

УДК 621.9.048.3

Е.В. Пашков, В.Б. Потеряхин

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕСКОНТАКТНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРОВ ПРИ ЛЕВИТАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ В УСЛОВИЯХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассматриваются способы бесконтактной стабилизации положения тонкостенных цилиндрических объектов в зоне обработки точением относительно технологической оснастки и режущего инструмента. Приводятся конструктивные решения бесконтактной технологической оснастки для их реализации.

В условиях гибкого автоматизированного производства перспективным является бесконтактный метод базирования обрабатываемых деталей, основанный на использовании бесконтактных механизмов [1,2], позволяющих избежать прямых механических контактов этих деталей с установочными элементами станков и технологической оснастки. Это позволяет устранить износ оснастки, повысить точность и качество обработки, улучшить динамические характеристики технологической системы СПИД, управлять жесткостью подсистемы «приспособление – деталь» и демпфированием колебаний в зоне резания.

Принцип действия бесконтактных механизмов основан на эффекте левитации, заключающимся в подъеме и парении твердых тел без контактов с окружающими твердыми телами (опорами).

Сущность левитационного точения состоит в том, что на установленную с помощью магнитных, гидро- или аэростатических опор тонкостенную цилиндрическую деталь, вращаемую и зафиксированную от перемещения в осевом направлении магнитными потоками, воздействуют режущим инструментом, совершающим движение подачи вдоль обрабатываемой поверхности [3].

Установка, базирование и вращение тонкостенных цилиндров (ТЦ) осуществляется бесконтактно с помощью двух рабочих головок (РГ1 и РГ2), конструкция которых показана на рисунке 1, соосно установленным в передней и задней бабках станка.

Рабочая головка содержит фланцевый корпус 1, на котором установлены дисковые зубчатые шихтованные магнитопроводы. На их зубах 6, являющихся сердечниками, размещены фазные катушки 4, обмотки которых подключены к сети питающего напряжения (рисунок 2), а между собой они соединены последовательно с перестановкой фаз в окружном и осевом

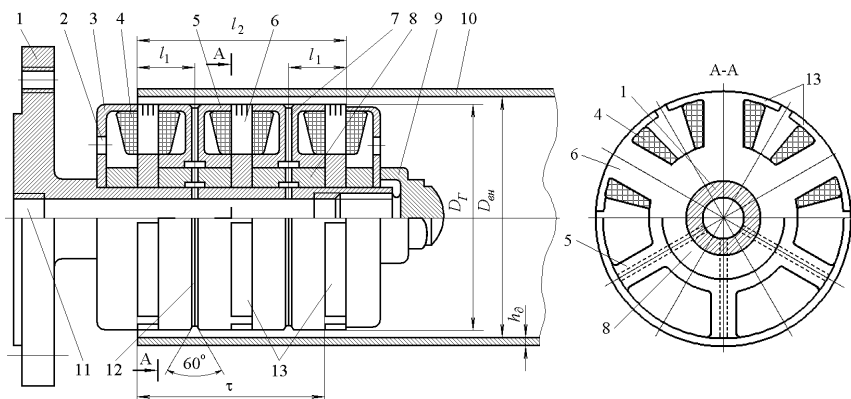


Рисунок 1 – Конструкция рабочей головки

направлениях. Между магнитопроводами помещены магнитопроводящие распорные втулки 8 с установленными на них немагнитными фигурными кольцами 5, снабженными радиальными отверстиями 7 для подвода сжатого воздуха из полости 11 корпуса к кольцевым канавкам 12 на наружных образующих колец. Эти наружные образующие и полюсные наконечники 13 представляют собой аэростатические радиальные опоры длиной l_2 , служащие для установки обрабатываемой ТЦ длиной L и толщиной h_b . Кольцевые канавки 12 отстоят от краев опоры на величину $l_1 = 0,25l_2$ [3]. Глубина канавки $t_k \leq 1,4\delta \sqrt{l_2}$, где δ – радиальный зазор. Торцовые поверхности колец 5 имеют вырезы под полюсные наконечники 13.

Пакет магнитопроводов, распорных втулок и колец закрыт с обеих сторон крышками 3, имеющими отверстия 2 для выхода отработанного сжатого воздуха из полости обрабатываемого цилиндра и служащего для охлаждения катушек. Крепление пакета на корпусе осуществляется фигурным болтом 9.

Обрабатываемый ТЦ10 устанавливается по внутреннему диаметру $D_{вн}$ на установочные поверхности РГ1 и РГ2 диаметром $D_{Г}$ с образованием радиальных зазоров δ , в которые подводится сжатый воздух давле-

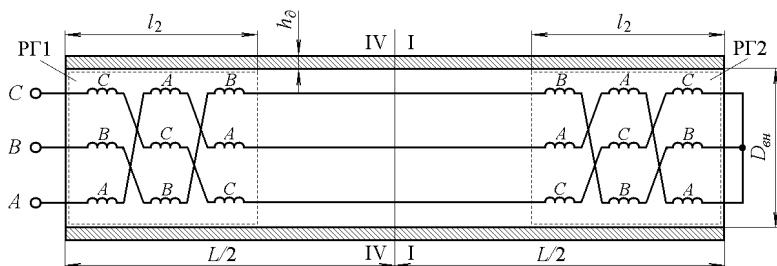


Рисунок 2 – Схема подключения обмоток рабочей головки

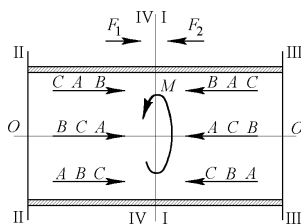


Рисунок 3 – Схема действия магнитных полей

нием $p_e = 0,4...1,0$ МПа, обеспечивающий его центрирование относительно оси вращения О – О (рисунок 3). ТЦ размещается на РГ таким образом, чтобы его торцы не выходили за пределы плоскостей II и III, т.е. за границы расположения крайних наружных сердечников 6 магнитопровода.

При запитывании фазных обмоток, например, трехфазным напряжением в магнитопроводах обеих головок возбуждаются магнитные поля, бегущие по окружности (вращающиеся) и бегущие в осевом направлении навстречу друг другу (линейные) (рисунок 3). Под действием этих полей в ТЦ наводятся ЭДС и протекают трехфазные вихревые токи, взаимодействующие с магнитными полями магнитопроводов. В результате создаются: силы отталкивания ТЦ от полюсных наконечников 13, способствующие увеличению радиальной жесткости опор (дополнительная магнитная опора); силы вращения (аналогия с асинхронным двигателем с полым ротором), создающие крутящий момент М, вращающий ТЦ вокруг оси О – О; тяговые усилия F_1 и F_2 , направленные вдоль оси О – О навстречу друг другу, которые при отсутствии смещения ТЦ относительно плоскости симметрии расположения головок IV – IV взаимно уравновешены ($F_1 = F_2$), а при смещении ТЦ в осевом направлении, т.е. при изменении активных площадей контакта РГ1 и РГ2 с ТЦ, возвращают его в положение, при котором плоскость симметрии цилиндра I – I совпадает с плоскостью симметрии расположения головок IV – IV. Таким образом ТЦ автоматически стабилизируется относительно плоскости IV – IV, являющейся базовой.

Тяговое усилие, создаваемое каждой из РГ, может быть рассчитано с помощью выражения [4]

$$F_{1,2} = B^2 V_c S_n S_a h_0 / 5\rho, \quad (1)$$

где S_a – активная площадь контакта РГ (индуктора) с ТЦ (на рисунках 1,2 – поверхность, длиной l_2); B – максимальное значение магнитной индукции в немагнитном (воздушном) зазоре; $V_c = 2\tau f$ – линейная скорость перемещения магнитодвижущей силы (МДС); f – частота питающего напряжения; $S_n = (V_c - V_0) / V_c$ – номинальное скольжение; h_0 , ρ – соответственно толщина и удельное сопротивление материала детали (для стали $\rho = 1,0 \cdot 10^{-7}$ Ом·м; для алюминия $\rho = 2,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м); τ – величина полюсного деления катушек в осевом направлении; V_0 – линейная скорость осевого движения ТЦ относительно РГ (в случае удержания ТЦ в фиксированном положении относительно плоскости IV – IV $V_0 = 0$).

С учетом того, что

$$S_a'' = \pi D_n (l_2 - l_4); \quad S_a''' = \pi D_{обп} l_4;$$

$$h_0'' = h_0; \quad h_0''' = h_0 - t,$$

выражение (2) принимает вид:

$$F_2' = \frac{\pi B^2 V_c S_n}{5\rho} [D_n h_0 (l_2 - l_4) + D_{обп} (h_0 - t) \cdot l_4]. \quad (3)$$

Из изложенного следует, что в процессе точения стабилизация ТЦ относительно плоскости симметрии рабочих головок IV - IV может быть достигнута, во-первых, путем изменения в сторону увеличения тягового усилия F_1 на величину P_x , а во-вторых, путем его изменения в сторону уменьшения на величину $F_{2\text{var}} = F_2 - F_2'$.

На рисунке 5 показана структурная схема системы управления, реали-

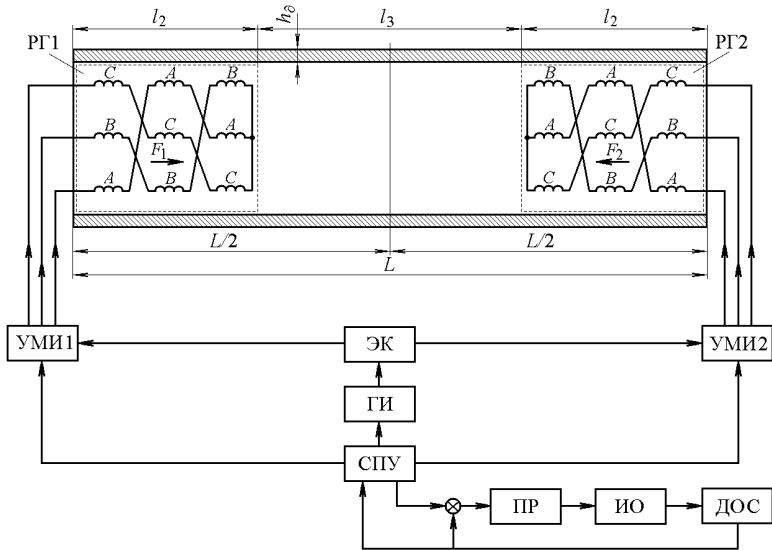


Рисунок 5 – Структурная схема системы управления с двумя рабочими головками

зующая эти две задачи.

Перед началом обработки система программного управления (СПУ), в которую заложены параметры обрабатываемой детали (размеры, материал) и режимы резания (окружная скорость, глубина резания, подача), вырабатывает управляющий сигнал, который подается на генератор импульсов (ГИ), а от него через электронный коммутатор (ЭК) и импульсные усилители мощности (УМИ1 и УМИ2) соответственно на РГ1 и РГ2, что приводит

к центрированию ТЦ относительно оси вращения О - О и позиционированию относительно плоскости симметрии IV - IV. Затем в зазор δ подводится сжатый воздух, увеличивающий жесткость подсистемы "приспособление-деталь" в радиальном направлении.

По мере перемещения резца вдоль обрабатываемой поверхности (рисунк 4) в направлении продольной подачи S_{np} , датчик обратной связи (ДОС), контролирующий перемещение исполнительного органа (ИО) (суппорта) станка, несущего резец, подключенного через преобразователь (ПР) и сравнивающий элемент (нуль-орган) к одному из выходов СПУ, вырабатывает сигнал, характеризующий изменяющуюся длину обрабатываемой поверхности l_4 от 0 до l_2 . Этот сигнал поступает на сравнивающий элемент, где текущее значение $l_{4\text{ var}}$ ($0 \leq l_4 \leq l_2$) сравнивается с наперед заданным, что обеспечивает прекращение обработки после достижения этого значения, и на СПУ, которая вырабатывает управляющий сигнал, поступающий на УМИ1, вызывающий пропорциональное $l_{4\text{ var}}$ изменение, например, тока, подаваемого на обмотки катушек РГ1, а следовательно, и F_1 .

Используя выражение (1) и принимая во внимание, что $B = \mu_o H$, $H = IW/l_k$ [5], где $\mu_o = 1,257 \cdot 10^{-6}$ В·с/(А·м) – магнитная постоянная; H – напряженность магнитного поля, А/м; W – число витков катушек; l_k – длина катушек, м, получаем выражение для определения величины тока I_1 , подаваемого на катушки РГ1:

для компенсации P_x ток I_1 , подаваемый на РГ1, должен возрасти на величину

$$\Delta I_{1P} = \frac{l_k}{\mu_o W} \sqrt{\frac{5\rho F'_1}{V_c S_n S_a h_o}}, \quad (4)$$

где $F'_1 = P_x$.

Для компенсации изменения тягового усилия F_2 , вследствие изменения (уменьшения) толщины детали в зоне активной площади контакта РГ2 с деталью S_a , ток I_1 , подаваемый на РГ1, должен уменьшаться на величину

$$\Delta I_{1h} = \frac{l_k}{\mu_o W} \sqrt{\frac{5\rho F_{2\text{ var}}}{V_c S_n S_a h_o}}. \quad (5)$$

Таким образом, изменение суммарного значения тока $I_{1\Sigma}$, подаваемого на обмотки РГ1 при обработке ТЦ в пределах правого участка поверхности длиной l_2 , должно подчиняться функциональной зависимости

$$I_{1\Sigma} = I_1 + \Delta I_{1P} - \Delta I_{1h} = \phi(I_4). \quad (6)$$

После обработки поверхности длиной $l_4 = l_2$ суммарная величина тока $I_{1\Sigma}$ достигает своего минимума и при выходе резца за пределы актив-

ной площади контакта РГ2 с деталью дальнейшая обработка участка поверхности длиной l_3 происходит без изменения $I_{1\Sigma}$.

Обработка наружной поверхности левого конца детали длиной l_2 , находящейся в пределах активной площади контакта РГ1 с деталью, происходит при уменьшении ΔI_2 , т.е. при увеличении $I_{1\Sigma}$ до своего максимального значения $I_{1\Sigma} = I_1 + \Delta I_{1P}$ в конце обработки.

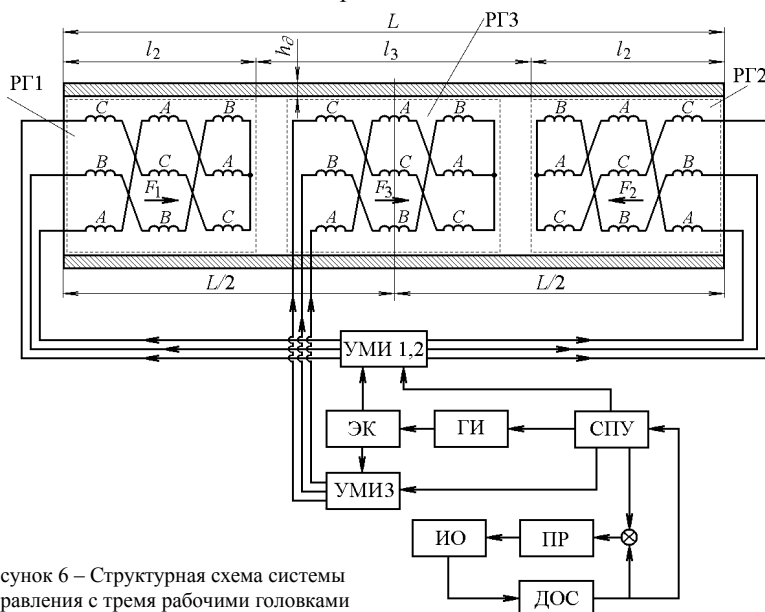


Рисунок 6 – Структурная схема системы управления с тремя рабочими головками

После завершения обработки всей наружной поверхности диаметром D_n и длиной L и получения соответствующего сигнала от ДПС, СПУ вновь обеспечивает одинаковые величины токов I_1 и I_2 , подаваемых соответственно на РГ1 и РГ2, а следовательно, и равенство тяговых усилий $F_1 = F_2$.

Стабилизация положения ТЦ большой длины ($L \geq (8 \dots 10) D_n$) как вдоль оси вращения $O - O$, так и в радиальном направлении, требует использования трех рабочих головок (рисунок 6), одна из которых РГ3 обеспечивает не только компенсацию осевой составляющей силы резания P_x и учет изменения тягового усилия, создаваемого обмотками РГ2 при изменении толщины детали в зоне активной площади, но и служит неподвижным бесконтактным упором, препятствующим прогибам детали и ее стенок от действия P_y – радиальной составляющей силы резания, максимальное значение которых наблюдается на расстоянии $L/2$ от концов детали, т.е. в сечении IV - IV (I - I).

Применение третьей рабочей головки РГЗ позволяет повысить крутящий момент и жесткость подсистемы "приспособление–деталь" в осевом направлении, что способствует увеличению режимов резания, т.е. производительности, и повышению точности выполнения осевых и диаметральных линейных размеров ТЦ. Заслуживает внимания изучение возможности сглаживания пульсаций сил и моментов, действующих на деталь, с помощью, например, изменения частоты следования и фазового угла импульсов напряжения, подаваемого на обмотки катушек РГЗ, что может представлять перспективы дальнейших исследований в данном направлении.

Библиографический список

1. Соломенцев Ю.М. Бесконтактные механизмы в гибких автоматизированных производствах / Ю.М. Соломенцев, М.А. Шиманович // Станки и инструмент. — 1986. — №5. — С. 16 – 18.
2. Пуховский Е.С. Технологические основы гибкого автоматизированного производства: Учеб. пособие / Е.С. Пуховский. — К.: Вища шк., 1989. — 240 с.
3. Пашков Е.В. Технологические основы обработки точением тонкостенных цилиндрических деталей: Учеб. пособие / Е.В. Пашков. — Севастополь: Изд-во СевГТУ, 2000. — 425 с.
4. Ижеля Г.И. Линейные асинхронные двигатели / Г.И. Ижеля, С.А. Ребров, Л.Г. Шаповаленко. — К.: Техника, 1975. — 136 с.
5. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. / Х. Кухлинг. — М.: Мир, 1985. — 520 с.

Поступила в редакцию 05.03.2004 г.