

УДК 621.9.06

**Ю.Н. Кузнецов, профессор, д-р техн. наук,
Герра Ж.А. Хамуйела, канд. техн. наук, докторант,
В.А. Недобой, аспирант,**

Б.И. Придальный, канд. техн. наук, ассистент

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
проспект Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056
zrok@mail.ru*

ШПИНДЕЛЬНЫЕ УЗЛЫ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ЗАЖИМОМ И ТЕКУЧЕЙ СРЕДОЙ ДЛЯ СТАНКОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Рассмотрены новые конструктивные схемы и принципы работы высокоскоростных шпиндельных узлов с электромеханическими зажимными механизмами и текучей средой. Представлены схемы таких конструкций и принципы их работы.

Ключевые слова: *шпиндельный узел, зажимные механизмы, гидропласт, замкнутая гидравлическая система, электромагниты, цанговые патроны.*

Введение. Одним из основных узлов любого металлорежущего станка является шпиндельный узел с зажимным механизмом (ЗМ), который оказывает значительное влияние на точность и производительность обработки [1,2]. ЗМ подолгу сохраняют традиционные конструкции с заложенной в них генетической информацией предыдущих поколений, что порой сдерживает развитие структуры станка в целом при требованиях современности, связанных с высокоскоростной и прецизионной обработкой, быстрой переналадкой и широкодиапазонностью, снижением энергосырьевых ресурсов и др. [3].

Для любого ЗМ всегда основным требованием является обеспечением необходимой силы зажима для осуществления заданных требований к качеству выпускаемой продукции и автоматизация зажима для обеспечения возможности работы станка в станочных линиях и его быстрой переналадки. Эти требования обеспечивают электромеханические ЗМ, позволяющие обеспечить зажим-разжим не только при остановленном шпинделе, но и на ходу станка.

В направлении совершенствования ЗМ и создания новых конструкций на протяжении многих лет работы ведутся научной школой Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» (НТУУ «КПИ»).

Целью данной статьи является создание новых конструкций высокоскоростных и быстродействующих ЗМ шпиндельных узлов станков нового поколения, в т. ч. с МПС.

Сердцевиной всех шпиндельных узлов является зажимные механизмы, в нашем случае это устройства с электромеханическим зажимом и текучей средой.

Они созданы на основе уже известных конструкций, путем усовершенствования ЗМ и автоматизации процесса зажима-разжима.

Рассмотрим первый шпиндельный узел с электромеханическим зажимом (заготовки или инструмента) и текучей средой (заявка на полезную модель u201300339).

Шпиндельный узел содержит привод главного движения, который состоит из шпинделя 1 (рисунок 1) на опорах 2 в виде радиально-упорных шарикоподшипников. На шпинделе расположен ротор 3 главного движения, а в корпусе 4 статор 5, между которыми при подачи электрического тока возникает электромагнитное поле. Вне задней опоры шпинделя 1 на резьбе расположенная гайка 6 винтовой передачи, которая с одной стороны связана с ротором 7 электромеханической системы, а с другой стороны через тело качения – упорный шарикоподшипник 8 с входными плунжерами 9 малого диаметра d , расположенными соосно в неподвижной конусной распределительной втулке 10, натянутой на конус шпинделя 1 гайкой 11. В роторе через электромагнитное поле разного направления взаимодействует статор 12, расположенный за задней опорой 2 в конусе 4. В передней части шпинделя 1 расположенный цанговый зажимный патрон для зажима объекта 13.

Цанговый зажимный патрон состоит из неподвижной зажимной цанги 14, жестко связанной со шпинделем 1 с помощью резьбы, и подвижной конусной втулки 15, которая по торцу связана с плунжерами 16 большего диаметра D . Между плунжерами 9 и 16 находится с жидкостью или гидропластом замкнутая гидравлическая система, образованная отверстиями и заглушками на периферии и торце шпинделя 1 и конусной распределительной втулки 10. Для возвращения конусной втулки 15 в исходное положение при разжиге объекта 13 предусмотрены пружины 17 между упорным диском 18 и конусной втулкой 15.

Связь между плунжерами 9 и 16 возможны как через соосные отверстия в шпинделе 1, так и через центральное отверстие вдоль оси шпинделя 1.

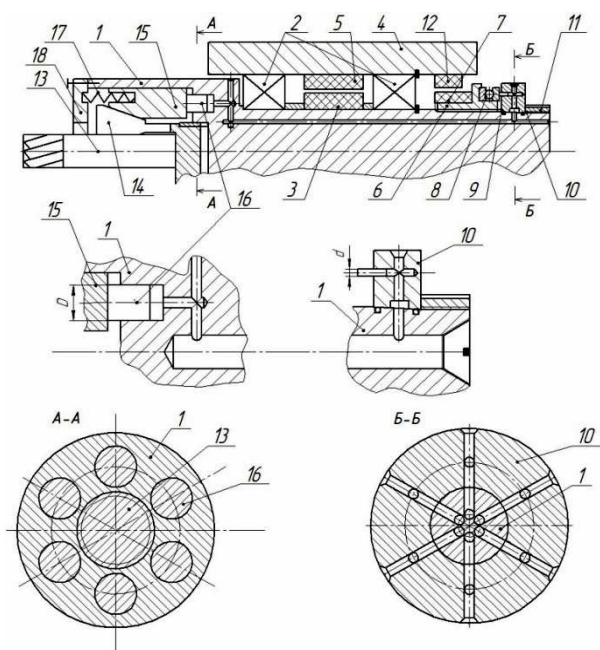


Рисунок 1 – Шпиндельный узел станка с электрогидромеханическим зажимом и концентричным размещением замкнутой гидросистемы

Шпиндельный узел работает следующим образом. При подачи тока на обмотку статора 12 возникает электромагнитное поле, которое взаимодействует с обмотками ротора 7, связанного жестко с гайкой 6. Возникает крутящий момент M_3 , который оборачивает ротор 7 с гайкой 6, что перемещает вдоль шпинделя 1 по резьбе диаметром d_p с углом подъема α_p . Крутящий момент M_3 вызывает окружную силу $P_{окр} = \frac{2 \cdot M}{d_p}$, которая создает осевую силу Q , что действует через упорный подшипник 8 на соосно расположенные плунжеры 9 и равняется

$$Q = P_{окр} \cdot ctg(\alpha_p + \varphi) = \frac{2 \cdot M}{d_p} \cdot ctg(\alpha_p + \varphi), \quad (1)$$

где φ – угол трения.

В замкнутой гидравлической системе возникает давление p , которое равняется $\frac{4 \cdot Q}{z \cdot \pi d^2}$ (где z – количество плунжеров малого диаметра d) и передается на исходные плунжеры 16 большего диаметра D . Благодаря этому возникает исходная осевая сила S , которая равняется

$$S = z \cdot p$$

и становится больше за входную силу Q , пропорциональную квадрату отношения диаметров, то есть

$$S = Q \left(\frac{D}{d} \right)^2. \quad (2)$$

Например, $D=2d$ $S=4Q$, а если $D=4d$, то $S=16Q$ и т.д.

После зажима ток подается на обмотку статора 5, возникает электромагнитное поле, которое взаимодействует с обмоткой ротора 3 и потому заставляет шпиндель 1 оборачиваться с необходимой частотой. Управление шпиндельного узла с механизмом зажима осуществляется от системы ЧПУ. Остановка шпинделя 1 осуществляется при снятии тока в обмотке статора 5, а разжим объекта 13- при изменении полюсов на обмотке статора 12, что заставляет ротор 7 и гайку 6 вращаться в обратном направления, передвигая гайку 6 в исходное положение и снимая давление жидкости в замкнутой гидравлической системе. С помощью пружин 17 конуса втулка 15, плунжера 16 и 9 возвращается в исходное положение.

Следующая конструкция представляет собою также шпиндельный узел с электромеханическим зажимом и текучей средой. В этой конструкции замкнутая гидравлическая система расположена по оси шпинделя (заявка на полезную модель u201211892).

Шпиндельный узел содержит привод главного движения, который состоит из шпинделя 1 (рисунок 2) на опорах 2 и 3 в виде радиально-упорных шарикоподшипников. На шпинделе расположен ротор 4 главного движения, а в корпусе 5 статор 6, между которыми при подачи электрического тока возникает электромагнитное поле. Вне задней опоры 2 шпинделя 1 на резьбе расположенная гайка 7 винтовой передачи, которая с одной стороны связана с ротором 8 электромеханической системы, а с другой стороны через тело катания (например два упорных шарикоподшипников 9) с входным плунжером 10 малого диаметра d , расположенными соосно в отверстии шпинделя 1. Два шарикоподшипника 9 притянуты к гайке 7 упорной гайкой 11 через выступы 12. С ротором 8 через электромагнитное поле разного направления взаимодействует статор 13, жестко расположенный за задней опорой 2 в корпусе 5.

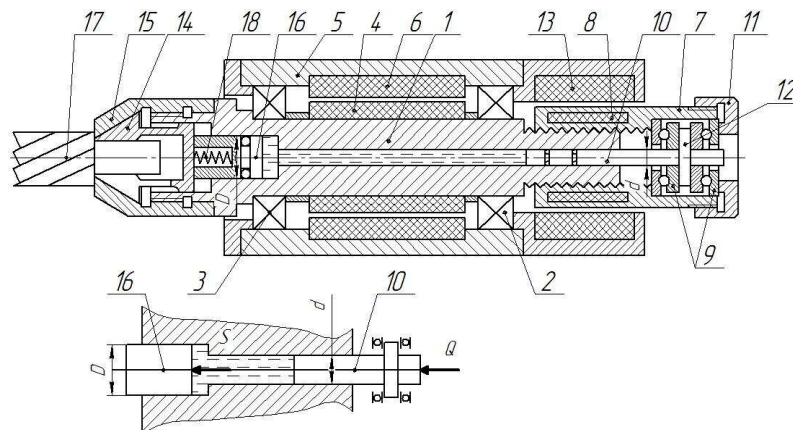


Рисунок 2 – Шпиндельный узел станка с электрогидромеханическим зажимом и центральным размещением замкнутой гидросистемы

В передней части шпинделя 1 расположен цанговый зажимной патрон для закрепления режущего инструмента, который состоит из зажимной цанги 14 нажимного типа, взаимодействующей по конусу “а” с неподвижной конусной втулкой 15, жестко связанной со шпинделем 1 с помощью резьбы. Зажимная гайка 4 по торцу взаимодействует с плунжером 16 большего диаметра. Между плунжерами 10 и 16 находится замкнутая гидравлическая система, которая заполнена жидкостью (маслом) или текучей средой (гидропластом) в осевом отверстии шпинделя 1. Объектом зажима 17 может быть режущий инструмент с цилиндрическим хвостовиком (сверло, фреза зенкер, и т.п.) или цилиндрическая заготовка. В отверстии плунжера 16 расположенная пружина 18 для него перемещения вправо.

Для создания запертого пространства в гидравлической системе и предотвращения утечки жидкости или текучего среды в цилиндрических проточках плунжеров 10 и 16 установлены уплотнения соответственно 19 и 20.

Шпиндельный узел работает следующим образом. При неподвижном шпинделе 1 и разомкнутой цанге 14 в ее отверстие вводится объект зажима 17. При подачи тока на обмотку статора 13 возникает электромагнитное поле, которое взаимодействует с обмотками ротора 8, связанного жестко с гайкой 7. Возникает крутящий момент M_3 , который вращает ротор 8 с гайкой 7, перемещающейся вдоль шпинделя 1 по резьбе диаметром d_p с углом подъема α_p . Крутящий момент M_3 вызывает окружную силу

$P_{окр} = \frac{2 \cdot M}{d_p}$, которая создает осевую силу Q , рассчитываемую по зависимости (1), действующую через упорные подшипники 9 и соосно расположенный плунжер 10.

В замкнутой гидравлической системе возникает давление p , которое равняется $\frac{4 \cdot Q}{\pi d^2}$ (где d – диаметр малого плунжера 10) и передается на исходный плунжер 16 большего диаметра D , создающим исходную осевую силу S :

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p$$

Сила S становится больше входной силы Q пропорционально квадрату отношения диаметров, то есть выполняется тождество (2). Например, $D=2d$ $S=4Q$, а если $D=4d$, то $S=16Q$ и т.д.

После зажима ток подается на обмотку статора 6, возникает электромагнитное поле, которое взаимодействует с обмоткой ротора 4 и потому заставляет шпиндель 1 вращаться с необходимой частотой. Управление шпиндельного узла с механизмом зажима осуществляется от системы ЧПУ.

Остановка шпинделя 1 осуществляется при снятии тока в обмотке статора 4, а разжим объекта 17 - при изменении полюсов на обмотке статора 13, что заставляет ротор 8 и гайку 7 вращаться в обратном направлении, передвигая её в исходное положение и снимая давление жидкости в замкнутой гидравлической системе. С помощью пружины 18 плунжер 16 отходит назад, плунжер 10 возвращается в исходное положение. Саморазжим зажимной цанги 14 осуществляется за счет упругости ее лепестков.

Две выше представленные конструкции, имеют ряд преимуществ перед существующими аналогами. Во-первых, простота конструкции, что облегчает их изготовление, во-вторых, использование замкнутой гидравлической системы с гидропластом (или подобной средой), что исключает использование дополнительной гидростанции, что в свою очередь удешевляет конструкцию и делает ее экономически выгоднее в сравнении с конкурентами.

Третья конструкция шпиндельного узла отличается от двух выше представленных, базируется на использовании электромагнитов и их взаимодействия с механическими частями шпиндельного узла.

Шпиндельный узел содержит привод главного движения, который состоит из шпинделя 1 (рисунок 3) на опорах 2 и 3 в виде радиально-упорных шарикоподшипников, которые устанавливаются в корпусе 4. На шпинделе расположены катушки ротора 5 и 6, а в корпусе 7 - катушки статора 8 и 9, между которыми при подаче электрического тока возникает электромагнитное поле. Перед передней опорой 2 шпинделя 1 расположены два электромагнита 10 и 11.

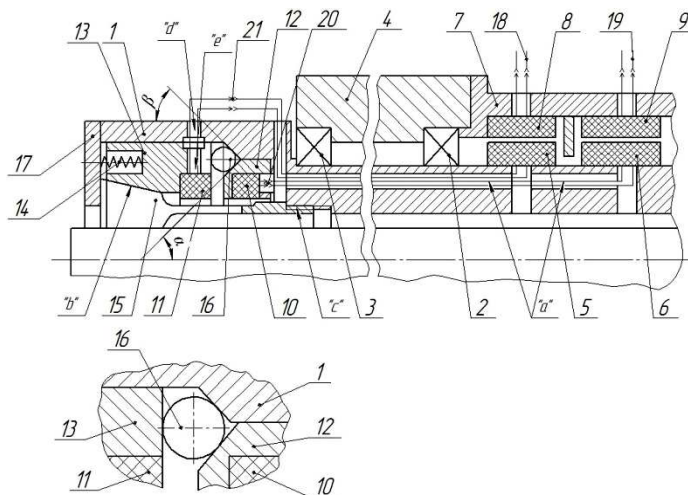


Рисунок 3 – Шпиндельный узел станка с электромеханическим зажимом и шариковым передаточно-усилительным звеном

Электромагнит 10 вмонтирован в конусную втулку 12 и связан с катушкой ротора 6 электрической цепью в виде проводов, пропущенных в отверстие "а", а электромагнит 11 вмонтирован в коническую втулку 13, которая подпружинена пружиной 14 и взаимодействует по конусу "б" с зажимной цангой 15. Цанга 15 с помощью резьбы "с" жестко связана со шпинделем 1. Электромагнит 11 связан с катушкой ротора 5 электрической цепью в виде проводов, проходящих через отверстия "а", "d", "е" соответственно в шпинделе 1 и конической втулке 13.

В промежутке между втулкой 12 с углом α , шпинделем 1 с углом β размещены шарики 16. К переднему торцу шпинделя 1 прикреплен винтами фланец 17, который служит одновременно защитой от попадания вглубь стружки и упором для пружины 14.

Цанговый зажимный патрон с неподвижной в осевом направлении цангой 15 предназначен для зажима режущего инструмента, например, концевой фрезы, или заготовки, например, прутка.

Подача тока на катушки статоров 7 и 9 осуществляется через разъемы 18 и 19 соответственно, а на катушки 10 и 11 – через разъемы 20 и 21 соответственно.

Вследствие появления электромагнитного поля на катушках 4, 5 и 7, 8 статора и ротора соответственно, шпиндель 1 начинает вращаться и возникает напряжение, которое через электрические цепи подается на электромагниты 10 и 11, что вследствие магнитного взаимодействия приводит к их сближению с жестко прикрепленными к ним конусными втулками 12 и 13. Это вызывает движение шариков 16 от оси вращения, вследствие их взаимодействия с фасонной поверхностью шпинделя 1. Шарик вместе с конусной втулкой 13 перемещаются влево. При этом конусная втулка 13 взаимодействует с губками цанги по конусу "б" и происходит зажим.

Зажим и разжим происходит путем подачи электрического тока соответствующей полярности на электрические разъемы 18 и 19. При изменении полярности и под действием пружины 14, упирающейся

в фланец 17, конусная втулка 13 возвращается в исходное положение и происходит разжим. Возможность механизированного зажима-разжима с автоматическим управлением от системы ЧПУ позволяет достичь технический результат – расширение функциональных возможностей станка.

Преимущества данной компоновки это простота конструкции всех ее узлов.

Возможности выше представленных шпиндельных узлов очень велики, их можно использовать как на станках традиционной компоновок, так и на станках с механизмами параллельной структуры.

Выводы. Шпиндельные узлы с электрогидромеханическим зажимным механизмом отличаются простотой конструкции и использованием текучей среды (типа гидропласт), что исключает использование дополнительной гидроаппаратуры, снижает цену и делает их экономически эффективными. Что касается шпиндельного узла с электромеханическим зажимом, с использованием электромагнитного взаимодействия, то основными преимуществами являются простота конструкции, дешевизна используемых компонентов и их изготовления.

Библиографический список использованной литературы

1. Вейц В.Л. Электромеханические зажимные устройства станков и станочных линий. Расчет и конструирование / В.Л. Вейц, Л.И. Фридман. — Л.: Машиностроение, 1973. — 262 с.
2. Инструментальные зажимные патроны: монография / Ю.Н. Кузнецов, В.Н. Волошин, В.Б. Фиранский, О.А. Гуменюк; под ред. Ю.Н.Кузнецова — К.: ООО "ГНОЗИС", 2012. — 286 с.
3. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием: монография / Ю.Н. Кузнецов, В.Н. Волошин, П.М. Неделчева, Ф.В. Эль-Дахаби; под ред. Ю.Н. Кузнецова. — Габрово: Ун. изд-во «Васил Априлов», 2010. — 724с.

Поступила в редакцию 19.03.2013 г.

Кузнецов Ю.М., Хамуйела Герра Ж.А., Недобой В.А., Придальный Б.І. Шпиндельні вузли з електромеханічним затиском і плинним середовищем для верстатів нового покоління

Розглянуто нові конструктивні схеми і принципи роботи високошвидкісних шпиндельних вузлів з електромеханічними затискними механізмами і плинним середовищем. Представлені схеми таких конструкцій і принципи їх роботи.

Ключові слова: шпиндельний вузол, затискні механізми, гідропласт, замкнута гідравлічна система, електромагніти, цангові патрони.

Kuznetsov Y.N., Hamuyela Guerra J.A., Nedoboy V.A., Pridalny B.I. Spindle units with electromechanical clamps and fluid machine tools new generation

Some new construction schemes and concepts of high speed spindles with electromechanical clamping mechanisms and fluid. This scheme of such structures and how they work.

Keywords: spindle unit, clamping mechanisms hydroplast, a closed hydraulic system, solenoids, collets.