

УДК 621.914.5:62.231.3.001

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЗУБОРЕЗНЫХ СТАНКОВ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ СВЯЗЯМИ ВО ВНУТРЕННИХ (ФОРМООБРАЗУЮЩИХ) ЦЕПЯХ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЗУБЬЕВ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС

В.А. Ванин, А.Н. Колодин, М.З. До, М.М. Дамап

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический
университет», г. Тамбов*

Рецензент д-р техн. наук, профессор А.А. Чуриков

Ключевые слова и фразы: генератор гидравлических импульсов; гидравлические связи; гидравлический шаговый двигатель; гидравлический шаговый привод; станки для нарезания зубьев конических колес; формообразующие цепи станков.

Аннотация: Рассмотрена возможность построения внутренних кинематических цепей в виде гидравлических связей на основе шагового гидропривода зуборезных станков для нарезания зубьев конических зубчатых колес с целью повышения точности, снижения металлоемкости, создания рациональной конструкции станка, используя агрегатно-модульный принцип построения кинематических цепей.

Введение

Конические зубчатые колеса применяют для передачи вращения между пересекающимися осями, а гипоидные конические колеса – для передачи вращения между скрещивающимися осями.

Профили зубьев конических колес представляют собой сферические кривые, которые отличаются от эвольвент – плоских кривых. Замена сферической поверхности, на которой должен строиться профиль зуба, касательной к ней конической поверхностью (дополнительным конусом) приводит к октоидальному зацеплению, близкому по форме к эвольвентному.

Ванин Василий Агафонович – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»; Колодин Андрей Николаевич – ассистент кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», e-mail: dekokan@yandex.ru; До Мань Зунг – магистрант кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»; Дамап Максвел Маншак – магистрант кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», ТамбГТУ, г. Тамбов.

Форма зуба конических колес по длине может быть прямолинейной, совпадающей с образующей конуса, или криволинейной, наклоненной к образующей начального конуса под углом β .

Из возможных форм зуба по длине чаще всего используются прямая – при нарезании конических колес с прямыми и тангенциальными зубьями, дуга окружности – при нарезании колес с дуговыми зубьями и с нулевым углом спирали, эвольвента – при нарезании конических колес с криволинейными зубьями.

Применение указанных линий образования формы зуба обусловлено тем, что их можно образовать с помощью комбинации простых равномерных движений – поступательного и вращательного, которые легче всего осуществить на станке.

Кинематическая структура зуборезных станков, нарезающих конические колеса по методу обката как с прямым, так и с криволинейным зубом, состоит из двух кинематических групп формообразования (в некоторых случаях из трех групп, с добавлением отдельной группы деления) – движение скорости резания Φ_v и движения обката Φ_s . Группа движения обката обеспечивает формообразующее движение качения B_1B_2 заготовки по плоскому производящему колесу. С помощью этого движения создается профиль зуба, а также и форма зуба по длине, которая зависит от формы зуба на плоском колесе. Последнюю создает второе формообразующее движение, которое называется движением формы зуба по длине [1].

Движение формообразования Φ_v для прямого зуба будет $\Phi_v(P_3)$, для тангенциального зуба – также прямолинейное $\Phi_v(P_3)$, но направленное под углом β к образующей начального конуса. При образовании дугового зуба это движение будет простым вращательным $\Phi_v(B_3)$. Движение обката $\Phi_s(B_2B_3)$ будет для всех станков одинаковым.

Здесь обозначено: B_1 – вращение зуборезной головки; B_2 – вращение плоского производящего колеса (обкатной люльки); P_1 – возвратно-поступательное движение резцов.

Если резцу, размещенному на люльке станка, сообщить прямолинейное возвратно-поступательное движение по образующей конуса заготовки, то на воображаемом плоском колесе и на нарезаемом коническом колесе получится прямой зуб (рис. 1, а). Если же это движение будет направлено под углом β к образующей начального конуса, то получится тангенциальный зуб.

Если вместо двух резцов применить резцовую зуборезную головку, имеющую 18–24 резца, которой сообщить вращательное движение B_3 вокруг собственной оси, то образуется круговой зуб (рис. 1, б).

Изменяя положение центра резцовой головки O_1 относительно центра плоского колеса O_2 , можно получить различные углы наклона β нарезаемых зубьев конических колес.

Сложное движение качения резцовой головки относительно плоского колеса обеспечивается внутренней кинематической цепью, связывающей между собой шпиндель резцовой головки и шпиндель плоского производящего колеса.

На рисунке 1, в представлена схема нарезания криволинейного зуба конического колеса червячной конической фрезой. Этот принцип нареза-

ния зубьев конических колес осуществлен в зуборезных полуавтоматах «Клингельнберг» (Германия). Этот станок работает по методу воспроизведения зацепления пары конических колес, при этом червячная коническая фреза представляет собой воображаемое плоское производящее колесо, с которым сцепляется нарезаемая заготовка.

Структура станка состоит из двух кинематических групп формообразования $\Phi_v(B_3B_4)$ и $\Phi_s(B_1B_2)$, где B_1 – вращение червячной фрезы вокруг своей оси; B_2 – вращение заготовки вокруг своей оси; B_3 – делительное движение – внутренняя связь между люлькой и заготовкой (цепь профилирования зуба по его длине) при следующих расчетных перемещениях

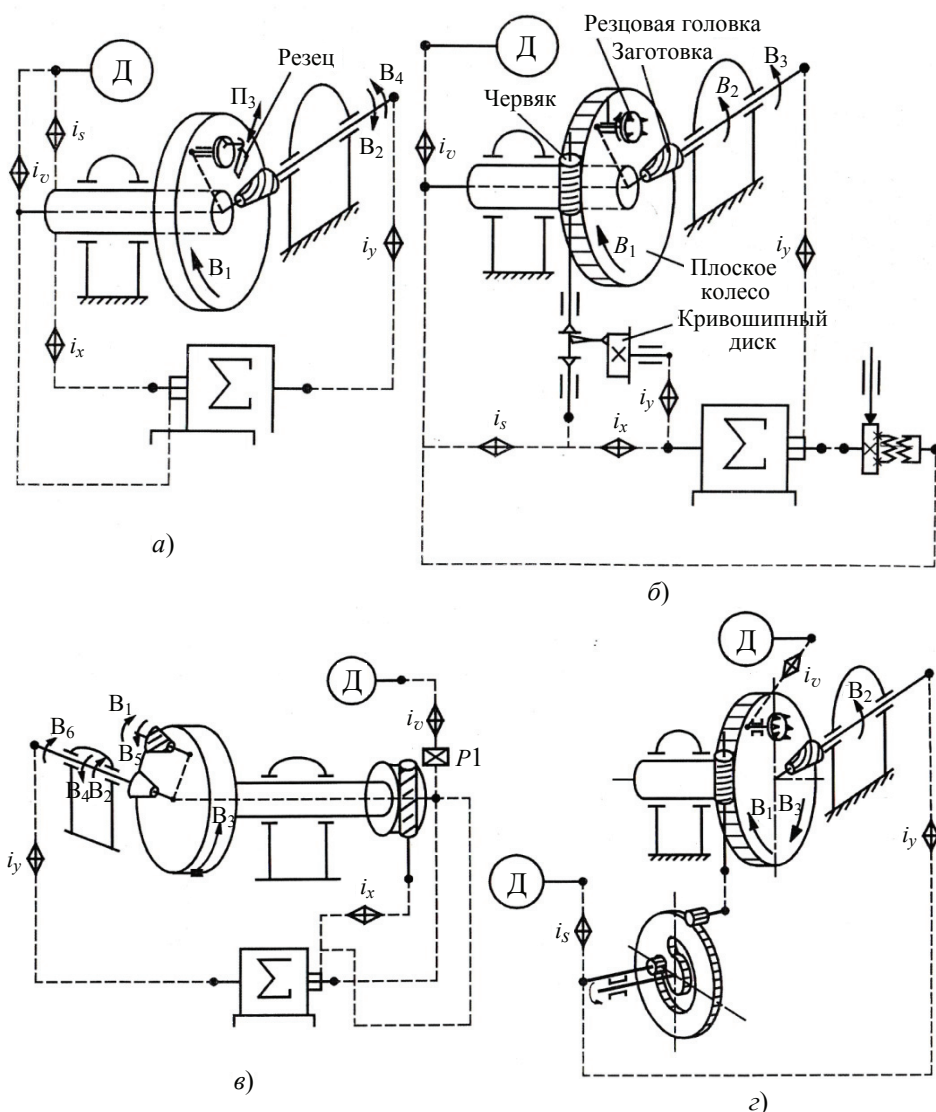


Рис. 1. Структурные схемы зуборезных станков для нарезания зубьев конических колес:

а – прямозубых конических колес зубострогальными резцами; *б* – криволинейных зубьев резцовой головкой; *в* – зубьев конических зубчатых колес червячной конической фрезой; *г* – криволинейных зубьев полуобкатных передач

конечных звеньев цепи: 1 оборот червячной фрезы $\rightarrow \frac{1}{z}$ оборот заготовки;

V_4 – вращательное движение между люлькой с расположенной на ней фрезой и заготовкой (дифференциальная цепь для образования профиля зуба) при следующих расчетных перемещениях: 1 оборот плоского колеса $\rightarrow \frac{z_{пл}}{z_{заг}}$ оборот заготовки.

С помощью этого движения на плоском колесе будет образована по длине зуба эвольвента, так как производящий контур (зуб круговой рейки) участвует одновременно в двух движениях – в поступательном перемещении вдоль оси фрезы (от ее вращения V_3) и во вращательном движении V_4 вокруг оси плоского колеса, и тем самым воспроизводит движение качения без скольжения прямой по окружности, а при таком движении любая точка прямой описывает эвольвенту. Получающийся зуб отличается от других криволинейных зубьев тем, что его толщина и высота по всей длине зуба остаются постоянными.

Для получения формообразующего движения между заготовкой и инструментом в зуборезных станках необходимо создать кинематическую связь между исполнительными звеньями и кинематическую связь этих звеньев с источником движения.

Такие связи в большинстве своем осуществляются кинематическими цепями, состоящими из механических элементов (валы, зубчатые колеса и т.п.) как в цепях главного движения, так и во внутренних (формообразующих) цепях металлорежущих станков.

Разновидностью метода обката, используемого в производстве конических колес разных типов, является полуобкатной метод. Этот метод заключается в том, что нарезание зубьев колеса, имеющих небольшую кривизну профиля, производят плоским производящим колесом без обката (метод копирования), что значительно сокращает время обработки и повышает производительность. Нарезанные таким образом зубья колеса полуобкатной передачи имеют реечный профиль. Для компенсации отсутствия кривизны профиля зубьев колеса у зубьев шестерни полуобкатной передачи с головкой и ножки зуба срезается соответствующая часть металла. Шестерня полуобкатной передачи может быть нарезана с применением специального механизма модификации обката.

Такая структурная схема осуществлена в зуборезном станке при нарезании полуобкатных конических колес с дугowym зубом резцовой головкой. Неравномерное вращательное движение V_1 плоского колеса получается из-за двух движений червяка – равномерного вращения и неравномерного поступательного перемещения червяка (рис. 1, з). Неравномерное перемещение червяка получает от кривошипного диска. Настройка на изменение отношения скоростей V_1 и V_2 и пределов этого отношения производится с помощью гитары и изменением радиуса кривошипа. Внутренняя связь между шпинделем заготовки и плоским колесом осуществляется двумя внутренними кинематическими цепями. Первая кинематическая цепь имеет следующий состав: шпиндель заготовки – гитара i_y – сумми-

рующий механизм – гитара i_x – червячная передача – плоское колесо. Вторая кинематическая цепь: шпиндель заготовки – гитара i_y – суммирующий механизм – гитара i_z – кривошипный механизм – червячная передача – плоское колесо.

На кинематическую точность цепи, составленной из механических звеньев, влияют геометрическая неточность элементов и неточность их взаимного расположения, обусловленная погрешностями обработки и сборки. Большое влияние на точность цепи оказывают температурные деформации и крутильная жесткость.

Наиболее существенные недостатки механических кинематических цепей:

- громоздкость и значительная протяженность кинематических цепей, особенно при сложном пространственном расположении рабочих органов и при большом расстоянии между исполнительными органами станка;

- непостоянная жесткость кинематических цепей из механических звеньев, так как крутильная жесткость определяется протяженностью цепи и жесткостью стыков в кинематических парах;

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

Использование механических связей для построения внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков не удовлетворяет возрастающим требованиям повышения точности, жесткости, снижения металлоемкости, а все известные традиционные методы построения внутренних цепей на основе механических связей и повышения их точности сведены к увеличению жесткости станков, повышению качества сборки и доводки узлов, выбору рациональной конструкции базовых деталей и достигли определенного предельного уровня влияния на точность станков и практически не имеют резервов повышения точности. Дальнейшие работы в этом направлении приводят к существенному повышению стоимости станка.

Одним из возможных направлений повышения точности внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков и сохранения ее в процессе эксплуатации является сокращение протяженности кинематических цепей за счет максимального исключения из состава цепей всех промежуточных звеньев и применения высокоточных приводов, обеспечивающих возможность прямого непосредственного соединения двигателя с нагрузкой, исключая при этом коробки передач, редукторы, промежуточные передачи.

Такие кинематические связи могут быть выполнены в виде разомкнутого шагового гидропривода, применение которого во внутренних цепях металлорежущих станков позволит в разомкнутой системе реализовать управляющие функции с большей точностью [2, 3].

Особыми функциональными свойствами шаговых гидродвигателей является способность отрабатывать дискретные управляющие сигналы с высокой точностью и большим усилением по мощности.

Эти качества являются определяющими для построения внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков.

Звеном настройки такой передачи служит генератор гидравлических импульсов, который соединен с шаговым гидродвигателем (ГШД) системой трубопроводов и преобразует энергию рабочей жидкости в гидравлические импульсы и распределяет их в определенной последовательности по рабочим камерам шагового гидродвигателя.

Скорость вращения и суммарный угол поворота выходного вала ГШД пропорциональны соответственно частоте и количеству управляющих импульсов. При использовании шагового гидропривода во внутренних цепях металлорежущих станков передаточное отношение между исполнительными органами гидравлической связи зависит от соотношения частот управляющих импульсов, формируемых коммутирующим устройством (генератором гидравлических импульсов) и подаваемых к исполнительным шаговым двигателям привода заготовки и инструмента.

Поскольку для получения формообразующего движения необходимо обеспечить жесткую кинематическую связь между заготовкой и инструментом для осуществления требуемой функциональной зависимости между перемещениями рабочих органов, то из всех видов шаговых гидродвигателей наиболее приемлемыми для построения во внутренних кинематических цепях являются двигатели с механической редукцией шага.

Построение внутренних кинематических цепей на основе шагового гидропривода в виде гидравлических связей возможно благодаря тому, что при использовании гидравлических связей обеспечивается:

- 1) жесткая функциональная кинематическая связь между исполнительными органами с сохранением точного передаточного отношения;
- 2) возможность регулирования скоростей движения исполнительных органов и их передаточных отношений в определенном диапазоне;
- 3) податливость гидравлической цепи не ниже податливости цепи, составленной из механических звеньев.

Используя для построения внутренних кинематических цепей гидравлические связи на основе шагового гидропривода, представляется возможным применить модульный принцип, поскольку шаговый гидропривод состоит из автономных функционально и конструктивно завершенных блоков (модулей), которые могут выполнять заданные функции либо самостоятельно, либо совместно с другими подобными модулями в зависимости от сложности и назначения кинематической цепи, количества формообразующих движений, точности кинематической цепи.

Это относится к металлорежущим станкам, имеющим сложное пространственное расположение рабочих органов при значительном расстоянии между подвижными рабочими органами, длинные и разветвленные многозвенные перенастраиваемые кинематические цепи, где требуется создание необходимых относительных взаимосвязанных формообразующих движений инструмента и обрабатываемой заготовки.

При применении во внутренних (формообразующих) цепях гидравлических связей на основе шагового гидропривода возможно заменить силовые кинематические цепи значительной протяженности короткими цепями для непосредственного привода исполнительных звеньев станка – заготовки и инструмента.

Ниже рассмотрены структурные схемы зуборезных станков для нарезания конических колес различного технологического назначения, формо-

образующие кинематические цепи которых построены по модульному принципу с использованием гидравлических связей на основе шагового гидравлического привода с различными схемами коммутации потоков рабочей жидкости.

На рисунке 2 представлена структурная схема гидравлической цепи обката зуборезного станка для нарезания прямозубых конических колес методом обката двумя резцовыми головками [4].

Станок включает в себя инструмент 10, размещенный на люльке 9 станка и совершающий вращательное движение от электродвигателя Д через настройки i_v и взаимодействующий с заготовкой 11, связанные между собой цепью обката.

Люлька получает вращение от гидравлического шагового двигателя 14, кинематически связанного с ней посредством червячной передачи 8.

Шаговый гидродвигатель управляется генератором гидравлических импульсов 7, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от зубчатого колеса 4, закрепленного на одном валу с шестерней 5, находящейся в зацеплении с внутренним периметром составного колеса 15 и получающей вращение от гидромотора 3. Рабочая жидкость к генераторам гидравлических импульсов подводится от насосной установки 1 по трубопроводу 2.

На рисунке 3 представлена структурная схема зуборезного станка с гидравлическими связями для нарезания конических зубчатых колес с криволинейным зубом резцовой головкой по методу обката [5].

Станок включает в себя инструмент 11, размещенный на люльке 10 и вращающийся от электродвигателя Д через звено настройки i_v , заготовку 12, взаимодействующую с инструментом по цепи обката.

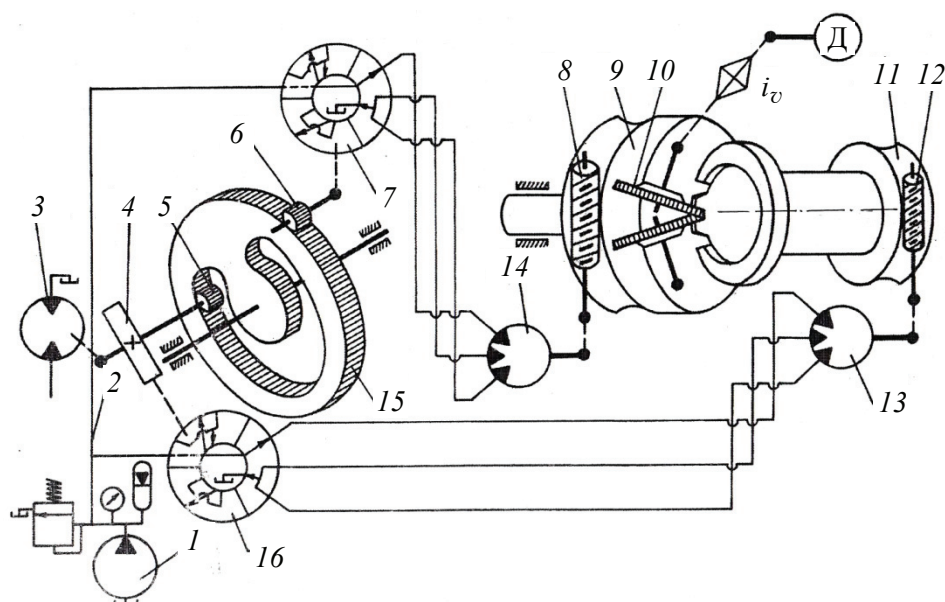


Рис. 2. Структурная схема зуборезного станка с гидравлическими внутренними связями для нарезания прямозубых конических колес двумя резцовыми головками

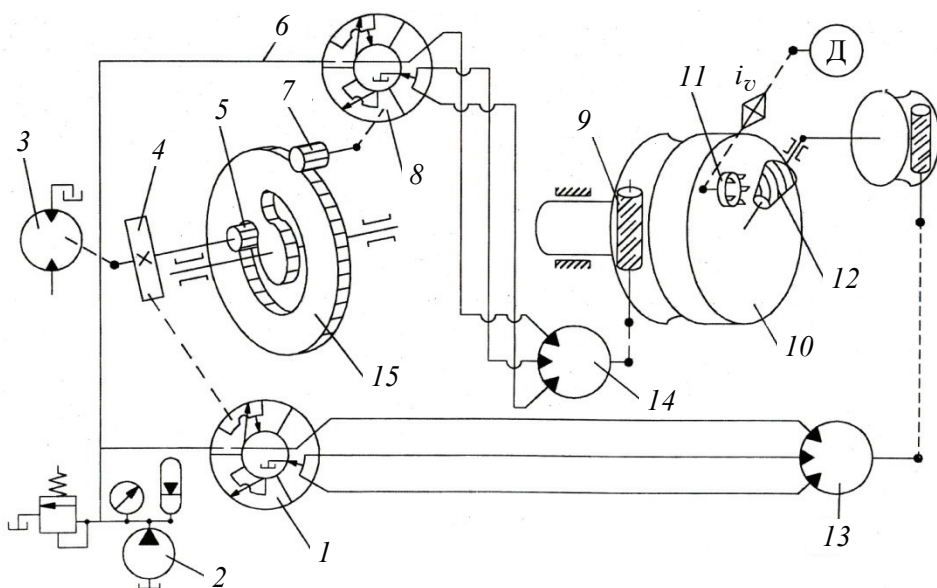


Рис. 3. Структурная схема зуборезного станка с гидравлическими связями во внутренней цепи для нарезания конических колес с криволинейным зубом резцовой головкой

Вращение люльки 10 с инструментом 11 осуществляется от гидравлического шагового двигателя 14, кинематически связанного посредством червячной передачи 9 с люлькой и управляемого генератором гидравлических импульсов 8, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получают вращение от шестерни 7, находящейся в зацеплении с внешним периметром составного зубчатого колеса 15.

Вращение заготовки 12 осуществляется от шагового гидродвигателя 13, управляемого генератором гидравлических импульсов 1, золотниковая втулка которого получает вращение от зубчатого колеса 4, закрепленного на одном валу с шестерней 5, находящейся в зацеплении с внутренним периметром вышеупомянутого составного зубчатого колеса 15 и получающей вращение от гидромотора 3.

Рабочая жидкость к генераторам гидравлических импульсов подводится от насосной установки 2 по трубопроводу 6.

Применение унифицированных гидравлических связей на основе шагового гидропривода во внутренних (формообразующих) цепях металло-режущих станков взамен механических цепей позволяет:

- упростить построение кинематики станка, уменьшить разнообразие конструкций модулей;
- устранить конструктивное и размерное многообразие формообразующих кинематических цепей;
- уменьшить металлоемкость и массу станка;
- осуществить унификацию как элементов привода, так и приводов в целом как для станков одного назначения по отдельным координатам, так и для станков различного технологического назначения и различных типоразмеров;
- упростить механическую составляющую кинематической структуры станка.

Список литературы

1. Федотенок, А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А.А. Федотенок. – М. : Машиностроение, 1970. – 403 с.
2. Ванин, В.А. Применение гидравлических шаговых моторов цепи обката зубодолбежного станка / В.А. Ванин, О.Н. Трифонов // Гидравлические системы металлорежущих станков : межвуз. сб. науч. тр. / под ред. О.Н. Трифонова – М., 1977. – Вып. 2. – С. 98–104.
3. Трифонов, О.Н. «Гидравлический вал» в приводе металлорежущих станков / О.Н. Трифонов, В.А. Ванин // Гидравлические системы металлорежущих станков : межвуз. сб. науч. тр. / под ред. О.Н. Трифонова. – М., 1974. – Вып. 1. – С. 178–184.
4. Пат. 2168400 Российская Федерация, МПК 7 В 23 F 5/27. Зуборезный станок для нарезания прямозубных конических колес / Ванин В.А. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 99112021/02 ; заявл. 03.06.99 ; опубл. 10.06.2001. – Бюл. № 16 (I ч.). – 2 с.
5. Пат. 2211751 Российская Федерация, МПК 7 В 23 F 9/12. Зуборезный станок с гидравлическими связями для нарезания конических колес со спиральным зубом / Ванин В.А., Жирняков В.В. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2001108822/02 ; заявл. 02.04.2001 ; 10.09.2003. – Бюл. № 25 (III ч.). – 2 с.
6. Пат. 2146188 Российская Федерация МПК 7 В 23 F 9/12. Цепь обката зуборезного станка для нарезания конических колес со спиральным зубом / Ванин В.А., Жирняков В.В. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 98116770/02 ; заявл. 08.09.98 ; опубл. 10.03.2000. – Бюл. № 7. – 2 с.

The Kinematic Structure of the Gear-Cutting Machines with Hydraulic Connections in the Internal (Formative) Chains for Cutting Tooth Bevel Gears

V.A. Vanin, A.N. Kolodin, M.Z. Do, M.M. Damap

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: formative chains of machines; hydraulic connection; hydraulic pulse generator; hydraulic stepping actuator; hydraulic stepper motor; machine tools for cutting the teeth of bevel gears.

Abstract: The paper studies the possibility of building an internal kinematic network in the form of hydraulic bonds on the basis of a step-hydraulic drive of a gear-cutting machine for cutting the teeth of bevel gears in order to improve accuracy, reduce the specific quantity of metal, create a rational design of the machine using aggregate modular for building a kinematic network.

© В.А. Ванин, А.Н. Колодин, М.З. До, М.М. Дамап, 2012