параметрической форме имеет вид

$$\begin{cases} x = 0 \\ y = 2R \sin \alpha \end{cases} \quad (9)$$

Следовательно, режущий элемент перемещается по прямой, проходящей через ось вращения заготовки, что обеспечивает возможность обработки прямолинейных пазов.

Схема обработки по рис. 2 при $L \neq R$ в зависимости от значения i и количества режущих элементов позволяет изготавливать четное или нечетное число пазов переменной ширины, например, кулачковых муфт.

В рассмотренных выше схемах обработки профиль паза образуется методом копирования, поэтому его ширина не превышает удвоенной длины проекции режущей кромки резца на плоскость, перпендикулярную оси паза (траектории исполнительного движения). Это ограничивает технологические возможности данных схем по ширине пазов, так как с увеличением последней соответственно возрастает сила резания, что снижает виброустойчивость обрабатываемой системы. В этой связи обе схемы целесообразно использовать преимущественно для обработки узких пазов.

Для исключения влияния ширины обрабатываемых пазов на виброустойчивость станка и повышения универсальности режущего инструмента рекомендуется формировать паз по ширине не одновременно, а последовательно, т.е. не методом копирования, а методом следа или сочетанием данных методов. На этом принципе основана схема обработки пазов на торцах деталей [2], представленная на рис. 3. От схемы на рис. 2 она отличается тем, что требуемую ширину пазов обеспечивают не за счет параметров режущей части инструмента, а кинематически, сообщая заготовке дополнительное вращение V_4 во время профилирования паза по ширине. В данном случае процесс обработки состоит из последовательно выполняемых этапов врезания и профилирования.

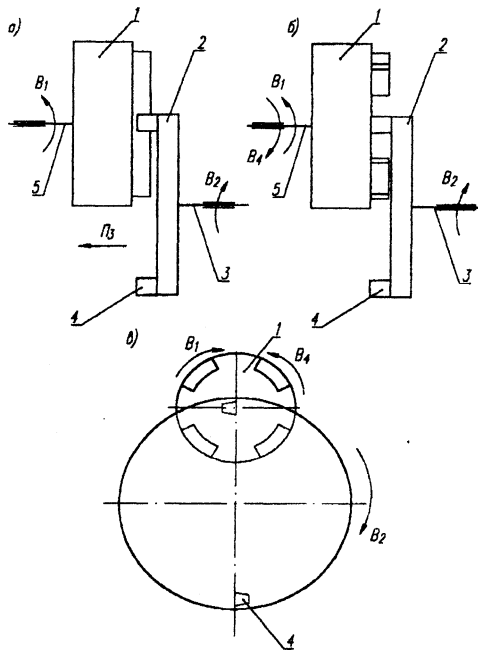


Рис. 3. Схема обработки широких пазов: а (б) – кинематическая схема обработки на этапе врезания (профилирования); в – относительное расположение инструмента и заготовки.

На этапе врезания заготовке 1 (рис. 3, а) сообщают вращение B_1 с частотой n_1 вокруг оси 5, а режущей головке 2 – вращение B_2 с частотой n_2 вокруг оси 3 в том же направлении, что и вращение B_1 . При этом $n_2/n_1=2$. Одновременно с движениями B_1 и B_2 режущей головке сообщается также движение Γ_3 вдоль оси 3.

При переходе к этапу профилирования изменяют соотношение частот вращательных движений заготовки и режущей головки, имевшее место на этапе врезания. Тем самым создают относительное перемещение режущих зубьев режущей головки вдоль контура заготовки для получения требуемой ширины паза.

Соотношение частот вращательных движений заготовки и режущей головки задают в зависимости от скорости и направления движения профилирования по формуле

$$\frac{n_1}{n_2} = 0,5 \pm \frac{S}{\pi d n_2}, \quad (10)$$

где S – скорость движения профилирования (круговая подача);

d – диаметр заготовки;

Знак «плюс» соответствует одинаково направленным вращению заготовки и движению профилирования, «минус» – противоположно направленным этим движениям.

Для обеспечения соотношения (10) изменяют по сравнению с этапом врезания частоту вращения заготовки на

$$\Delta n_1 = \frac{S}{\pi d} \quad (11)$$

или частоту вращения резцовой головки на

$$\Delta n_2 = \frac{2S}{\pi d}. \quad (12)$$

Практически это обеспечивается при сообщении дополнительного вращения V_4 заготовке (рис. 3, б, в) или резцовой головке соответственно с частотой Δn_1 или Δn_2 . Поэтому в первом случае частоту вращения заготовки на этапе профилирования задают по формуле

$$n_1 = 0,5n_2 \pm \frac{S}{\pi d}, \quad (13)$$

а во втором – изменяют частоту вращения резцовой головки:

$$n_2 = 2n_1 \pm \frac{2S}{\pi d}. \quad (14)$$

Благодаря тому, что после выполнения этапа врезания изменяют соотношение частот вращательных движений резцовой головки и заготовки и тем самым создают движение профилирования, обеспечивается возможность обрабатывать пазы, ширина которых не зависит от длины режущей кромки зуба инструмента, а определяется временем этапа профилирования.

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. В этом случае количество режущих элементов не зависит от числа нарезаемых пазов, что позволяет управлять толщиной срезаемых слоев металла и оптимизировать условия резания.

Рассмотренные схемы обработки реализуются на специальных или модернизированных универсальных зубошлицефрезерных станках, изготавливаемых Витебским станкостроительным заводом им. Коминтерна.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.С. 1798053 СССР, МКИ В23С3/00. Способ обработки пазов на торцах деталей / В.А. Данилов, Л.А. Данилова. – Оpubл. Б.И., 1993, №8.
2. А.С. 1798055 СССР, МКИ В23С3/28. Способ обработки пазов на торцах деталей / В.А. Данилов. – Оpubл. Б.И., 1993, №8.