

Оценка влияния кинематических погрешностей передач на точность отверстий, обработанных на ротационном станке

Ротационный станок автора состоит из звездообразной шпиндельной сверлильной головки, связанной посредством зубчатых передач с мальтийским механизмом подачи.

Установлено, что при использовании в устройстве безлюфтных зубчатых передач 6-ой степени точности и небольшом мертвом ходе мальтийского креста точность отверстий примерно соответствует 12-ому качеству.

ротационный станок, сверлильная головка, зубчатые передачи, мальтийский механизм, обработка отверстий и их точность

Настоящая работа посвящена исследованию технологических возможностей ротационного станка по части точности обработки радиальных и аксиальных отверстий в деталях класса втулок и дисков массового производства.

Особенность конструкции этого станка, являющегося усовершенствованным вариантом устройства для обработки отверстий по а.с. №1465262[1], состоит в том, что на этом станке рабочая подача обрабатываемых деталей 1 (рис.1), относительно режущих инструментов 2, установленных в шпинделях 3.1 звездообразной револьверной головки 3 осуществляется не от копиров, как обычно [2], а с помощью многоцевочного мальтийского механизма внешнего зацепления (МММ)-4 [3], один конец выходного вала которого 4.1 посредством зубчатой передачи 10-11 (назовём её

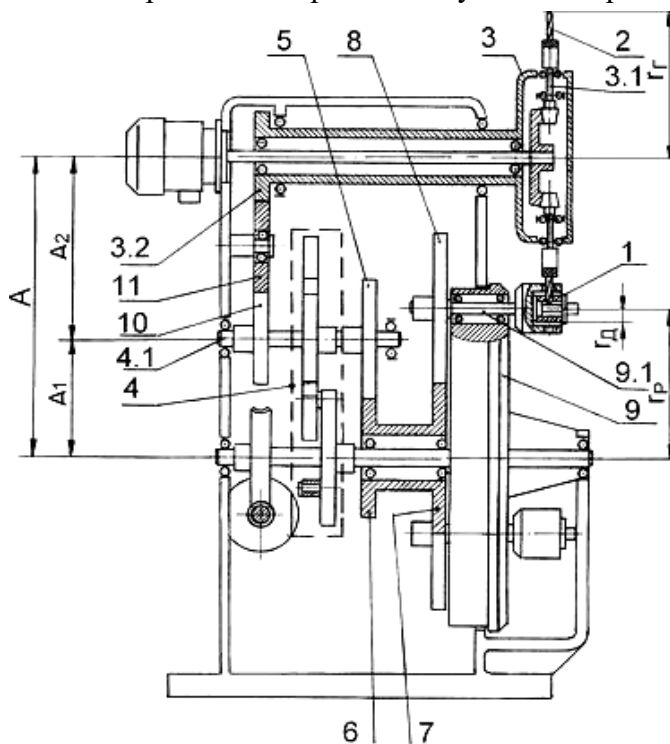


Рисунок 1 – Кинематическая схема станка

цепью прямой связи) связан с вал-шестерней 3.2 револьверной головки 3, а другой конец вала 4.1 посредством зубчатой передачи 5-6-7-8 (назовем ее цепью обратной связи) связан с шпинделями 9.1 ротора 9, несущими обрабатываемые детали 1. Водило мальтийского механизма 4 и связанный с водилом ротор 9, вращают со скоростью подачи, а оно (водило) через мальтийский крест вращает револьверную головку 3, которая, в свою очередь, через цепь обратной связи вращает шпиндели 9.1, (их может быть несколько). Одновременно вращают со скоростью резания шпиндели 3.1 револьверной головки 3. Передаточное отношение цепи прямой связи равно -1 , а цепи обратной связи $+1$, благодаря чему любые приращения угла поворота головки вызывают точно такие же приращения углов поворота шпинделей 9.1 и транспортируемых ими деталей 1, что обеспечивает совпадение оси обрабатываемого отверстия с осью обрабатывающего его инструмента (после однократного совмещения этих осей при сборке станка) и непрерывное отслеживание детали этой осью.

В данной статье рассматривается влияние на точность отверстий только кинематических погрешностей зубчатых передач и мальтийского механизма. Что касается других факторов (упругих отжатию инструмента, смещения его оси относительно оси кондукторной втулки), то они рассмотрены в других работах, например, в работе [4] и общеизвестны. Для оценки влияния на точность отверстий кинематических погрешностей зубчатых передач станка рассмотрим их развернутую схему (рис. 2).

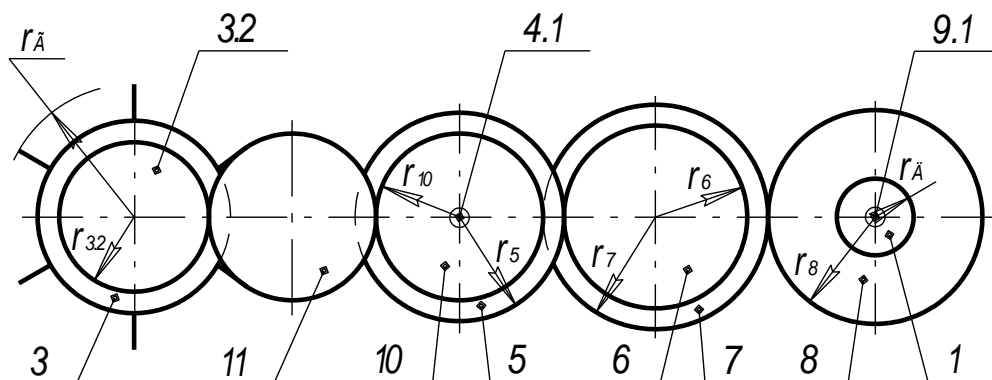


Рисунок 2 – Упрощенная развернутая схема зубчатых передач станка

Конечным звеном цепи прямой связи является револьверная головка 3, вершины инструментов которой при ее вращении описывают окружность радиуса r_r , а конечным звеном цепи обратной связи является обрабатываемая деталь 1 радиуса r_d (если обрабатываемая деталь, например, диск). Кинематическая погрешность цепи прямой связи, приведенная к ее конечному звену – револьверной головке может быть вычислена по формуле:

$$F'_{i_{гол}} = \frac{6,88 \cdot \pi \cdot r_r \cdot KF_{i_{10-3.2}}}{60 \cdot 180^\circ D_{3.2}} = 0,002 r_r \cdot KF'_{i_{10-3.2}} / D_{3.2}, \quad (1)$$

где K - коэффициент фазовой компенсации звеньев [5];

$F'_{i_{10-3.2}}$ – кинематическая погрешность цепи прямой связи 10 – 3.2;

$D_{3.2}$ – диаметр делительной окружности зубчатого венца вал-шестерни 3.2,

а кинематическая погрешность цепи обратной связи, приведенная к ее конечному звену – обрабатываемой детали может быть вычислена по формуле

$$F'_{i_{дет}} = \frac{6,88 \pi r_d \cdot K}{60 \cdot 180^\circ} \left(\frac{F'_{i_{5-6}}}{D_6} + \frac{F'_{i_{7-8}}}{D_8} \right) = 0,002 r_d \cdot K \left(\frac{F'_{i_{5-6}}}{D_6} + \frac{F'_{i_{7-8}}}{D_8} \right), \quad (2)$$

Из-за кинематических погрешностей возможно рассогласование угловых скоростей конечных звеньев, и, как следствие – развал отверстия, снижающий его точность. В зависимости от того как была собрана передача между кинематическими погрешностями цепей прямой и обратной связи может иметь место сдвиг фаз на угол равный нулю или на угол, равный π . [6]

Рассмотрим два маловероятных, но возможных случая взаимного расположения геометрических образов кинематических погрешностей $F'_{i\text{гол}}$ и $F'_{i\text{дет}}$ при которых в момент врезания инструмента они проходят через точки А и Б (рис.3), когда угол поворота головки за время обработки отверстия

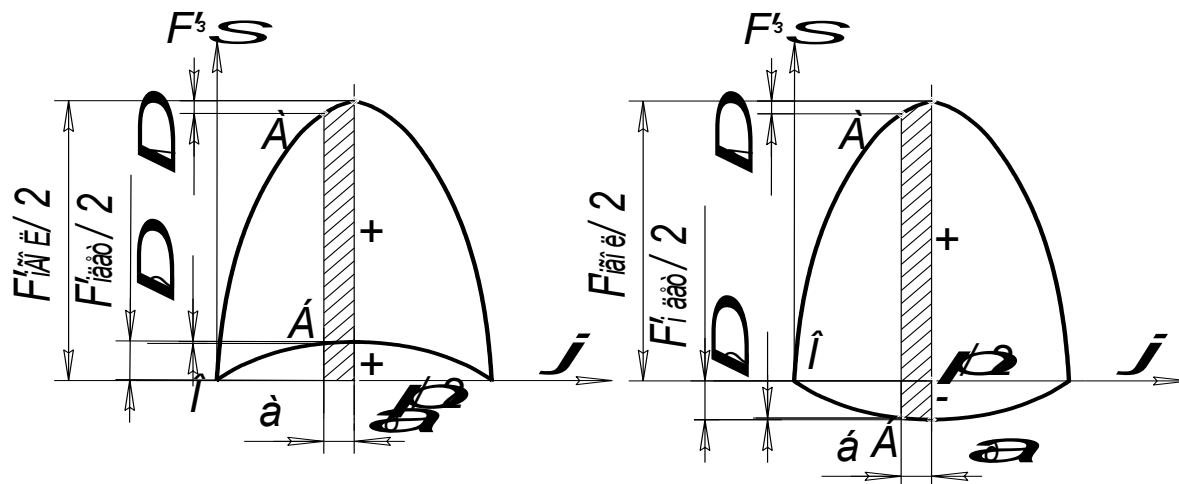
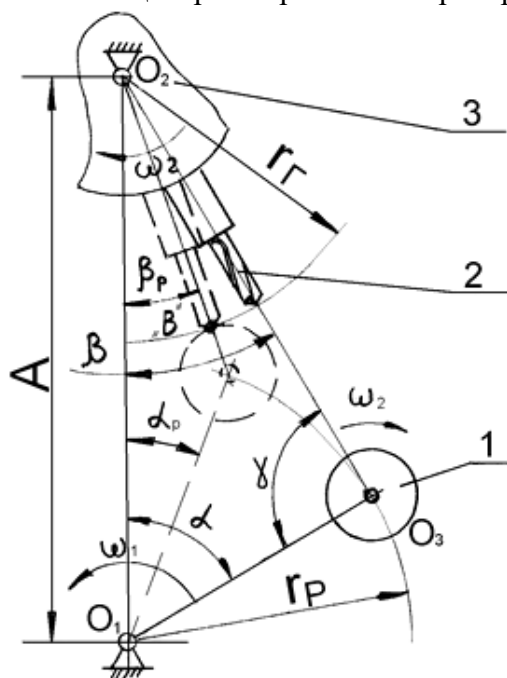


Рисунок 3 – Кинематические погрешности цепей прямой и обратной связи, при разных углах сдвига их фаз. а- угол сдвига фаз =0; б- угол сдвига фаз = π

$$\alpha_p = \arccos \frac{r_p^2 + A^2 - (r_\Gamma + r_D)^2}{2Ar_p}, \quad (3)$$

где r_p – радиус окружности, описываемой центрами шпинделей ротора-9.1 (радиус ротора);

A – межцентровое расстояние ротора и револьверной головки, рис.4.



Случай первый, когда угол сдвига фаз кинематических погрешностей равен нулю. В этом случае смещение Δ_1 инструмента относительно точки „B” его встречи с деталью и смещение Δ_2 детали относительно этой же точки, приводящие к развалу обрабатываемого отверстия будут иметь одинаковые знаки поэтому развал отверстия в плоскости движения детали будет:

Рисунок 4 – Схема взаимного расположения детали 1 и инструмента 2 до и в момент их встречи в точке „B”

$$\Delta_{\Sigma 1} = \Delta_1 - \Delta_2, \quad (4)$$

где

$$\Delta_1 = \frac{F'_{iГ}}{2} - \frac{F'_{iД}}{2} \sin(90^\circ - \alpha_P) = \frac{F'_{iГ}}{2} (1 - \cos \alpha_P), \quad (5)$$

$$\Delta_2 = \frac{F'_{iД}}{2} - \frac{F'_{iГ}}{2} \sin(90^\circ - \alpha_P) = \frac{F'_{iД}}{2} (1 - \cos \alpha_P). \quad (6)$$

Подставляя эти данные в формулу (4), будем иметь:

$$\Delta_{\Sigma I} = \frac{F'_{iГ} - F'_{iД}}{2} (1 - \cos \alpha_P). \quad (7)$$

Случай второй, когда угол сдвига фаз между $F'_{iГол}$ и $F'_{iДет}$ равен π . В этом случае смещения Δ_1 и Δ_2 имеют разные знаки и развал отверстия будет равен:

$$\Delta_{\Sigma II} = \frac{F'_{iГ} - F'_{iД}}{2} (1 - \cos \alpha_P), \quad (8)$$

т.е. погрешность диаметра отверстия будет наибольшей.

Определим, в качестве примера, некруглость отверстия, обработанного на ротационном станке в массивном сепараторе шарикоподшипника, вызванную кинематическими погрешностями его зубчатых передач и мальтийского механизма.

Основные данные ротационного станка (см.рис.1):

$A=860\text{мм}$; $r_{Г}=400\text{мм}$; $r_{P}=430\text{мм}$; $r_{Д}=46\text{мм}$; $\alpha_P=18^\circ$.

Количество инструментов револьверной головки $z_{и}=6$.

Количество шпинделей ротора, несущих детали $z_{ш}=3$.

Половина углового шага шпинделей ротора $\alpha = \frac{180}{3} = 60^\circ$.

Половина углового шага инструментов головки $\beta = \frac{180}{6} = 30^\circ$.

Число цевок водила $z_{ц} = z_{ш}$.

Число пазов мальтийского креста $z_{п} = z_{и}$.

A_1 -межцентровое расстояние, МММ.

A_2 -межцентровое расстояние креста МММ и револьверной головки.

$D_{3,2}, D_5, D_6, D_7, D_8, D_{10}, D_{11}$ - диаметры делительных окружностей зубчатого венца вал-шестерни 3.2 и зубчатых колес 5,6,7,8,10,11.

Радиус водила МММ принимаем из конструктивных соображений $r_B=85\text{мм}$, а модуль зубьев колес $m=2\text{мм}$.

Определяем межцентровые расстояния A_1, A_2 , числа зубьев колес, диаметры их делительных окружностей и устанавливаем кинематические погрешности колёс по 6-ой степени точности в соответствии с ГОСТ 1643-72.

$$A_1 = r_B \cdot \sin \gamma / \sin \beta = 85 \cdot \sin 90^\circ / \sin 30^\circ = 170\text{мм.}$$

$$\gamma = 180 - \alpha - \beta = 180^\circ - 60^\circ - 30^\circ = 90^\circ$$

$$z_5 + z_6 = \frac{2A_1}{m} = \frac{2 \cdot 170}{2} = 170; \quad z_5 = z_6 = \frac{170}{2} = 85; \quad D_{5,6} = 85 \cdot 2 = 170\text{мм.}$$

$$F'_{i5,6} = 34\text{мкм.}$$

$$A_2 = A - A_1 = 860 - 170 = 690\text{мм.}$$

$z_{10,11,3,2} = \frac{A_2}{2m} = \frac{690}{4} = 172,5$, т.к. число зубьев получилось дробное, то принимаем $z_{10} = z_{3,2} = 172$ зуба, а число зубьев сателлита 11- $z_{11}=173$,

$D_{10}=D_{3,2}=172,2=344$, а $D_{11}=173,6=346$ мм. для таких диаметров $F'_I=42$ мкм.

$$z_7 + z_8 = \frac{2r_p}{m} = \frac{2 \cdot 430}{2} = 430 \quad \text{и} \quad z_7 = z_8 = \frac{430}{2} = 215 \text{ зубьев.}$$

$$D_{7,8}=215 \cdot 2=430 \text{ мм, } F'_{i7,8}=42 \text{ мкм.}$$

Определяем кинематические погрешности обеих цепей и выражаем их в угловых единицах [5].

Цепь первая, прямая $z_{10} - z_{3,2}$:

$$F'_{i_{\max}} = k \left[\sqrt{(F'_{i10})^2 + E_{\Sigma M'}^2} + \sqrt{(F'_{i15})^2 + E_{\Sigma M''}^2} \right] = 2 \cdot 0,98 \sqrt{42^2 + 20^2} = 91,176 \text{ мкм.}$$

где $E_{\Sigma M'}$ и $E_{\Sigma M''}$ – суммарные приведенные погрешности монтажа колес z_{10} и $z_{3,2}$ соответственно.

$$\delta\varphi_i = 6,88 \cdot 91,176 / 344 = 1,823'$$

Цепь вторая, обратная:

$$F'_{i_{\max} 5-6} = 2 \cdot 0,98 \sqrt{34^2 + 20^2} = 1,96 \sqrt{1156 + 400} = 77,314 \text{ мкм.}$$

$$\delta\varphi_{5-6} = 6,88 \cdot 77,314 / 170 = 3,128'$$

$$F'_{i_{\max} 7-8} = 2 \cdot 0,98 \sqrt{42^2 + 20^2} = 1,96 \sqrt{2,164} = 91,176 \text{ мкм.}$$

$$\delta\varphi_{7-8} = 6,88 \cdot 91,176 / 430 = 1,458';$$

Определяем кинематические погрешности конечных звеньев обеих цепей (револьверной головки и обрабатываемой детали):

$$\text{Цепь прямая } F'_{ir} = \frac{\pi r_r \delta\varphi_i}{60 \cdot 180} = \frac{3,14 \cdot 400 \cdot 1,823}{60 \cdot 180} = 0,212 \text{ мм.}$$

$$\text{Цепь обратная } F'_{id} = \frac{3,14 \cdot 46(3,128 + 1,458)}{60 \cdot 180} = 0,06 \text{ мм.}$$

Определяем максимально возможную некруглость отверстия

$$\Delta_{\Sigma//} = \frac{0,212 + 0,06}{2} (1 - \cos 18^\circ) \approx 0,007 \text{ мм.}$$

Примечание: Расчёт кинематических погрешностей выполнялся методом максимума-минимума, без учета мертвого хода передач, т.к. предполагается, что он, благодаря противолюфтным устройствам, будет отсутствовать.

Кроме этой погрешности на точность отверстий негативное влияние могут оказывать также трудноустраняемые зазоры между цевками водила и пазами мальтийского креста из-за которых может происходить смещение инструмента относительно точки „В” (рис.4). Что касается детали, то она смещаться относительно этой точки не будет, т.к. она вместе с цевкой является звеном, ведущим крест. Так, при реально выполненном (приведенном к револьверной головке) зазоре между цевкой и пазом креста $\Delta_3 = 0,05$ мм смещение инструмента относительно точки „В” при радиусе головки $r_r = 400$ мм, может составить:

$$\Delta_{II} = \frac{\Delta_3}{2r_B} \cdot r_r = \frac{0,05}{2 \cdot 85} \cdot 400 = 0,117 \text{ мм,}$$

а суммарная погрешность (некруглость) отверстия из-за кинематических погрешностей зубчатых передач станка и зазоров между цевками водила и пазами креста:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{II} + \Delta_{\Sigma//} = 0,117 + 0,007 = 0,124 \text{ мм.}$$

Выводы.

1. При использовании в зубчатых передачах прямой и обратной цепи колес 6-ой степени точности с противолюфтными устройствами некруглость отверстий из-за кинематических погрешностей передач весьма незначительна.

2. Гораздо большая некруглость отверстия может возникнуть из-за зазоров между цевками водила и пазами мальтийского креста, поэтому для повышения точности диаметральных размеров отверстий, обрабатываемых на ротационном станке вышеописанным способом необходимо минимизировать эти зазоры.

Список литературы

- 1 А.С. SU 1465262 A1, B23Q39/00. Устройство для обработки отверстий/Волчкевич Л.И., Безуглый Л.И./Кировоградский институт сельскохозяйственного машиностроения//Открытия. Изобретения 1989 №10.
- 2 Л.Н.Кошкин. Роторные и роторно-конвейерные линии. М.;Машиностроение, 1982.
- 3 И.И.Артоболовский. Механизмы в современной технике. Т3.М.; „Наука”, 1973.
- 4 Справочник технолога по автоматическим линиям. Под ред. А.Г.Косиловой. М.; Машиностроение, 1982.
- 5 Цепи кинематические. Методы расчета точности ГОСТ 21098-82. М.; Гос. Комитет по стандартам.
- 6 И.А.Грейн Элементы проектирования и расчет механизмов приборов. Л.;Машиностроение, 1972.

Ротаційний верстат автора складається із зіркоподібної шпindelної свердлильної голівки, зв'язаної за допомогою зубчастих передач з мальтійським механізмом подачі.

Установлено, що при використанні в пристрої безлюфтних зубчастих передач 6-ого ступеня точності і невеликому мертвому ході мальтійського хреста точність отворів приблизно відповідає 12-ому квалітету.

The rotational machine tool of the author consists from star-shaped the drilling head connected by means of tooth gearings with the Maltese feeder. It is established, that at use in the device tooth gearings of 6-th degree of accuracy and a small dead course a cross accuracy of apertures approximately corresponds 12-th kvoaliti.

Получено 21.02.05