

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ (19) **ВУ** (11) **6063**



(13) **С1**

(51)<sup>7</sup> **В 23С 3/28**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(54) **СПОСОБ ОБРАБОТКИ ПАЗОВ НА ТОРЦАХ ДЕТАЛЕЙ**

(21) Номер заявки: а 19980652

(22) 1998.07.10

(46) 2004.03.30

(71) Заявитель: Полоцкий государственный университет (ВУ)

(72) Авторы: Данилов Виктор Алексеевич;  
Киселев Руслан Анатольевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Полоцкий государственный университет (ВУ)

(57)

1. Способ обработки пазов на торцах деталей, при котором детали и режущему инструменту сообщают согласованное вращение вокруг параллельных осей и относительное движение подачи вдоль оси вращения детали, **отличающийся** тем, что согласованное вращение детали и режущего инструмента осуществляют в одинаковом или в противоположном направлениях, а расстояние между осями вращения детали и режущего инструмента и радиус режущего инструмента определяют по зависимостям:

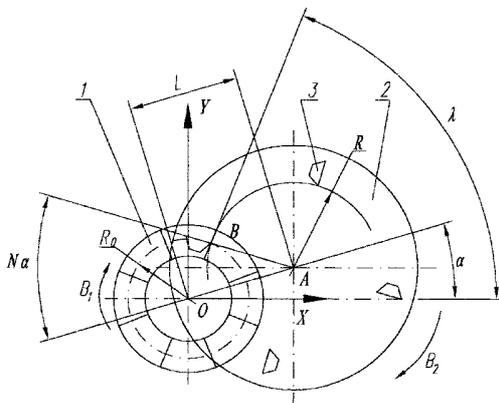
$$L = \sqrt{R^2 + R_0^2 \frac{N \pm 2}{N}},$$

$$R = \frac{R_0 - \frac{N \pm 2}{N} R_0}{-2 \cos(N\alpha + (\lambda - \alpha))},$$

где

$$\alpha = \left( \arccos \frac{R_0^2 \left( 1 - \frac{N \pm 2}{N} \right) - 2R^2}{-2R \sqrt{R^2 + \frac{N \pm 2}{N} R_0^2}} \right) / N,$$

$$\lambda = \frac{3\pi}{2N},$$



Фиг. 1

# ВУ 6063 С1

L - расстояние между осями вращения режущего инструмента и детали,  
R - минимальный радиус режущего инструмента,  
R<sub>0</sub> - средний радиус расположения пазов,  
N - отношение частот вращения режущего инструмента и детали,  
знак "-" соответствует одинаково направленному, а знак "+" - противоположно направленному вращению режущего инструмента и детали.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что используют режущий инструмент с числом режущих элементов, равным числу обрабатываемых пазов.

(56)

Малов А.Н. Механизация и автоматизация универсальных металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1969. - С. 78-80.

SU 1798055 A1, 1993.

SU 1241589 A1, 1989.

SU 1180177 A1, 1985.

---

Изобретение относится к области обработки резанием и найдет применение в машиностроении при изготовлении различных деталей с пазами на торцах, например кулачковых муфт и т.п.

Известен способ обработки пазов на торцах деталей [1], согласно которому детали и резцовой головке сообщают согласованные вращательные движения вокруг скрещивающихся осей под прямым углом осей и резцовой головке сообщают в плоскости вращения детали взаимосвязанные поступательное перемещение и поворот, причем поступательное перемещение осуществляют вдоль прямой, пересекающей с осью вращения детали, а поворот резцовой головки выполняют вокруг оси, перпендикулярной этой прямой и пересекающей с осью вращения резцовой головки.

Недостатком известного способа является то, что он позволяет обрабатывать только детали с пазами, имеющими параллельные боковые грани. Недостатком этого способа является также сложность кинематики и необходимость согласования поступательного перемещения (движения подачи) и поворота инструмента.

Известен также способ обработки пазов на торцах деталей, по которому обработку осуществляют резцовой головкой, которой и детали сообщают одинаково направленные согласованные вращательные движения вокруг параллельных осей с отношением частот, равным двум, и относительное движение подачи вдоль оси вращения детали [2]. Количество резцов в головке устанавливают в два раза меньше числа обрабатываемых пазов.

Недостатком известного способа является то, что количество резцов в головке обусловлено количеством пазов. Это ограничивает производительность и технологические возможности способа. Недостатком этого способа является то, что он позволяет обрабатывать детали только с четным числом пазов, имеющих параллельные грани, что также ограничивает область его применения.

Задачей настоящего предложения является расширение технологических возможностей процесса и повышение производительности обработки пазов на торцах деталей.

Указанная задача решается за счет того, что детали и режущему инструменту сообщают согласованное вращение вокруг параллельных осей и относительное движение подачи вдоль оси вращения детали, при этом согласованные вращения детали и режущего инструмента осуществляют в одинаковом или противоположном направлениях, а расстояние между осями вращения детали и режущего инструмента и радиус режущего инструмента определяют по зависимостям:

$$L = \sqrt{R^2 + R_0^2 \frac{N \pm 2}{N}},$$

# ВУ 6063 С1

$$R = \frac{R_0 - \frac{N \pm 2}{N} R_0}{-2 \cos(N\alpha + (\lambda - \alpha))},$$

где

$$\alpha = \left( \frac{\arccos R_0^2 \left( 1 - \frac{N \pm 2}{N} \right) - 2R^2}{-2R \sqrt{R^2 + \frac{N \pm 2}{N} R_0^2}} \right) / N,$$
$$\lambda = \frac{3\pi}{2N},$$

L - расстояние между осями вращения режущего инструмента и детали,

R - минимальный радиус инструмента,

R<sub>0</sub> - средний радиус расположения пазов,

N - отношение частот вращательных движений инструмента и детали, знак "-" соответствует одинаково направленному, а знак "+" - противоположно направленному вращению режущего инструмента и детали.

Для повышения производительности используют режущий инструмент с числом режущих элементов, равным числу обрабатываемых пазов.

Отличительные признаки предлагаемого способа обеспечивают получение технического результата в виде возможности управления траекторией относительных движений режущих элементов и увеличения числа последних. Благодаря этому способ обладает по сравнению с прототипом более широкими технологическими возможностями и более высокой производительностью.

На фиг. 1 изображена кинематическая схема обработки с одинаково направленными вращательными движениями режущего инструмента и детали; на фиг. 2 - с разнонаправленными вращательными движениями режущего инструмента и детали; на фиг. 3 изображена траектория движения точки режущей кромки инструмента, на фиг. 4 показана деталь, обработка которой рассматривается в примере, на фиг. 5 - деталь по фиг. 4 в разрезе.

Обработку радиальных пазов на торце детали 1 (фиг. 1, 2) со средним радиусом R<sub>0</sub> осуществляют резцовой головкой 2, которую устанавливают от оси заготовки на расстоянии L и оснащают резцами 3, равномерно расположенными по окружности радиуса R.

Для анализа как относительных, так и абсолютных перемещений инструмента и детали в рассматриваемую систему формообразования введена декартова система координат XOY с началом в центре детали.

В процессе обработки детали 1 и режущему инструменту 2 сообщают согласованные вращательные движения соответственно В<sub>1</sub> и В<sub>2</sub>. Отношение N угловых скоростей движений В<sub>1</sub> и В<sub>2</sub> задают пропорциональным количеству пазов m:

$$N = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{m}{k}, \quad (1)$$

где ω<sub>1</sub> - угловая скорость детали,

ω<sub>2</sub> - угловая скорость режущего инструмента,

k - целое число, меньшее m.

Это соотношение обусловлено необходимостью выполнения движения деления, т.е. непрерывного перехода от паза к пазу. Для формирования паза по глубине режущему инструменту сообщают прямолинейное перемещение (движение врезания) вдоль оси вращения детали.

При условной (на основании принципа обратимости движения) остановке детали режущий инструмент приобретает дополнительное вращение - В<sub>1</sub> относительно оси детали (начало системы координат) в направлении, противоположном ее вращению на станке. В результате ось режущего инструмента движется по окружности радиуса L (расстояние OA

# ВУ 6063 С1

между осями вращательных движений режущего инструмента и детали). В качестве начального (нулевого) состояния системы задаемся относительным положением режущего инструмента и детали, при котором ось режущего инструмента и точка В, принадлежащая режущей кромке, лежит на оси абсцисс, причем расстояние от точки В до оси детали минимально и равно  $L-R$ , где  $R$  - минимальный радиус режущего инструмента. Для анализа относительных перемещений режущего инструмента и детали необходимо ввести временной или геометрический параметр, который позволяет определить их относительное положение в любой момент времени.

Введем геометрический параметр  $\alpha$  - угол поворота детали (или перемещение режущего инструмента в относительном движении) и примем, что в начальном состоянии системы формообразования  $\alpha = 0$ . Так как вращение режущего инструмента и детали согласованы через параметр  $N$ , то любому изменению угла  $\alpha$  будет соответствовать трансформация угла между отрезками  $OA$  и  $AB$  на величину  $N\alpha$  (см. фиг. 1).

Требуемую форму обрабатываемого паза получают за счет настройки расстояния между осями режущего инструмента и детали, а также радиуса установки режущих элементов в инструменте. При обработке сходящихся пазов расстояние между осями вращательных движений настраивают по зависимости:

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

где  $R$  - минимальный радиус инструмента,

$R_0$  - средний радиус расположения пазов,

$N$  - отношение угловых скоростей вращательных движений режущего инструмента и детали,

знак "-" соответствует одинаково направленным, а знак "+" - противоположно направленным вращательным движениям режущего инструмента и детали.

Зависимость (2) получена следующим образом. Траектория движения режущего элемента (точки В, фиг. 3) в относительном движении при одинаково направленных движениях описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} x = L \sin \alpha - R \sin((N-1)\alpha), \\ y = L \cos \alpha + R \cos((N-1)\alpha), \end{cases} \quad (3)$$

где  $L=OA$  - расстояние между осями детали и режущего инструмента,

$R=AB$  - радиус режущего инструмента,

$\alpha$  - угол поворота детали или перемещение режущего инструмента в относительном движении,

$x, y$  - координаты рассматриваемой точки.

Уравнение касательной  $OC$  к траектории режущего элемента в относительном движении, проходящей через центр детали (начало координат), имеет вид:

$$\frac{x}{L \cos \alpha - R(N-1) \cos((N-1)\alpha)} = \frac{y}{-L \sin \alpha - R(N-1) \sin((N-1)\alpha)}. \quad (4)$$

Множество точек детали, принадлежащей ее среднему радиусу, задается уравнением окружности:

$$x^2 + y^2 = R_0^2. \quad (5)$$

Выражения (3)-(5) образуют систему уравнений:

$$\begin{cases} x = L \sin \alpha - R \sin((N-1)\alpha), \\ y = L \cos \alpha + R \cos((N-1)\alpha), \\ \frac{x}{L \cos \alpha - R(N-1) \cos((N-1)\alpha)} = \frac{y}{-L \sin \alpha - R(N-1) \sin((N-1)\alpha)}, \\ x^2 + y^2 = R_0^2 \end{cases} \quad (6)$$

# ВУ 6063 С1

или

$$\begin{cases} R_0^2 = L^2 + 2LR \cos(N\alpha) + R^2, \\ \frac{L \sin \alpha - R \sin((N-1)\alpha)}{L \cos \alpha - R(N-1) \cos((N-1)\alpha)} = \frac{L \cos \alpha + R \cos((N-1)\alpha)}{-L \sin \alpha - R(N-1) \sin((N-1)\alpha)}. \end{cases} \quad (7)$$

Из второго уравнения системы (7)

$$\cos(N\alpha) = \frac{L^2 - (N-1)R^2}{(-RL + RL(N-1))}, \quad (8)$$

Подставляя выражение (8) в первое уравнение системы уравнений (7), получим:

$$R_0^2 = L^2 + R^2 + 2LR \frac{L^2 - (N-1)R^2}{LR((N-1)-1)}, \quad (9)$$

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

Аналогично если вращательные движения осуществляются навстречу друг другу, то:

$$L = \sqrt{R^2 + R_0^2 \frac{N+2}{N}}, \quad (10)$$

Из анализа (9) и (10) следует, что в общем случае расстояние между осями вращательных движений режущего инструмента и детали определяется зависимостью (2).

Радиус режущего инструмента настраивают в зависимое от формы пазов. Так, если ширина паза равна ширине выступа на среднем радиусе  $R_0$ , то минимальный радиус режущего инструмента при обработке по схеме с одинаково направленными вращательными движениями определяют из системы уравнений:

$$\begin{cases} R = \frac{R_0 - \frac{N-2}{N} R_0}{-2 \cos(N\alpha + (\lambda - \alpha))}, \\ \alpha = \frac{\left( \arccos R_0^2 \left( 1 - \frac{N-2}{N} \right) - 2R^2 \right)}{-2R \sqrt{R^2 + \frac{N-2}{N} R_0^2}} \Big/ N, \\ \lambda = \frac{3\pi}{2N}. \end{cases} \quad (11)$$

Система уравнений (11) получена следующим образом. Из треугольника АОВ (фиг. 3)

$$L^2 = R_0^2 + R^2 - 2R_0 R \cos(\pi - (N\alpha + \lambda\alpha))$$

или с учетом уравнения (9)

$$\frac{N-2}{N} R_0^2 = R_0^2 + 2R_0 R \cos(N\alpha + (\lambda - \alpha)),$$

$$R = \frac{R_0^2 - \frac{N-2}{N} R_0^2}{-2R_0 \cos(N\alpha + (\lambda - \alpha))}. \quad (12)$$

Преобразовав уравнение (8), с учетом уравнения (9) получим:

$$\begin{cases} \cos(N\alpha) = \frac{R_0^2 \left( 1 - \frac{N-2}{N} \right) - 2R^2}{-2R \sqrt{R^2 + \frac{N-2}{N} R_0^2}}, \\ \alpha = \frac{\left( \arccos R_0^2 \left( 1 - \frac{N-2}{N} \right) - 2R^2 \right)}{-2R \sqrt{R^2 + \frac{N-2}{N} R_0^2}} \Big/ N. \end{cases} \quad (13)$$

# ВУ 6063 С1

Зависимости (12) и (11) образуют систему уравнений (11). Аналогично для схемы с разнонаправленными вращательными движениями радиус режущего инструмента настраивают исходя из системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} R = \frac{R_0 - \frac{N+2}{N}R_0}{-2 \cos(N\alpha + (\lambda - \alpha))}, \\ \alpha = \left( \frac{\arccos R_0^2 \left( 1 - \frac{N+2}{N} \right) - 2R^2}{-2R \sqrt{R^2 + \frac{N+2}{N}R_0^2}} \right) / N. \end{array} \right. \quad (14)$$

Скорость резания  $V$  при обработке предлагаемым способом равна геометрической сумме скоростей  $V_1$  и  $V_2$  на среднем радиусе. При одинаково направленных вращательных движениях

$$V^2 = (R\omega_1)^2 + (R_0\omega_2)^2 - \omega_1\omega_2(R^2 - R_0^2 - L^2), \quad (15)$$

а при разнонаправленных вращательных движениях

$$V^2 = (R\omega_1)^2 + (R_0\omega_2)^2 + \omega_1\omega_2(R^2 - R_0^2 - L^2). \quad (16)$$

Поэтому частоту вращения детали  $n_1$  для заданной скорости резания настраивают по зависимости:

$$n_1 \leq \frac{V}{2\pi \sqrt{R^2 + (R_0N)^2 \pm N(R^2 + R_0^2 - L^2)}}, \quad (17)$$

где знак "-" соответствует одинаково направленным, а знак "+" - противоположно направленным вращательным движениям инструмента и детали.

Частоту вращения инструмента  $n_2$  задают в  $N$  раз больше частоты вращения детали.

## Пример.

Обрабатываемая деталь (фиг. 4, 5) имеет следующие параметры: наружный диаметр  $D = 50$  мм; внутренний диаметр  $d = 40$  мм; средний радиус расположения пазов  $R_0 = (D+d)/4 = (50+40)/4 = 22,5$  мм; количество пазов - 5; глубина пазов  $h = 5$  мм; ширина пазов равна ширине впадины на среднем диаметре, следовательно,  $\lambda = 54^\circ$ . Скорость резания  $V = 200$  м/мин; подача на зуб  $S_z = 0,02$  мм; количество режущих зубьев инструмента  $z = 1$ .

Обработка пазов осуществляется по схеме с одинаково направленными вращательными движениями инструмента и детали.

В соответствии с системами уравнений (2) и (4) настраивают соответственно минимальный радиус инструмента  $R = 16,3$  мм и расстояние между осями вращательных движений режущего инструмента и детали  $L = 23,8$  мм. Отношение их частот настраивают равным 5.

Расчетное значение частот вращения заготовки для заданной скорости резания в соответствии с (17) составит  $n_1 = 154,7$  мин<sup>-1</sup>. Настраивают:  $n_1 = 150$  мин<sup>-1</sup>;  $n_2 = 5n_1 = 750$  мин<sup>-1</sup>. Одновременно инструменту сообщают перемещение вдоль оси вращения детали с подачей

$$S_M = S_z z n_1 = 0,02 \cdot 1 \cdot 150 = 3 \text{ мм/мин.}$$

Благодаря настройке радиуса инструмента и его положения относительно заготовки в зависимости от угла между боковыми поверхностями пазов точка режущей кромки, расположенная на минимальном радиусе инструмента  $R = 16,3$  мм, последовательно формирует боковые поверхности всех пазов по линиям, проходящим через центр вращения детали. Тем самым осуществляется обработка сходящихся пазов с заданным углом между боковыми сторонами, что невозможно при использовании способа-прототипа.

Машинное время обработки  $T_1$  пазов для указанных исходных данных составит:

$$T_1 = \frac{h}{S_M} = \frac{5}{0,02 \cdot 1 \cdot 150} = 1,66 \text{ (мин).}$$

# ВУ 6063 С1

При оснащении инструмента режущими элементами по числу пазов ( $z = m = 5$ ) машинное время обработки:

$$T_2 = \frac{h}{S_{M2}} = \frac{5}{0,02 \cdot 5 \cdot 150} = 0,33 \text{ (мин)}.$$

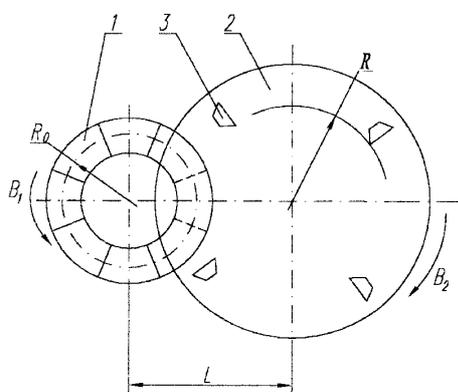
Следовательно, технологическая производительность возрастает в 5 раз.

Таким образом, предлагаемый способ имеет более широкие технологические возможности и обеспечивает более высокую производительность обработки.

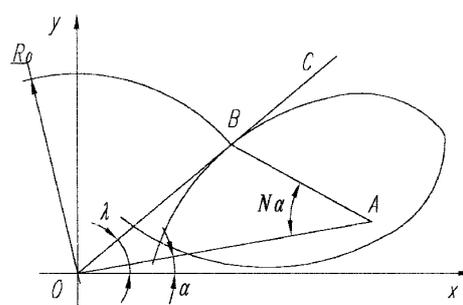
Источники информации:

1. А.с. СССР 1798053, МКИ В 23С 3/00. Способ обработки пазов на торцах деталей / В.А. Данилов и В.А. Данилова // Бюллетень изобретений. - 1993. - № 8.

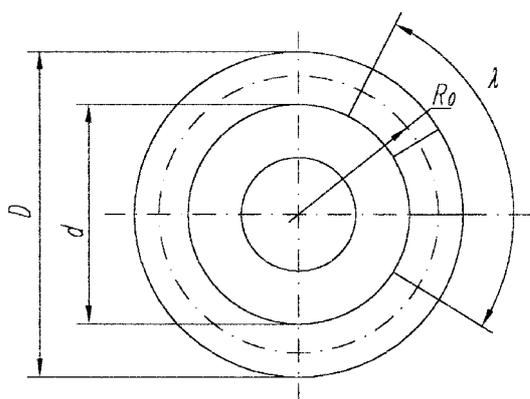
2. Малов А.М. Механизация и автоматизация универсальных металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1969. - С. 78-80.



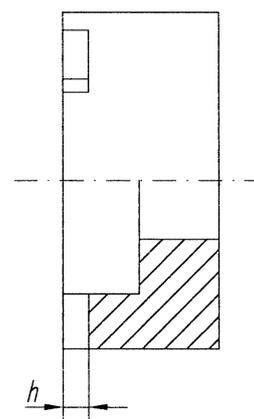
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5