

СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ЦЕПЕЙ НА ОСНОВЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ В СТАНКАХ СО СЛОЖНЫМИ ДВИЖЕНИЯМИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

В. А. Ванин, А. Н. Колодин, А. А. Родина

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»,
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
ant.rodina1209@yandex.ru*

Ключевые слова: внутренние (формообразующие) цепи; генератор гидравлических импульсов; гидравлические связи; гидравлический шаговый привод; формообразующие движения; гидравлический шаговый двигатель.

Аннотация: Рассмотрена возможность построения внутренних (формообразующих) кинематических цепей в виде гидравлических связей на основе шагового гидропривода взамен механических цепей в станках со сложными движениями формообразования различного технологического назначения в целях повышения точности, снижения металлоемкости, создания рациональной конструкции внутренних (формообразующих) цепей, станков различного технологического назначения, разных типоразмеров, используя агрегатно-модульный принцип при проектировании и построении кинематических цепей станков.

Введение

В ряде отраслей промышленности применяются технологические процессы, целью которых является перемещение определенной массы с последующим ее уплотнением в процессе перемещения и придания требуемой формы.

Основным устройством, удовлетворяющим данным требованиям, является винт (червяк, шнек) с переменным шагом, обеспечивающим перемещение и уплотнение в осевом направлении. Винты с переменным шагом применяются при транспортировании, смещении, пластификации, экструдировании пластмасс и других материалов. Основными геометрическими параметрами, определяющими их характеристику, являются шаг, число витков, а также глубина, длина и толщина нарезки витков.

Большинство червяков одношпиндельных машин изготавливается с постоянным шагом и переменной глубиной нарезки. При применении переменного шага у червяков обеспечивается ускоренное перемещение перерабатываемой массы вдоль цилиндра и повышенное давление массы перед входом в формующую головку пресса. Такие червяки отличаются сложностью изготовления.

Нарезание винтовых поверхностей переменного шага червяков, ходовых винтов проводится на модернизированных токарно-винторезных станках с применением различных приспособлений копирующих механизмов, эталонных ходовых винтов, которые не обеспечивают в полной мере качественную обработку. Нарезание винтовой поверхности червяков небольших размеров проводится резцами, имеющими профиль, соответствующий профилю нарезаемой резьбы на универсальных токарно-винторезных станках, а средних и крупных червяков – дис-

ковыми модульными фрезами, имеющими профиль, соответствующий профилю резьбы. Нарезание винтовых поверхностей с переменным шагом при отсутствии специального оборудования производится на обычных токарных станках резцом или концевой фрезой по разметке, при этом изменение шага осуществляется перемещением верхних салазок суппорта вручную и требует высокой квалификации рабочего. Нарезание червяков с переменным шагом по копиру зависит от точности его изготовления, определяющей степень совпадения винтовой линии, нанесенной на копир, с расчетной.

Применение червяков с переменным шагом и переменной глубиной нарезки обусловлено отсутствием специального станочного оборудования, обеспечивающего точное согласующее формообразующее движение между заготовкой и инструментом.

Независимо от функционального назначения с геометрической точки зрения применяются четыре типа винтов:

- с постоянным шагом и постоянной глубиной;
- постоянным шагом и переменной глубиной;
- переменным шагом и постоянной глубиной;
- переменным шагом и переменной глубиной.

В резьбообрабатывающих станках для нарезания винтовых поверхностей переменного шага и переменной глубины нарезки сложные формообразующие движения составляют из нескольких элементарных движений, но из них одно – обязательно неравномерное; закон изменения скорости этого движения определяется условиями образования требуемой поверхности.

Неравномерное движение чаще всего получают суммированием равномерного движения с неравномерным, применяя суммирующий механизм и дополнительную внутреннюю кинематическую цепь, которая преобразует равномерное движение в неравномерное. Для нарезания винтовой поверхности с переменным шагом применяют настроенную кинематическую цепь и дополнительный механизм, обеспечивающий введение в настройку величины, зависящей от углов наклона винтовой линии в крайних положениях и длины нарезаемой винтовой линии.

В настоящее время нарезание червяков с переменным шагом осуществляется на токарно-винторезных станках с помощью различных приспособлений и копирующих устройств. Данная проблема является актуальной, так как дальнейшее совершенствование червячных машин для переработки пластмасс невозможно без специального станочного оборудования [1, 2].

Формообразующие цепи станков, составленные из механических звеньев

Главным преимуществом кинематических цепей, составленных из механических звеньев, является обеспечение ими весьма точных значений передаточных отношений выходных звеньев, не требующее дополнительных перенастроек в процессе работы.

Работая в тяжелых динамических условиях и передавая конечным звеньям цепи – инструменту и заготовке – значительные усилия и моменты, элементы цепей изнашиваются, и первоначальная точность станка теряется. Под действием усилий резания, переменных сил трения и инерционных нагрузок валы с закрепленными зубчатыми колесами, шкивами деформируются, что создает дополнительные динамические нагрузки в цепях, а валы с закрепленными шестернями испытывают крутильные и поперечные колебания.

В некоторых типах металлорежущих станков, где требуется осуществлять жесткую функциональную связь для создания взаимосвязанных формообразующих движений инструмента и заготовки, таких как зубо- и резьбообрабатывающих

станков, осуществления кинематических связей механическими цепями между исполнительными органами, положения которых должны быть согласованными в процессе резания, возникают серьезные затруднения вследствие значительной удаленности их друг от друга, конструктивно сложного пространственного взаиморасположения и высоких требований к точности согласованных движений.

При значительном числе промежуточных подвижных элементов кинематических цепей, сложном пространственном расположении рабочих и исполнительных органов станка и значительном расстоянии между подвижными рабочими органами станка механические кинематические цепи становятся громоздкими и сложными, что приводит к усложнению конструкции станка и снижению точности функционально связанных перемещений.

К наиболее существенным недостаткам кинематических цепей, составленных из механических звеньев, относятся:

- значительная протяженность кинематических цепей, особенно при сложном пространственном расположении рабочих органов (узел заготовки и узел инструмента) и большом расстоянии между исполнительными органами станка;

- кинематические цепи из механических звеньев имеют непостоянную жесткость, так как крутильная жесткость определяется протяженностью цепи и жесткостью стыков в кинематических парах, числом стыков;

- индивидуальное проектирование и построение внутренних кинематических цепей под каждую отдельную компоновку станка одного и того же типа и назначения, но разного габарита.

На кинематическую точность цепи, составленной из механических звеньев, влияют геометрическая неточность элементов цепи, неточность их взаимного расположения, обусловленные погрешностями обработки и сборки. Существенное влияние на точность таких цепей оказывают температурные деформации и крутильная жесткость, влияние которой особенно приобретает в цепях обката, цепях деления, винторезных цепях значительной протяженности.

Для обеспечения высокой точности функционально связанных перемещений все элементы кинематических цепей (зубчатые колеса, ходовые винты, червячные колеса и др.), должны быть выполнены с высокой точностью. Конструкция опор должна исключать биение валов и ходовых винтов в осевом направлении. Конечные звенья кинематической цепи во всех случаях монтируются на опорах высокой точности.

При проектировании и построении кинематических цепей, осуществляющих точные функционально-связанные перемещения необходимо предусмотреть меры для устранения зазоров между элементами кинематической цепи, особенно в конечных звеньях – винтовых парах и червячных передачах. Использование кинематических цепей, составленных из механических звеньев, для осуществления функциональной связи между заготовкой и инструментом не удовлетворяет возрастающим требованиям повышения точности, жесткости, снижения металлоемкости, а также построению их по агрегатно-модульному принципу в станках различного типоразмера. Это свидетельствует о том, что известные традиционные методы построения внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков на основе механических связей и повышения их точности достигли определенного предельного уровня влияния на точность станков.

Дальнейшие работы в данном направлении приводят к существенному повышению стоимости станков, имеющих сложные разветвленные многозвенные переналаживаемые механические цепи значительной протяженности, которые должны обеспечить жесткую функциональную связь для создания точных взаимосвязанных формообразующих движений заготовки и инструмента, когда наличие тяжело нагруженных длинных силовых кинематических цепей, подверженных значительным механическим и температурным деформациям и износу, требует применения громоздких, имеющих низкий КПД, механических устройств.

Одним из возможных, практически реализуемых решений повышения точности внутренних (формообразующих) цепей станков со сложными движениями формообразования и сохранения ее в процессе эксплуатации станка является замена механических цепей гидравлической связью на основе шагового гидропривода. Применение шагового гидропривода для построения внутренних цепей обеспечивает высокую точность согласования угловых и линейных перемещений и возможность прямого непосредственного соединения исполнительного гидравлического шагового двигателя (ГШД) с нагрузкой, исключая промежуточные механические передачи, редукторы, коробки передач.

Формообразующие цепи станков на основе шагового гидропривода

Гидравлический шаговый привод составляет новый класс объемных гидроприводов, функциональные свойства которых состоят в том, что они способны устойчиво обрабатывать релейные и импульсные управляющие сигналы с высокой точностью при практически любой встречающейся нагрузке. Структурно шаговый гидропривод представляет собой систему, состоящую из трех агрегатов (модулей): ГШД, источника рабочей жидкости (насосной установки), а также управляющего (коммутирующего) устройства (генератора гидравлических импульсов различной конструкции), которое формирует управляющие импульсы и распределяет их по рабочим камерам ГШД.

Работа ГШД зависит от количества и последовательности поступления управляющих импульсов, формирование и распределение которых осуществляется с помощью различного типа коммутирующих устройств, при этом каждому управляющему импульсу соответствует определенный фиксированный угол поворота выходного вала ГШД, соединенного с исполнительным звеном-заготовкой и инструментом. Учитывая, что для воспроизведения образующей линии по методу обката между перемещениями рабочих органов – заготовки и инструмента – необходимо осуществить требуемую функциональную зависимость, а для получения формообразующего движения – обеспечить жесткую кинематическую связь между заготовкой и инструментом, то в этом случае из всех конструкций ГШД наиболее приемлемыми для построения внутренних кинематических цепей, выполненных в виде гидравлических связей на основе шагового гидропривода, являются двигатели с механической редукцией шага.

При использовании во внутренних кинематических цепях в качестве силового органа ГШД связь между заготовкой и инструментом осуществляется благодаря тому, что расход рабочей жидкости посредством рабочих щелей распределительного устройства преобразуется в определенную последовательность гидравлических импульсов, которые распределяются по силовым камерам ГШД, при этом каждому из них соответствует определенный угол поворота выходных валов ГШД, пропорциональный числу импульсов, а скорость вращения – пропорциональна частоте следования управляющих импульсов. Передаточные отношения между рабочими исполнительными органами станка – заготовкой и инструментом – при применении гидравлической связи зависят от соотношения частот управляющих гидравлических импульсов, поступающих к ГШД привода заготовки и инструмента. Используя свойства частотного регулирования скорости исполнительных ГШД, можно применять гидравлические связи на основе шагового гидропривода для построения внутренних (формообразующих) цепей станков взамен механических цепей значительной протяженности, которые обеспечивают жесткую функциональную связь для создания взаимосвязанных формообразующих движений заготовки и инструмента.

ния шага [4, 5]. Данный станок включает в себя инструмент 12, представляющий собой дисковую фрезу, которая имеет профиль, соответствующий профилю нарезаемой резьбы, и совершающую вращательное движение от электродвигателя D_1 через звено настройки i_{v1} ; заготовку 11, вращающуюся (движение круговой подачи) от электродвигателя D через звено настройки i_v .

Станок для нарезания винтовых поверхностей с переменным шагом на деталях типа ходовых винтов, червяков содержит кинематическую цепь вращения шпинделя с закрепленной заготовкой; кинематическую цепь начального шага, и связанную с ней суммирующим механизмом в виде дифференциала с коническими колесами цепь приращения шага с размещенным в ней механизмом приращения шага, выполненном в виде коррекционной линейки с реечной передачей.

Продольное перемещение суппорта 13 с фрезерной головкой 14, несущей инструмент 12 (цепь начального шага винтовой поверхности), осуществляется от ГШД 4, управляемого генератором гидравлических импульсов 10. Золотниковая втулка получает вращение от приводного зубчатого колеса 7, жестко закрепленного на шпинделе заготовки 11. Переменный шаг винта образуется в результате того, что суппорту сообщается одновременно два движения: одно – с постоянной скоростью от ходового винта и другое – с переменной скоростью за счет дополнительного поворота ходовому винту по дополнительной кинематической цепи.

Дополнительное перемещение инструмента, соответствующее величине приращения шага винтовой линии, осуществляется от ГШД 1, кинематически связанного с суппортом 13 посредством червячной передачи 2 с суммирующим механизмом 3 в виде дифференциала с коническими колесами и управляемого генератором гидравлических импульсов 5, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от шпинделя заготовки посредством цилиндрических зубчатых колес 7 и 6.

Рабочая жидкость к генератору гидравлических импульсов поступает от насосной установки 8 по трубопроводу 9.

Работа подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-48-680787).

Список литературы

1. Ванин, В. А. Резьбообрабатывающие станки с гидравлическими формообразующими связями на основе шагового гидропривода для обработки винтовых поверхностей переменного шага / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, А. А. Родина // Вестн. машиностроения. – 2014. – № 7. – С. 37 – 45.
2. Ванин, В. А. Гидравлические связи на основе шагового гидропривода во внутренних (формообразующих) цепях металлорежущих станков со сложными движениями формообразования / В. А. Ванин, А. Н. Колодин // Справочник. Инженер. журн. с прил. – 2014. – № 10. – С. 28 – 36.
3. Синтез оптимальной структуры формообразующих цепей на основе гидравлических связей в станках со сложными движениями формообразования / В. А. Ванин [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2016. – Т. 22, № 2. – С. 303 – 314. doi: 10.17277/vestnik.2016.02.pp.303-314
4. Vanin, V. A. Modular Design Based on Hydraulic Step Drives for Internal Kinematic Chains in Metal-Cutting Machines / V. A. Vanin, A. N. Kolodin // Russian Engineering Research. – 2011. – No. 31(1). – P. 56 – 58.

5. Vanin, V. A. Kinematic Structure of Metal-Cutting Machines with Hydraulic Couplings / V. A. Vanin, A. N. Kolodin, A. A. Rodina // Russian Engineering Research. – 2015. – No. 34(12). – P. 763 – 768.

Synthesis of the Structure of Formative Chains Based on Hydraulic Connections in Machines with Complex Shape-Generating Motions

V. A. Vanin, A. N. Kolodin, A. A. Rodina

Department of Computer-Integrated Systems in Mechanical Engineering, TSTU, Tambov, Russia; ant-rodina1209@yandex.ru

Keywords: hydraulic connections; hydraulic generator of pulses; hydraulic stepper drive; internal (formative) chains; stepper hydraulic motor; shape-generating motions.

Abstract: The paper explores the possibility of constructing internal (formative) kinematic chains in the form of hydraulic connections based on a hydraulic stepper drive instead of mechanical chains in machines of various technological purposes with complex motions to increase accuracy and reduce metal consumption. In creating a rational design of internal (formative) chains for machines of various technological purposes, different sizes, the modular principle is used in the design and construction of kinematic chains of machines.

We describe structural diagrams of metal-cutting machines with complex shape-generating motions used to process products of complex shape with hydraulic formative connections, using a hydraulic stepper drive. Hydraulic stepper drives with mechanical step reduction are used as the power actuator, with a control (switching) device in the form of generator of hydraulic pulses, and spool sleeves used to form control pulses.

References

1. Vanin V.A., Kolodin A.N., Rodina A.A. [Threading machines with hydraulic forming connections on the basis of a stepping hydraulic drive for processing screw surfaces of variable pitch], *Vestnik mashinostroeniya* [Bulletin of Machine Building], 2014, no. 7, pp. 37-45. (In Russ.)
2. Vanin V.A., Kolodin A.N. [Hydraulic connections on the basis of a step-type hydraulic drive in internal (forming) chains of metal-cutting machine tools with complex shaping motions], *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal s prilozheniyami* [Directory. Engineering Journal with applications], no. 10, 2014, pp. 28-36. (In Russ.)
3. Vanin V.A., Kolodin A.N., Soldatov A.V., Kharin D.A. [Thread-Milling Machine Tools with Hydraulic (Formative) Connections on the Base of Stepping Hydraulic Drive], *Transactions of Tambov State Technical University*, 2016, vol. 22, no. 2, pp. 303-314, doi: 10.17277/vestnik.2016.02.pp.303-314 (In Russ., abstract in Eng.)
4. Vanin V.A., Kolodin A.N. Modular design based on hydraulic step drives for internal kinematic chains in metal-cutting machines, *Russian Engineering Research*, 2011, no. 31(1), pp. 56-58.
5. Vanin V.A., Kolodin A.N., Rodina A.A. Kinematic structure of metal-cutting machines with hydraulic couplings, *Russian Engineering Research*, 2015, no. 34(12), pp. 763-768.

Synthese der Struktur der formbildenden Ketten auf der Basis der hydraulischen Verbindungen in Werkzeugmaschinen mit komplexen Bewegungen der Formgebung

Zusammenfassung: Es ist die Möglichkeit des Konstruierens der inneren (formbildenden) kinematischen Ketten in Form von hydraulischen Verbindungen auf der Basis des schritthydraulischen Antriebs anstelle der mechanischen Ketten in Werkzeugmaschinen mit komplexen Bewegungen der Formbildung verschiedener technologischer Zweckbestimmung mit dem Ziel der Erhöhung der Genauigkeit, der Reduzierung des Metalleinsatzes, der Schaffung der rationalen Konstruktion der inneren (formbildenden) kinematischen Ketten, der Werkzeuge für verschiedene technologische Zwecke, verschiedene Typengrößen betrachtet, indem man das Aggregatbaukastenprinzip bei der Konstruktion und beim Bau der kinematischen Ketten von Werkzeugmaschinen benutzt hat.

Synthèse de la structure des circuits de formation à la base des liens hydrauliques dans les machines avec des mouvements complexes de formation

Résumé: Est examinée la possibilité de la construction des circuits cinématiques internes (de formation) sous forme des liens hydrauliques à la base de la commande hydraulique pas à pas au lieu des circuits mécaniques dans les machines avec des mouvements complexes de formation de la diverse destination technologique afin d'améliorer la précision, la réduction de la quantité du métal exigée, la construction des circuits cinématiques internes (de formation), des machines-outils de la diverse destination technologique, de différentes tailles, en utilisant le principe d'agrégat modulaire lors de la conception et de la construction des circuits cinématiques de machines-outils.

Авторы: *Ванин Василий Агафонович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Колодин Андрей Николаевич* – старший преподаватель кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Родина Антонина Александровна* – старший преподаватель кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Соколов Михаил Владимирович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.
