

Л.И. Безуглый, доц., канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет

Способ повышения производительности ротационного сверлильного станка

Приведено описание разработанного автором способа повышения производительности ротационного сверлильного станка за счёт повышения средней частоты вращения ротора без снижения стойкости режущего инструмента и описание устройства для осуществления способа.

ротационный станок, ротор, револьверная головка, частота вращения ротора, регулярные рельефы, производительность

Производительность ротационного сверлильного станка, описанного в [1] и реализующего схему обработки регулярных периферийных рельефов и профилей в деталях класса дисков, (например, ячеек высевających дисков сеялок) представленную на рис. 1 определяется по одной из формул:

$$P = Z_{\mathcal{D}} \cdot n_p \cdot \eta_{исп}, \quad \frac{\text{рельефов}}{\text{мин}} \quad (1)$$

или
$$\Pi = \frac{Z_{\mathcal{D}} \cdot n_p \cdot \eta_{исп}}{Z_0}, \quad \frac{\partial \text{ет.}}{\text{мин}} \quad (2)$$

где Z_d – количество установленных на роторе обрабатываемых деталей (т.е. количество рельефов, которые можно обработать за оборот ротора);

 n_p – частота вращения ротора, мин^{-1} ;

$\eta_{исп}$ – коэффициент технического использования станка, [2]

Z_0 – количество рельефов (отверстий, ячеек) в одной детали.

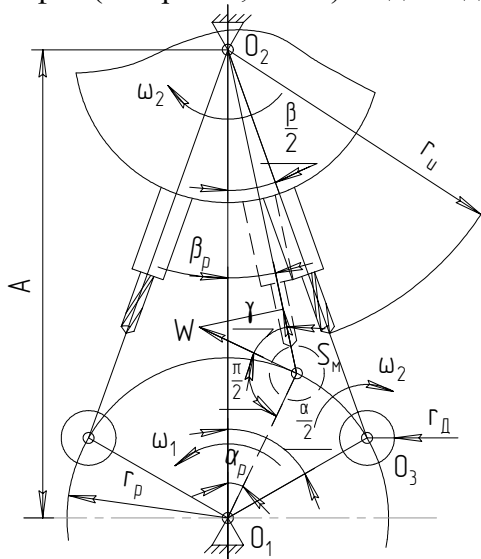


Рисунок 1 – Схема к определению закона подачи

Величина Z_d зависит от размеров обрабатываемых деталей и размеров ротора и поэтому является трудноуправляемой. Таким образом, основным резервом повышения производительности такого станка является повышение частоты вращения ротора. Из

схемы рис. 1 следует, что минутная подача деталей на инструменты S_M , которая должна быть не больше допустимой, равна

$$W \sin(\alpha_p + \beta_p) = 2\pi r_p \cdot n_p \sin(\alpha_p + \beta_p), \quad (3)$$

где α_p и β_p – углы поворотов ротора и кинематически связанной с ним и его шпинделями, посредством многоцевочного мальтийского механизма, звездообразной шпиндельной револьверной головки, соответствующие моменту врезания инструмента, где:

$$\alpha_p = \arccos \frac{r_p^2 + A^2 - (r_u + r_o)^2}{2Ar_p}; \quad (4)$$

$$\beta_p = \arctg \frac{r_p \cdot \sin \alpha_p}{A - r_p \cdot \cos \alpha_p}; \quad (5)$$

$$r_p = \frac{(r_o - h + r_u) \sin \frac{\beta}{2}}{\sin \gamma - \sin \frac{\beta}{2}}; \quad (6)$$

$$A = r_p + r_o + r_u - h; \quad (7)$$

$$\gamma = 180^\circ - \frac{\alpha + \beta}{2}, \quad (8)$$

α - угловой шаг шпинделей (позиций) ротора;

β - угловой шаг шпинделей револьверной головки;

h - глубина рельефа или отверстия.

В работе [3] было показано, что при синусоидальном законе изменения подачи, реализуемом, например, с помощью многоцевочного мальтийского механизма она (подача) без ущерба для стойкости режущего инструмента может быть увеличена, по сравнению с традиционным способом обработки при $[S_M] = const$, в 2,3 раза, поэтому в данном случае принимаем

$$[S_M] = 4,6\pi \cdot r_p \cdot \sin(\alpha_p + \beta_p). \quad (9)$$

Из этой формулы следует, что по мере внедрения инструмента в обрабатываемую деталь и уменьшения углов α_p и β_p минутная подача будет уменьшаться, что дает возможность, для ее поддержания на допустимом уровне, увеличить частоту вращения ротора и, таким образом, повысить производительность станка.

На основании этих предпосылок и проведенных исследований автором статьи был разработан способ повышения производительности, сущность которого состоит в том, что минимальную частоту вращения ротора, обеспечивающую допустимую минутную подачу в пределах углового шага его позиций, начиная с момента врезания инструмента и до окончания обработки рельефа(отверстия) постепенно увеличивают по закону:

$$n_p = \frac{[S_M]}{14,4 \sin \left(\varphi + \arcsin \frac{r_p \cdot \sin \varphi}{r_u + r_o} \right) r_p}, \quad (10)$$

а при выводе инструмента из отверстия путем поворота ротора на угол

$$\varphi_{xx} = (\alpha - \alpha_p), \quad (11)$$

частоту его вращения постепенно понижают по закону

$$n_p = \frac{(n_{pmax} - n_{pmin}) 180^\circ \varphi}{\pi(\alpha - \alpha_p)} + n_{pmin}, \quad (12)$$

где φ – текущий угол поворота ротора (в данном случае против часовой стрелки, хотя он может вращаться и в обратном направлении), убывающий за время обработки отверстия до нуля, начиная с $\varphi_0 = \alpha_p$

n_{pmax} – максимальная частота вращения ротора перед окончанием обработки отверстия, когда сумма $\alpha_p + \beta_p \rightarrow 0$;

n_{pmin} – минимальная частота вращения ротора, обеспечивающая допустимую минутную подачу;

φ_{xx} – угол холостого поворота ротора.

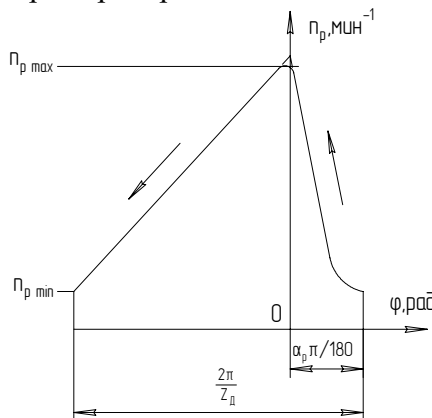


Рисунок 2 - График, характеризующий закон изменения частоты вращения ротора

На рис.2 представлен график, характеризующий предлагаемый закон изменения частоты вращения ротора, в пределах углового шага его позиций. Циклическое изменение частоты вращения ротора в пределах углового шага его позиций по такому закону позволит в несколько раз повысить среднюю частоту вращения ротора, а, следовательно, во столько же раз повысить производительность станка, что подтверждается следующим расчетом средней частоты вращения ротора при обработке отверстий $\varnothing 15 \times 15$ мм под шарики, расположенных на цилиндрической поверхности массивного сепаратора $\varnothing 100$ мм из сплава Д1Т шарикоподшипника 211D с допустимой минутной подачей $[S_M] = 1076,4$ мм/мин, рассчитанной по методике [4] и увеличенной в 2,3 раза согласно [3] на шестипозиционном роторном станке, у которого $\alpha = 60^\circ$ двенадцатишпиндельной звездообразной револьверной головкой, у которой $\beta = 30^\circ$.

Определяем необходимые для расчета исходные данные:

1. из конструктивных соображений принимаем $r_p = 265$ мм;
2. $A = r_p + r_d - h + r_u = 265 + 50 - 15 + 400 = 700$ мм;
3. $\alpha_p = \arccos \frac{265^2 + 700^2 - (50 + 400)^2}{2 \cdot 700 \cdot 265} = \arccos \frac{357725}{371000} = 15,373^\circ$;
4. $\beta_p = \arctg \frac{265 \cdot \sin 15,373^\circ}{700 - 265 \cos 15,373^\circ} = \arctg \frac{70,25}{444,5} = 8,98^\circ$;
5. $\alpha_p + \beta_p = 15,373^\circ + 8,98^\circ = 24,353^\circ$;
6. $n_{pmin} = \frac{468 \cdot 2,3}{6,28 \cdot 265 \sin 24,353^\circ} = 1,57$ мин⁻¹;
7. $n_{pmax} = \frac{468 \cdot 2,3}{6,28 \cdot 265 \cdot \sin 3^\circ} = \frac{468 \cdot 2,3}{6,28 \cdot 265 \cdot 0,052} = 12,4$ мин⁻¹

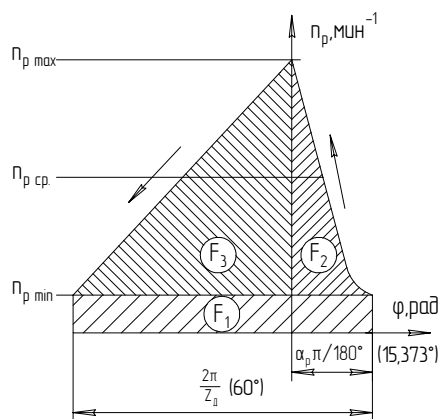


Рисунок 3 – К расчету средней частоты вращения ротора

Примечание: в данном случае перед окончанием обработки отверстия принимаем $\alpha_p + \beta_p = 3^\circ$, так как при $\alpha_p + \beta_p = 0$ формула для расчета $n_{p\max}$ теряет смысл.

Определяем площадь фигуры, ограниченной графиком, рис.3:

$$8. F_1 = n_{p\min} \cdot \frac{2\pi}{Z_d} = 1,57 \cdot \frac{6,28}{6} = 1,643 \text{ мин}^{-1} \cdot \text{рад}$$

$$9. F_2 = \frac{2,3[S_M]}{2\pi r_p} \cdot \int_0^{\alpha_p} \frac{d\varphi}{\sin \varphi} = 0,647 \left| \ln \operatorname{tg} \frac{15,373}{2} \right| = 1,29 \text{ мин}^{-1} \cdot \text{рад}$$

10.

$$F_3 = \frac{n_{p\max} - n_{p\min}}{2} \pi \left(\frac{2}{Z_d} - \frac{\alpha_p}{180^\circ} \right) = \frac{12,4 - 1,57}{2} \cdot 3,14 \left(\frac{2}{6} - \frac{15,373}{180^\circ} \right) = 4,216 \text{ мин}^{-1} \cdot \text{рад}$$

$$11. n_{p\text{ cp}} = \frac{\sum_{i=1}^3 F_i Z_d}{2\pi} = \frac{(1,643 + 1,29 + 4,216) \cdot 6}{6,28} = 6,83 \text{ мин}^{-1}$$

Таким образом, средняя частота вращения ротора в данном случае в 4,35 раза больше чем $n_{p\min} = 1,57 \text{ мин}^{-1}$, обеспечивающая допустимую подачу.

Для управления частотой вращения ротора в функции нагрузки на его электропривод разработано устройство, схема которого представлена на рис.4. Устройство состоит из следующих основных элементов: электродвигателя постоянного тока с якорным управлением 1, выполняющего функцию привода ротора, заключенного в стальной корпус соленоида 2, крышки 3, подвижно установленного в отверстие соленоида ферромагнитного сердечника 4, соосно соединенной с ним диамагнитной направляющей 5, поджатой расположенной в крышке 3 пружины 6, предназначенного для регулирования усилия пружины специального винта 7, двух, оппозитно расположенных в радиальном отверстии головки сердечника и взаимно подпружиненных скользящих контактов 8,9, взаимодействующего с контактом 8 нелинейного потенциометра 10, профиль нерабочей стороны каркаса которого выполнен по закону, пропорциональному первой производной от функции (10), взаимодействующего с контактом 9 линейного потенциометра 11, профиль нерабочей стороны каркаса которого выполнен по закону, пропорциональному первой производной от функции (12) [5], электромагнитного реле 12 с нормально открытым и нормально закрытым контактами, конечного выключателя 13, взаимодействующего с сердечником 4 и конечного выключателя 4, взаимодействующего с кулачками револьверной головки.

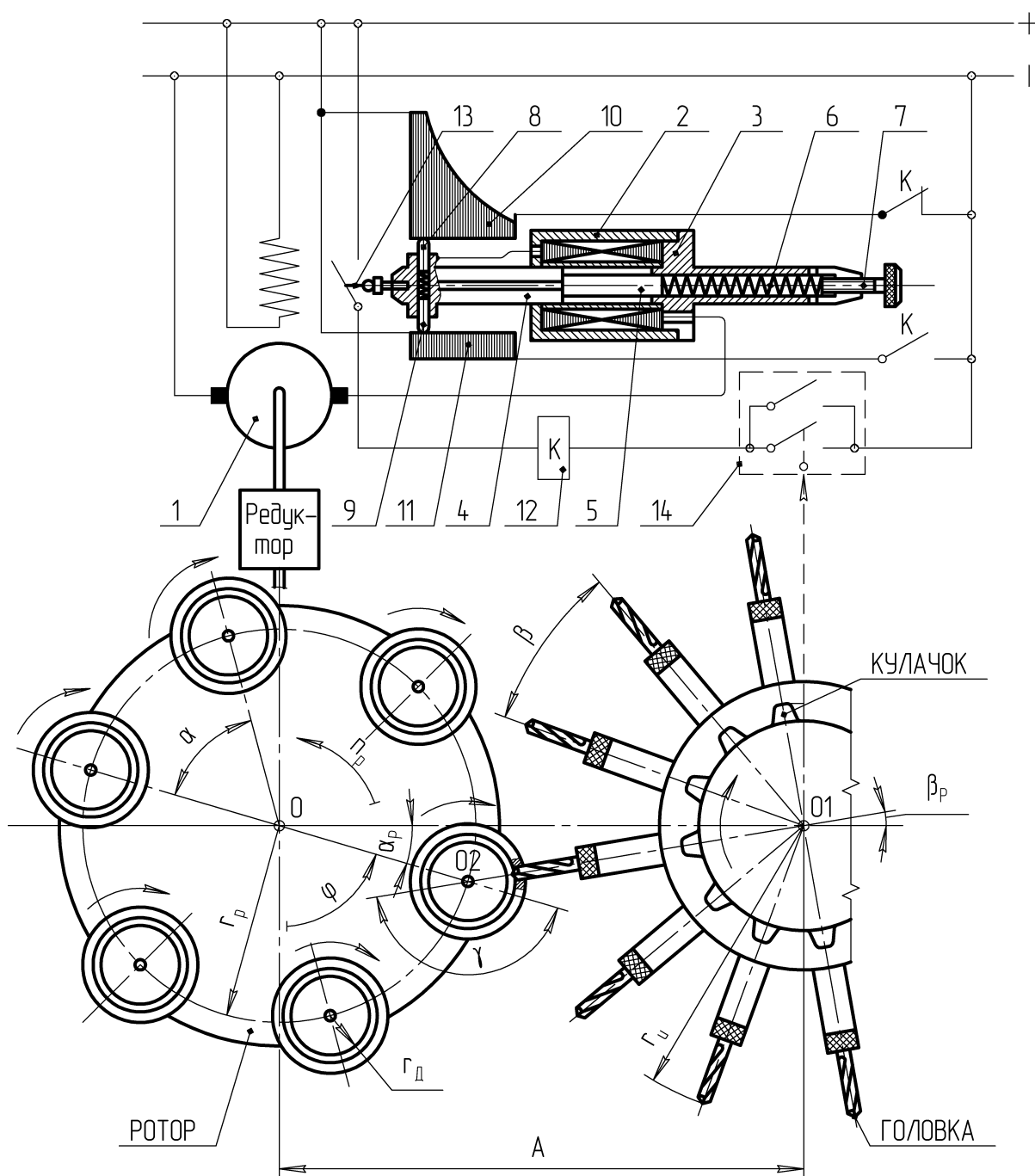


Рисунок 4 – Схема устройства для управления частотой вращения ротора

Устройство работает следующим образом: до врезания инструмента на обмотку управления электродвигателя подаются снимаемый с потенциометра 10 сигнал, составляющий (40-45)% от номинального напряжения U_B , подаваемого на обмотку возбуждения электродвигателя. Этот сигнал обеспечивает частоту вращения ротора, достаточную для осуществления допустимой подачи. При врезании инструмента, когда подача в силу особенностей, используемого для ее осуществления многоцевочного мальтийского механизма уменьшается, а вращающий момент – M двигателя увеличивается, ток в последовательно соединенных обмотках соленоиды и якоря согласно зависимости

$$I = \frac{M}{C_1 \cdot C_2 \cdot U_B}, [6] \quad (13)$$

где C_1, C_2 – постоянные для выбранного электродвигателя величины, возрастает, что увеличивает действующую на сердечник 4 пондеромоторную силу соленоида, которая по мере внедрения инструмента в деталь втягивает сердечник, а он – сжимает пружину 6, освобождая нормально открытый контакт взаимодействующего с ним конечного выключателя 13 и перемещает скользящий контакт 8 в сторону уменьшения сопротивления, обеспечивая повышение напряжения управления и частоты вращения ротора по закону (10). Когда инструмент внедрится в деталь на необходимую глубину h , которая регулируется величиной вылета инструмента $r_{\text{и}}$ головки, ее кулачек нажимает на конечный выключатель 14 и включает реле 12, которое с помощью своего нормально закрытого контакта выключает потенциометр 10 и одновременно с помощью своего нормально открытого контакта включает потенциометр 11. Так как при выводе инструмента из отверстия сила тока в соленоиде и развиваемая им пондеромоторная сила снижаются, предварительно сжатая пружина 6, будет перемещать сердечник 4 в исходное положение во время чего связанный с ним контакт 9 вместе с потенциометром 11 будут уменьшать напряжение управления и частоту вращения ротора по закону (12). При достижении сердечником исходного положения он нажмет на конечный выключатель 13 и выключит реле 12, подготавливая таким образом условия для повторения цикла.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что предложенный режим работы сверлильного станка позволяет повысить его производительность без снижения стойкости режущего инструмента

Список литературы

1. Деклараційний патент України №7247 7. B21K5/00, B23H9/14 на ротаційний верстат для обробки отворів. Бюл №6 від 15.06.2005р. авт. Безуглий Л.І.
2. Справочник технолога-машиностроителя том 1 под ред. к.т.н. Косиловой А.Г. и др. М., Машиностроение, 1985. - 598 с.
3. Збірник наукових праць Кіровоградського національного університету. Вип. 16, С. 118, Кіровоград, 2005.
4. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов. //Справочник под ред. к.т.н. Баранчикова В.М.– М.: «Машиностроение», 1990.– 265 с.
5. И.Ф.Бородин. Технические средства автоматики.– М.: «Колос».– 1982.– 238 с.
6. Ф.М. Юферов. Электрические двигатели автоматических устройств.– М.-Л.: «Госэнергоиздат», 1959.– 182 с.

Наведено опис розробленого автором способу підвищення продуктивності ротаційного сверлильного верстата за рахунок підвищення середньої частоти обертання ротору без зниження стійкості ріжучого інструменту і опис пристрою для здійснення способу.

Description of the method of increase of productivity of rotary drilling machine-tool developed by an author is resulted due to the increase of midfrequency of rotation of rotor without the decline of firmness of toolpiece and description of device for realization of method

Получено 8.11.06