

УДК 621.91

Е. П. Мельникова, д-р техн. наук, проф., **В. В. Быков**, канд. техн. наук, доц.,
А. Г. Абрамов

Автомобильно-дорожный институт (филиал)

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка, Россия,
ДНР

Тел./Факс: +7 (949) 40-88-909; E-mail: melnikova_adi@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СИЛ ТРЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СРАБАТЫВАНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В статье рассмотрен характер действия сил трения в прямоугольных направляющих станках токарного станка с внутренней адаптивной системой управления и его влияние на точность взаимного расположения инструмента и обрабатываемой детали. Выявлена зависимость между коэффициентом трения в направляющих обоймах резцов и точностью работы адаптивной системы управления.

Ключевые слова: токарный станок, инструмент, деталь, трение, адаптивная система управления.

E. P. Melnikova, V. V. Bykov, A. G. Abramov

EFFECT OF FRICTION FORCES ON THE EFFECTIVENESS OF THE ADAPTIVE CONTROL SYSTEM

Character of action forces friction in rectangular directing slidings of a lathe with an internal adaptive control system and its influence on accuracy of a relative positioning of the tool and a processed detail is considered. Dependence between friction factor in directing holders of cutters and accuracy of operation of the adaptive control system is revealed.

Keywords: lathe, tool, part, friction, adaptive control system.

1. Введение

Одним из методов управления точностью процесса резания является восстановление первоначальной точности взаимного расположения инструмента и обрабатываемой детали [1, 2, 3]. Это актуально при двурезцовой токарной обработке тормозных дисков автомобилей с применением токарного станка с внутренней адаптивной системой управления (АСУ). Такой станок разработан в лаборатории диагностики кафедры «Автомобильный транспорт» АДИ ДонНТУ и позволяет вести обработку поверхностей тормозных дисков непосредственно на автомобиле (рисунок 1).

Направляющие резцедержателей станка обеспечивают необходимое взаимное расположение резцов и возможность их перемещения относительно тормозного диска. Они обеспечивают взаимные возвратно-поступательные движения резцедержателей с одной степенью свободы и имеют прямоугольную форму, а действующие силы в направляющих постоянно изменяются, и определяются как составляющая силы резания и силы трения в направляющих. Скорости скольжения в направляющих определяются кинематикой и динамикой функционирования АСУ, что определяет их систему смазки и защиту от загрязнений. Наиболее существенными требованиями к направляющим являются: надежность, долговечность, ремонтпригодность, стабильность, геометрическая точность, оптимальная жесткость, минимальные силы трения.

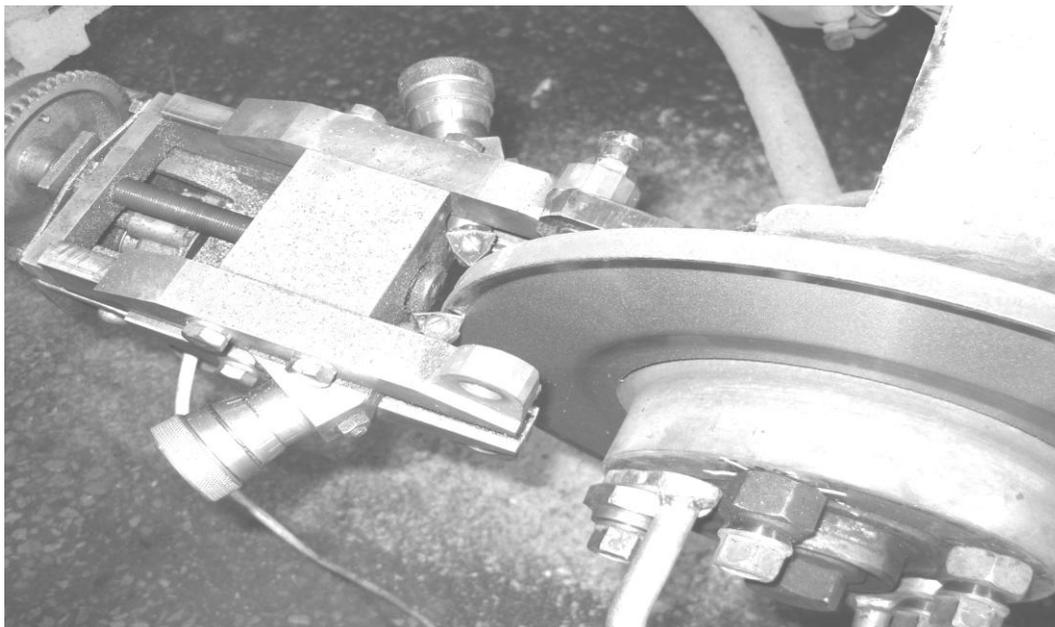


Рисунок 1. Станок для проточки тормозных дисков

В связи с этим целью исследования является изучение влияния сил трения в прямоугольных направляющих токарного станка для восстановления тормозных дисков автомобилей на точность срабатывания адаптивной системы управления.

2. Основное содержание и результаты работы

Для достижения поставленной цели рассмотрим характер действия сил трения в направляющих скольжения двурезцового токарного станка с внутренней АСУ и гидравлической системой выравнивания сил, изображенных на рисунке 2 и 3. На каждом резце, закрепленном на передних концах направляющих, действуют составляющие силы резания P_x, P_y, P_z . Полости гидроцилиндров соединены между собой. Перемещению резцедержателей препятствуют силы трения $F_{тр1}$ и $F_{тр2}$, обусловленные реакциями опор R_1 и R_2 .

Если предположить, что в начальный момент времени система находится в равновесии и силы резания, действующие на резцах одинаковы, то осевые составляющие силы резания уравниваются силами давления жидкости, действующими на поршни, силами со стороны демпфирующих пружин и силами трения. При изменении силы резания на резце нарушается равновесие, но благодаря АСУ система будет стремиться достичь нового состояния равновесия, что соответствует выравниванию осевых сил резания в результате перераспределения мгновенных подач между резцами. Однако этому препятствуют силы трения, вызывающие нарушение равновесия сил резания между собой. Таким образом, существует определенное соотношение сил резания на резце, при котором система не обеспечивает полного выравнивания сил резания. Это соотношение определяет точность срабатывания ($\gamma_{ср}$) АСУ с учетом сил трения [4].

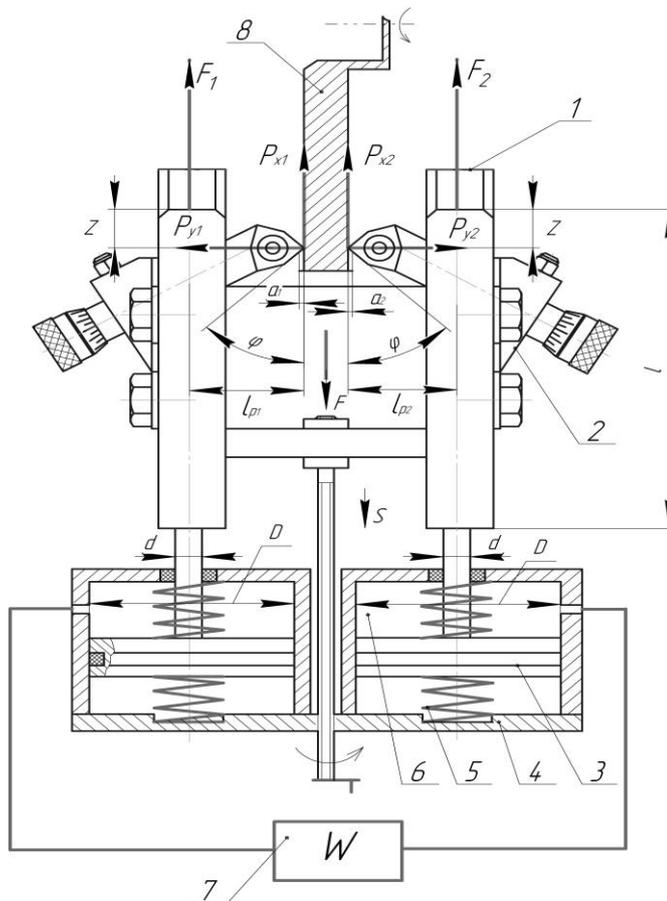


Рисунок 2. Схема действующих сил в направляющих резцедержателей:
 1 – направляющая резцедержателя; 2 – резцедержатель; 3 – поршень;
 4 – корпус; 5 – пружина; 6 – полость; 7 – функция; 8 – тормозной диск

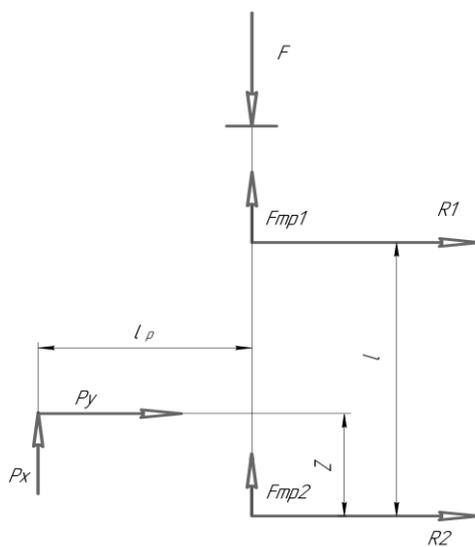


Рисунок 3. Схема действия сил

Тангенциальная составляющая силы резания в статике:

$$P_z = k_p \cdot a_c \quad (1)$$

где a_c – статическая толщина среза, k_p – коэффициент резания.

Радиальная составляющая:

$$P_y = \mu_{тр} \cdot k_p \cdot \cos \varphi \cdot a_c \quad (2)$$

Осевая составляющая:

$$P_x = \mu_{тр} \cdot k_p \cdot \sin \varphi \cdot a_c \quad (3)$$

где $\mu_{тр}$ – коэффициент трения стружки о переднюю поверхность резца,

φ – главный угол в плане.

В состоянии покоя $P_{x1} > P_{x2}$, соответственно получим систему уравнений (4):

$$\begin{aligned} P_{x1} - f_n \cdot R_{21} - f_n \cdot R_{11} - F_1 &= 0; \\ P_{x2} + f_n \cdot R_{22} + f_n \cdot R_{12} - F_2 &= 0, \end{aligned} \quad (4)$$

где f_n – максимальные значения коэффициента трения в паре резцедержатель – направляющая обоих резцов.

Отсюда получаем:

$$\begin{aligned} P_{x1} - f_n \cdot R_{21} - f_n \cdot R_{11} &= F_1; \\ P_{x2} + f_n \cdot R_{22} + f_n \cdot R_{12} &= F_2. \end{aligned} \quad (5)$$

Значения реакций опор:

$$\begin{aligned} R_{11} &= \frac{P_{x1} \cdot l_p - P_{y1} \cdot z}{l}; \\ R_{12} &= \frac{P_{x2} \cdot l_p - P_{y2} \cdot z}{l}; \\ R_{21} &= \frac{P_{y1} \cdot (l - z) - P_{x1} \cdot l_p}{l}; \\ R_{22} &= \frac{P_{y2} \cdot (l - z) - P_{x2} \cdot l_p}{l}. \end{aligned} \quad (6)$$

Силы, действующие на поршни соответственно равны:

$$F_1 = \frac{P_1 \cdot \pi \cdot (D_{1п} - d_{1м})^2}{4} - c_{1н} \cdot \delta_1 + c_{11н} \cdot \delta_{11}; \quad (7)$$

$$F_2 = \frac{P_1 \cdot \pi \cdot (D_{2п} - d_{2м})^2}{4} - c_{2н} \cdot \delta_2 + c_{22н} \cdot \delta_{22}, \quad (8)$$

где D_n – диаметр поршня;
 c_n – коэффициент жесткости пружин;
 d_m – диаметр штока;
 δ – начальное значение деформации пружин.

После преобразований система уравнений (5) при $k_{p1} > k_{p2}$ будет иметь вид:

$$a_c k_{p1} [\mu_{тр} \sin \varphi (1 - f_n \operatorname{ctg} \varphi - \frac{f_n l_p}{1} + \frac{f_n \operatorname{ctg} \varphi z}{1} + \frac{f_n l_p}{1} - \frac{f_n \operatorname{ctg} \varphi z}{1})] =$$

$$= \frac{P_1 \cdot \pi \cdot (D_{1п} - d_{1м})^2}{4} - c_{1n} \cdot \delta_1 + c_{11n} \delta_{11} \delta_{11} \quad (9)$$

$$a_c k_{p2} [\mu_{тр} \sin \varphi (1 + f_n \operatorname{ctg} \varphi + \frac{f_n l_p}{1} - \frac{f_n \operatorname{ctg} \varphi z}{1} - \frac{f_n l_p}{1} + \frac{f_n \operatorname{ctg} \varphi z}{1})] =$$

$$= \frac{P_1 \cdot \pi \cdot (D_{2п} - d_{2м})^2}{4} - c_{2n} \cdot \delta_2 + c_{22n} \cdot \delta_{22} \quad (10)$$

Разделив уравнение (8) на (9) находим коэффициент точности срабатывания с учетом сил трения:

$$\gamma_{ср} = \frac{P_{z1} \cdot (1 + f_n \operatorname{ctg} \varphi)}{P_{z2} \cdot (1 - f_n \operatorname{ctg} \varphi)} \quad (11)$$

Анализируя зависимость (10) приходим к выводу, что точность срабатывания внутренней АСУ зависит от коэффициентов трения f_n .

3. Заключение

В результате анализа характера действия сил трения в прямоугольных направляющих установлено, что точность срабатывания АСУ токарного станка с прямоугольными направляющими для восстановления тормозных дисков в значительной степени определяется коэффициентами трения в направляющих резцедержателей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Патент на полезную модель №65778. Модуль для проточки тормозных дисков. № 65778. Заявлено 21.06.11; Оpubл. 12.12.2011, Бюл. №23, 2011. – 4 с.
2. Быков, В. В. Повышение долговечности тормозных дисков транспортных машин за счет совершенствования технологии механической обработки: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 «Технология машиностроения» / В.В. Быков. – Донецк, 2012. – 170 с.
3. Подураев, В. Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания / В. Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1977. – 303 с.
4. Плотников А. Л. Обеспечение надежности определения режимов лезвийной обработки для автоматизированного станочного оборудования на основе оперативной информации о свойствах инструмента и детали: дис. на соискание научн. степени доктора техн. наук: спец. 05.02.07 «Технология и оборудование физико - механической обработки» / А. Л. Плотников – Саратов, 2001. – 388 с.

Поступила в редколлегию 15.05.2025 г.