

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.9.06+372.8

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КИНЕМАТИКО-КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ УНИВЕРСАЛЬНЫХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

канд. техн. наук, проф. А.И. ГОЛЕМБИЕВСКИЙ
(Полоцкий государственный университет)

Предлагается использование функционального проектирования в методике разработки кинематико-компоновочных схем универсальных металлорежущих станков. Функциональное проектирование рассматривается как синтез частных кинематических структур металлорежущих станков по закону функционирования, задаваемому соответствующим способом формообразующей обработки; кинематико-компоновочная схема универсального станка – как объединение частных структурных схем. Функциональное проектирование основано на современной университетской парадигме познания станочного оборудования, базирующейся на теории образования реальных поверхностей, теории кинематической структуры и теории настройки металлорежущих станков.

Ключевые слова: функциональное проектирование, этапы проектирования, способы формообразующей обработки, разработка частных структурных схем станков, обобщенная кинематико-компоновочная структура универсального металлорежущего станка.

Введение. Современная университетская методика изучения станочного оборудования основана на парадигме познания, базирующейся на фундаментальных положениях теоретической механики: законе разветвления механической энергии в кинематических цепях и принципе возможных перемещений, известном в кинематике как принцип Даламбера. Эта парадигма [1] включает логически связанные части: основы теории формообразования реальных поверхностей в машиностроении и понятие о способе формообразующей обработки [2], а также понятие о кинематической структуре, функции и настройке металлорежущих станков [3].

В учебной литературе, в т.ч. в фундаментальном учебнике для вузов [4] по направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», фундаментальные понятия университетской парадигмы познания станочного оборудования представляются как уже известные технические решения. Такой обезличенный подход не стимулирует творческое мышление при познании виртуальных технических решений (способов формообразующей обработки) и соответствующих им реальных технических решений (кинематической или кинематико-компоновочной, структуры металлорежущих станков), являющихся объектами интеллектуальной собственности, защищаемыми патентами на изобретения и полезные модели. Данное явление, по существу, является противоречием между современной методикой изучения станочного оборудования и парадигмой его познания. Это противоречие устраняется посредством включения функционального проектирования в методику изучения станочного оборудования [5].

Практическая составляющая названной выше парадигмы познания включает синтез кинематических или кинематико-компоновочных структурных схем металлорежущих станков. Синтез – это функциональное проектирование технического объекта или по заданному функциональному назначению, или по закону его функционирования, задаваемому соответствующим способом или группой способов формообразующей обработки. Первый вариант характерен для традиционного проектирования от достигнутого уровня развития станочного оборудования. Такое проектирование используется, как правило, при модернизации устаревших моделей станков. На современном этапе познания станочного оборудования предпочтителен второй, инновационный, вариант. В этом случае функциональное проектирование пересекается с научно-технической экспертизой изобретений, т.к. позволяет проследить путь создания, или «изобретения», кинематической или кинематико-компоновочной структурной схемы металлорежущего станка, при определенных условиях защищаемого патентом [6].

Процесс функционального проектирования носит итерационный характер, т.е. от этапа к этапу – от анализа соответствующего способа или группы способов формообразующей обработки последовательно к решению поставленной задачи.

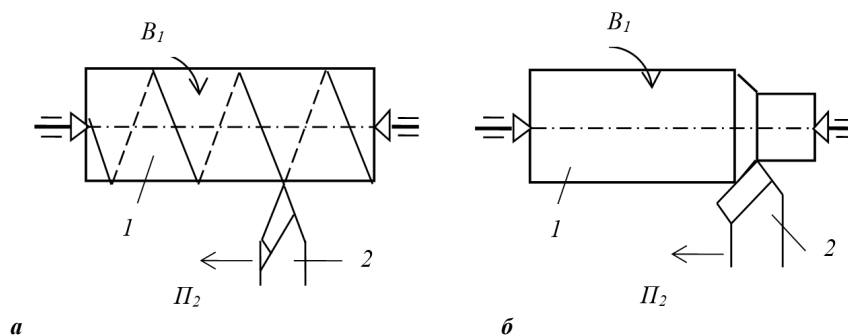
Основная часть. Металлорежущие станки общего назначения, или универсальные, – это объединение нескольких частных кинематических структур, каждая из которых реализует вполне определенный способ формообразующей обработки. Рассмотрим последовательность этапов функционального проектирования на примерах разработки частных структурных схем станков токарной технологической

группы и объединим их в обобщенную кинематико-компоновочную схему универсального токарно-винторезного станка.

На *первом этапе* анализируем способы формообразующей обработки, подлежащие реализации в частных кинематических структурах станка. При этом в первую очередь устанавливаем формообразующие движения, а затем движения деления, врезания и вспомогательных перемещений.

На рисунке 1, *а* показана схема пионерного способа нарезания резьбы фасонным резцом. Характеристический образ фасонного резца $\{E\}_1$ [2]. По этой схеме заготовке 1, определенной образом ориентированной в пространстве, сообщают вращательное движение B_1 , а резцу 2, профиль которого соответствует профилю нарезаемой резьбы, – поступательное движение P_2 , согласованное с движением B_1 заготовки. Класс образования резьбы (винтовой поверхности) «копирование + след» [2]. Причем сложное исполнительное движение $\Phi_v(B_1P_2)$, состоящее из двух согласованных между собой элементарных движений (вращательного B_1 и поступательного P_2), воспроизводит направляющую (винтовую линию) обрабатываемой поверхности. Следовательно, частная винторезная структура станка должна содержать только одну сложную формообразующую кинематическую группу $\Phi_v(B_1P_2)$.

На рисунке 1, *б* приведена схема пионерного способа механической обработки цилиндрической поверхности острозаточенным резцом. Характеристический образ острозаточенного резца $\{1\}_1$. По этой схеме заготовке 1, ориентированной в пространстве так же, как в предыдущей схеме, сообщают вращательное движение B_1 , а резцу 2 – поступательное движение P_2 . Класс образования поверхности «двойной след» [2]. При этом элементарное движение $\Phi_v(B_1)$ воспроизводит образующую геометрической поверхности (окружность), а элементарное движение $\Phi_s(P_2)$ – направляющую (прямую линию, параллельную оси заготовки). Следовательно, частная токарная структура станка должна содержать две простые формообразующие группы: $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_s(P_2)$.



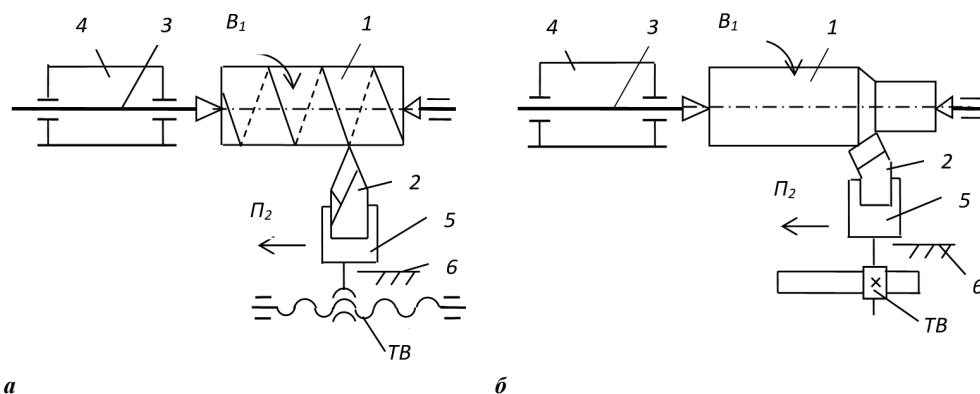
а – нарезание резьбы; *б* – точение цилиндрической поверхности

Рисунок 1. – Схемы способов формообразующей обработки

Для обоих рассматриваемых способов формообразующей обработки характерно одинаковое относительное положение траекторий движений B_1 и P_2 . Одинаково также абсолютное геометрическое положение взаимодействующих объектов – заготовки и инструмента – в горизонтальной плоскости. На этом основании устанавливаем технологическую компоновку обеих проектируемых частных кинематических структур, или расположение исполнительных органов (подвижных блоков). Такими органами являются блок шпинделя (передняя бабка), несущий заготовку, и инструментальный блок (суппорт), несущий резец.

На *втором этапе* осуществляем графическое оформление (рисунок 2) исполнительных органов (подвижных блоков).

Для проектируемых структурных схем исполнительные органы, несущие заготовку 1 и резец 2, конструктивно одинаковы и, следовательно, взаимозаменяемы. Исполнительный орган, несущий заготовку 1, представляет собой шпиндель 3, смонтированный с возможностью вращения B_1 в стационарном блоке 4, называемом передней бабкой. Исполнительный орган, несущий резец 2, – это подвижный блок 5, называемый продольным суппортом (кадеткой), смонтированным с возможностью поступательного перемещения по направляющим 6 параллельно линии центров станка. Поступательное перемещение суппорта обеспечивается посредством тягового вала (ТВ). По сложившейся традиции в токарно-винторезных станках с механическими связями в частной кинематической структуре для нарезания резьбы (рисунок 2, *а*) в качестве ТВ используют передачу винт–гайка. А в частной кинематической структуре для точения цилиндрической поверхности (рисунок 2, *б*) в качестве ТВ – передачу зубчатое колесо–рейка. В современных токарно-винторезных станках с ЧПУ в обеих названных структурах используют общую передачу винт–гайка с телами качения.



а – для нарезания резьбы; **б** – для точения цилиндрической поверхности

Рисунок 2. – Исполнительные органы структурных схем

На *третьем этапе* решаем вопрос о количестве источников механической энергии, выполняем графическое оформление связей между источниками механической энергии и исполнительными органами, устанавливаем органы настройки параметров исполнительных движений.

Для создания траектории сложного исполнительного движения $\Phi_v(B_1\Pi_2)$, воспроизводящего на заготовке 1 направляющую – винтовую линию нарезаемой резьбы (рисунок 3), соединяем шпиндель 3, смонтированный в подшипниках передней бабки 4, с ТВ каретки 5, несущей резец 2, посредством внутренней кинематической связи в виде штриховой линии 6–7. Эта связь, состоящая из последовательно соединенных передач, накладывает ограничение на шпиндель 3 и каретку 5, не позволяющие им занимать произвольные положения относительно друг друга и иметь произвольные скорости. Данная связь (структурная или кинематическая цепь) создает потенциальную возможность винтового движения $\Phi_v(B_1\Pi_2)$. Для реализации этой возможности соединяем произвольное промежуточное звено 9 внутренней связи 6–7 с электродвигателем M (внешняя кинематическая связь 8–9).

При включении электродвигателя энергия движения по внешней связи 8–9 будет сообщаться через звено 9 во внутреннюю связь 6–7. Это вызовет вращение B_1 шпинделя, несущего заготовку, и продольное перемещение Π_2 каретки, несущей резец. В итоге характеристический образ резца будет совершать относительно заготовки винтовое движение $\Phi_v(B_1\Pi_2)$. При этом соотношение элементарных движений B_1 и Π_2 зависит только от произведения передаточных отношений передач, образующих внутреннюю связь 6–7. Таким образом, внутренняя связь сложной винторезной кинематической группы при функционировании имитирует передачу винт–гайка. Скорость этой имитации (темп воспроизведения направляющей винтовой поверхности) зависит только от скорости звена соединения связей 9, являющегося конечным звеном внешней связи. Это правило характерно для любой формообразующей группы.

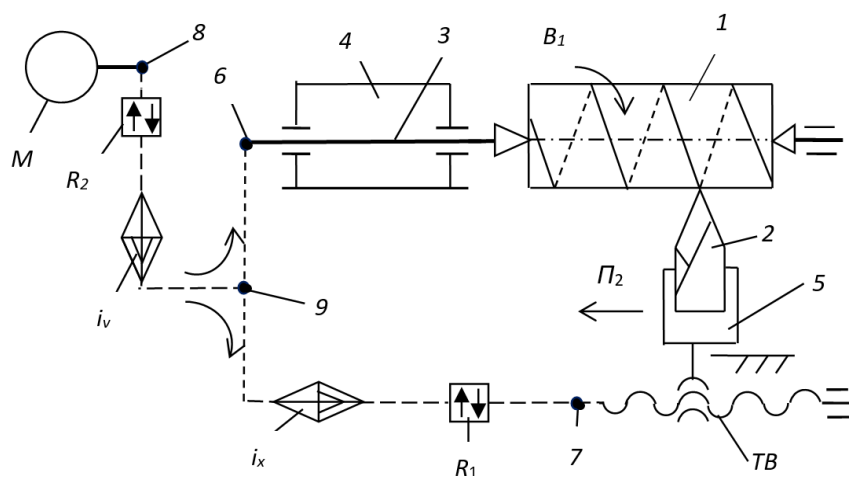


Рисунок 3. – Частная структурная схема станка для нарезания резьбы

Сложное винтовое движение $\Phi_v(B_1\Pi_2)$ имеет незамкнутую траекторию. Следовательно, оно должно настраиваться по всем пяти параметрам [1]. Для этого во внутреннюю связь установим два органа настройки i_x и R_1 . Посредством первого из них настраивают шаг нарезаемой резьбы, а посредством вто-

рого – возможность нарезания левой или правой резьбы. Во внешней связи установим орган настройки на скорость i_v , воспроизведения направляющей и технологический реверс R_2 , предназначенный для реверсирования движения формообразования при многопроходной обработке в исходное положение или при задании направления нарезания резьбы к передней бабке или от нее.

Расположение звена соединения связей 9 имеет принципиальное значение и зависит от расчетной цепи для органа настройки i_v . Элементарные движения B_1 и P_2 , образующие сложное винтовое движение $\Phi_v(B_1P_2)$, всегда одновременны и одинаковы по продолжительности. Это позволяет оценивать скорость сложного исполнительного движения через скорость одного из входящих в него элементарных движений. По сложившейся традиции в теории резания это движение исполнительного органа, имеющего большую скорость и потребляющего большую мощность. В рассматриваемой структурной схеме это шпиндель 3. Следовательно, звено соединения связей 9 целесообразно располагать между шпинделем 3 и органом настройки на траекторию i_x .

Органы настройки исполнительного движения на путь и исходную точку, как правило, на схемах не показывают. Регулирование этих параметров на станках с ручным управлением обычно осуществляют вручную по лимбам (упорам); на станках-автоматах с механическими связями – жесткими программносителями (кулачками); на станках, оснащенных системами ЧПУ, – программно, например, непосредственно на дисплее устройства ЧПУ.

Описание связей структурной схемы винторезного станка, состоящего из одной сложной формообразующей группы, приведено на вербальном языке. При системном анализе кинематической структуры следует отдать предпочтение языку символов, т.к. это обеспечивает большую наглядность и компактность описания. Приведем описание рассмотренной кинематической структуры станка на языке символов, используемом в научной литературе по станковедению и в учебной литературе для вузов:

внутренняя связь

$$B_1 \leftarrow 3 \leftarrow 6 \leftarrow 9 \rightarrow i_x \rightarrow R_1 \rightarrow 7 \rightarrow TB \rightarrow 5 \rightarrow P_2;$$

внешняя связь

$$M \rightarrow 8 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 9.$$

Разнонаправленные стрелки в описании внутренней связи показывают направление разветвления энергии движения после звена соединения связей 9 по обеим ветвям внутренней связи.

На четвертом этапе выведем на основе принципа возможных перемещений формулы настройки (ФН) для органов настройки i_x и i_v .

Орган настройки i_x . Внутренняя связь кинематической группы $\Phi_v(B_1P_2)$ содержит один орган настройки. Поэтому расчетная цепь для этого органа настройки совпадает с внутренней связью. Следовательно, расчетные перемещения (РП) для органа настройки i_x имеют вид:

$$1 \text{ оборот заготовки } (B_1) \rightarrow P \text{ мм перемещения инструмента } (P_2),$$

где P – шаг нарезаемой резьбы.

Тогда уравнение кинематической цепи (УКЦ)

$$P = 1 \cdot i_x \cdot i_{01} \cdot P_{TB},$$

где i_{01} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

P_{TB} – шаг (кинематическая характеристика) тягового вала.

Откуда ФН

$$i_x = P/c_1,$$

где $c_1 = i_{01} \cdot P_{TB}$ – константа.

Орган настройки i_v . Расчетная цепь связывает электродвигатель M со шпинделем 3 станка. Следовательно, РП для органа настройки i_v имеют следующий вид:

$$n_M \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{ш} \text{ мин}^{-1} (B_1).$$

Тогда УКЦ

$$n_{ш} = n_M \cdot i_v \cdot i_{02},$$

где i_{02} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

Откуда ФН

$$i_v = n_{ш}/c_2,$$

где $c_2 = n_M \cdot i_{02}$ – константа.

Выше при анализе способов обработки было показано, что частная токарная структура станка для обработки цилиндрической поверхности должна содержать две простые формообразующие группы: $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_s(\Pi_2)$.

Спроектируем (*третий этап*) (рисунок 4) на основе исполнительных органов (см. рисунок 2, б) обе формообразующие группы и объединим их в частную структурную схему токарного станка с общим электродвигателем. Обычно внутренняя связь простой кинематической группы – это вращательная или поступательная кинематическая пара. В этом случае траектория исполнительного движения (окружность или прямая линия) обеспечивается конструкцией исполнительного органа.

Группа $\Phi_v(B_1)$ воспроизводит образующую (окружность) цилиндрической поверхности. Ее внутренняя связь – вращательная кинематическая пара:

корпус передней бабки 4 → шпиндель 3, несущий заготовку 1 (B_1).

Эта связь создает потенциальную возможность движения $\Phi_v(B_1)$ и обеспечивает его качественную характеристику, т.е. траекторию. Соединим вращающееся звено внутренней связи (шпиндель 3) посредством внешней связи с электродвигателем M . Вращательное движение B_1 имеет замкнутую траекторию и настраивается по двум параметрам: на скорость воспроизведения образующей и направление. Поэтому установим во внешней связи соответствующие органы настройки i_v и R_1 . В итоге внешняя связь группы $\Phi_v(B_1)$ будет иметь вид:

$M \rightarrow 5 \rightarrow R_1 \rightarrow i_v \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow \text{шпиндель 3 } (B_1)$.

Группа $\Phi_s(\Pi_2)$ воспроизводит направляющую (прямую линию) цилиндрической поверхности. Внутренняя связь этой группы – поступательная кинематическая пара:

направляющие 8 станины станка → каретка 9, несущая резец 2 (Π_2).

Эта связь создает потенциальную возможность движения $\Phi_s(\Pi_2)$ и обеспечивает его качественную характеристику, т.е. траекторию.

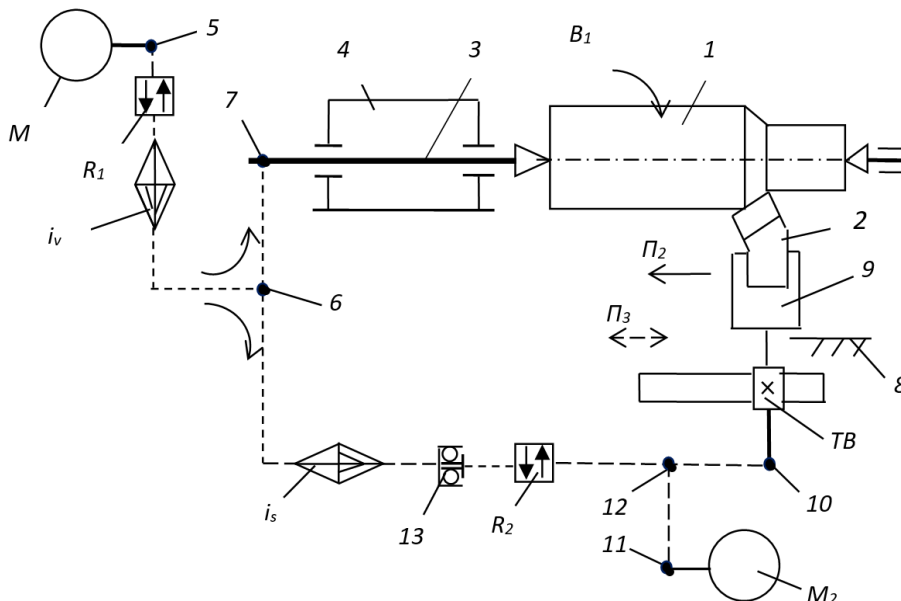


Рисунок 4. – Частная структурная схема станка для обработки цилиндрической поверхности

Соединим TB (зубчато-реечная передача), преобразующий вращательное движение ведущего звена (реечное колесо) в поступательное движение каретки 9, посредством внешней связи 5–6–10 с электродвигателем M . Поступательное движение Π_2 каретки имеет незамкнутую траекторию и должно настраиваться по четырем параметрам. Поэтому установим в этой связи орган настройки i_s на скорость воспроизведения направляющей и орган настройки R_2 на направление движения. Настройку на путь и исходную точку (исходное положение) осуществляют, как и в винторезной структуре, по упорам.

Таким образом, внешняя связь группы $\Phi_s(\Pi_2)$

$M \rightarrow 5 \rightarrow R_1 \rightarrow i_v \rightarrow 6 \rightarrow i_s \rightarrow R_2 \rightarrow TB \rightarrow \text{каретка 9 } (\Pi_2)$.

В частной структуре токарного станка обе формообразующие группы соединены через общий электродвигатель и межгрупповую связь (общую часть внешних связей 5–6 обеих групп). В токарных станках с общим электродвигателем по традиции, сложившейся задолго до создания теории кинематической структуры, принято скорость подачи задавать относительно одного оборота шпинделя. По существу, скорость воспроизведения направляющей (прямой, параллельной оси, воспроизводимой поверхности) задается относительно абсолютной скорости воспроизведения образующей (окружности). В этом случае проявляется противоречие между понятием функции кинематической структуры станка и его настройкой. В токарных станках с ЧПУ, оснащаемых отдельным приводом групп скорости резания и подачи, такого противоречия нет. При проектировании в этих станках скорость подачи воспроизведения направляющей задается абсолютным значением.

Выведем (*четвертый этап*) ФН для органов настройки i_v и i_s .

Орган настройки i_v . Расчетная цепь совпадает с внешней связью. Следовательно, РП для этого органа настройки имеют вид:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{uv} \text{ мин}^{-1} (B_1).$$

Тогда УКЦ

$$n_{uv} = n_{M1} \cdot i_v \cdot i_{03},$$

где i_{03} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

Откуда ФН

$$i_v = n_{uv} / c_3,$$

где $c_3 = n_{M1} \cdot i_{03}$ – константа.

Орган настройки i_s . Расчетная цепь связывает шпиндель 3 с кареткой 5. Следовательно, РП для органа настройки i_s имеют вид:

$$1 \text{ оборот шпинделя } 3 \rightarrow s \text{ мм перемещения каретки } 5 (P_2).$$

Тогда УКЦ

$$s = 1 \cdot i_s \cdot i_{04} \cdot [P_{TB} = \pi \cdot m \cdot z],$$

где P_{TB} – шаг тягового вала;

m и z – модуль и число зубьев колеса зубчато-реечной передачи, выполняющей функцию TB ;

i_{04} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

Откуда ФН

$$i_s = s / c_4,$$

где $c_4 = i_{04} \cdot \pi \cdot m \cdot z$ – константа.

В кинематической структуре современных токарных станков для ускоренного перемещения (позиционирования) каретки используется ненастраиваемая вспомогательная группа с приводом от отдельного электродвигателя. Встроим такую группу в проектируемую структурную схему. Для этого электродвигатель M_2 соединим с TB и во внешнюю связь группы $\Phi_s(P_2)$ между органом настройки i_s и реверсом R_2 установим обгонную муфту 13. При этих условиях внутренняя связь вспомогательной группы $Vc(P_3)$ будет совпадать с внутренней связью группы подачи. Внешняя связь вспомогательной группы примет следующий вид:

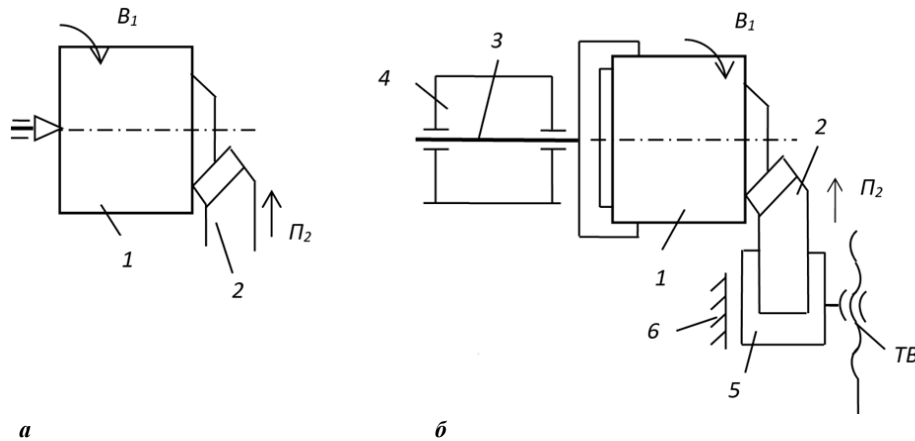
$$M_2 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow TB \rightarrow \text{каретка } 9 (P_3).$$

Таким образом, группа $Vc(P_3)$ соединена с группой $\Phi_s(P_2)$ посредством общего исполнительного органа – каретки 9. Вспомогательная группа настраивается только на направление. В современных станках управление вспомогательной группой осуществляется мнемонической рукояткой, совмещающей управление реверсом R_2 , имеющим нейтральное положение, и включением электродвигателя M_2 .

На рисунке 5, а приведена схема способа обработки, используемая для проточки торцов деталей типа фланцев, при проточке канавок, снятии фасок и отрезке. По этому способу (*первый этап*) заготовке 1, ориентированной в пространстве так же, как при нарезании резьбы и при продольном точении, сообщают вращательное движение B_1 , а резцу 2 – поступательное движение P_2 , перпендикулярно оси заготовки. Характеристический образ инструмента $\{I\}_1$. Класс образования поверхности «двойной след». При этом элементарное движение $\Phi_v(B_1)$ воспроизводит образующую геометрической поверхности (окружность), а элементарное движение $\Phi_s(P_2)$ – направляющую (прямую линию, перпендикулярную оси заготовки). Следовательно, частная токарная структура станка должна содержать две простые формообразующие группы: $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_s(P_2)$.

Для разрабатываемой структурной схемы (*второй этап*) исполнительный орган, несущий заготовку 1, представляет собой шпиндель 3, смонтированный с возможностью вращения B_1 в стационарном

блоке 4, называемом передней бабкой (рисунок 5, б), т.е. заменяем с подобным блоком в рассмотренных выше схемах – винторезной и для продольного точения. Исполнительный орган, несущий резец 2, – это подвижный блок 5, называемый поперечным суппортом, смонтированным с возможностью поступательного перемещения Π_2 по направляющим продольного суппорта (каретки) 6 перпендикулярно линии центров станка. Поступательное перемещение Π_2 поперечного суппорта обеспечивается посредством тягового вала TB (передача винт-гайка).



а – схема способа обработки; б – исполнительные органы структурной схемы

Рисунок 5. – Механическая обработка торцевой поверхности

Спроектируем (*третий этап*) на основе приведенных исполнительных органов формообразующие группы $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_s(\Pi_2)$ и объединим их в структурную схему токарного станка для поперечного точения (рисунок 6).

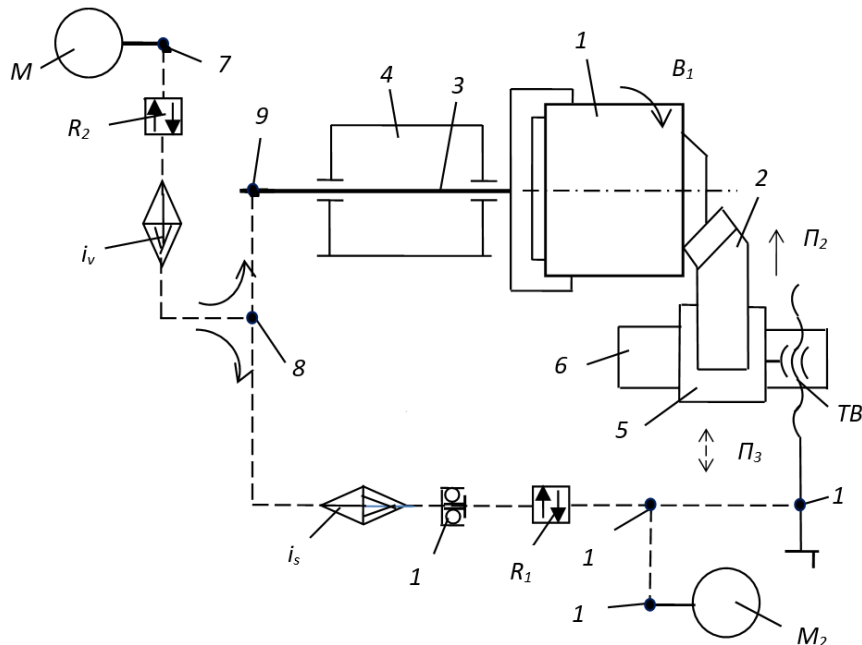


Рисунок 6. – Частная структурная схема станка для обработки торцевой поверхности

Кинематическая структура группы $\Phi_v(B_1)$ совпадает с кинематической структурой такой же группы станка для продольного точения. Следовательно, внутренняя связь группы

корпус передней бабки 4 → шпиндель 3 (B_1).

Внешняя связь имеет вид:

$$M \rightarrow 7 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow \text{шпиндель } 3 (B_1).$$

Вращательное движение B_1 имеет замкнутую траекторию и настраивается по двум параметрам – на скорость и направление соответственно органами настройки i_v и R_2 .

Внутренняя связь группы $\Phi_s(P_2)$ – поступательная кинематическая пара:

$$\text{направляющие продольного суппорта } 6 \rightarrow \text{поперечный суппорт } 5 (P_2).$$

Соединим TB , преобразующий вращательное движение ведущего звена (винта) в поступательное движение поперечного суппорта 5, с электродвигателем M посредством внешней связи 7–8–10. Поступательное движение P_2 поперечного суппорта 5 имеет незамкнутую траекторию и должно настраиваться по четырем параметрам. Поэтому введем во внешнюю связь орган настройки на скорость i_s и орган настройки на направление R_1 . Настройка на путь и исходную точку (исходное положение) осуществляется так же, как и в структуре для продольного течения, по упорам.

Таким образом, внешняя связь группы $\Phi_s(P_2)$ будет иметь вид:

$$M \rightarrow 7 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 8 \rightarrow i_s \rightarrow R_1 \rightarrow 10 \rightarrow TB \rightarrow \text{поперечный суппорт } 5 (P_2).$$

В структуре станка обе формообразующие группы соединены через общий электродвигатель M . При этом межгрупповая связь обеспечивается общим участком 7–8, входящим во внешние связи обеих формообразующих групп.

Выведем (*четвертый этап*) ФН для органов настройки i_v и i_s .

Орган настройки i_v . Расчетная цепь совпадает с внешней связью. Следовательно, РП для этого органа настройки имеют вид:

$$n_M \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{ш} \text{ мин}^{-1} (B_1).$$

Тогда УКЦ

$$n_{ш} = n_M \cdot i_v \cdot i_{05},$$

где i_{05} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

Откуда ФН

$$i_v = n_{ш} / c_5,$$

где $c_5 = n_M \cdot i_{05}$ – константа.

Орган настройки i_s . Расчетная цепь связывает шпиндель 3 с поперечным суппортом 5. Следовательно, РП для органа настройки i_s имеют вид:

$$1 \text{ оборот шпинделя } 3 \rightarrow s \text{ мм перемещения поперечного суппорта } 5 (P_2).$$

Тогда УКЦ

$$s = 1 \cdot i_s \cdot i_{06} \cdot P_{TB},$$

где P_{TB} – шаг тягового вала;

m и z – модуль и число зубьев колеса зубчато-реечной передачи, выполняющей функцию TB ;

i_{06} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

Откуда ФН

$$i_s = s / c_6,$$

где $c_6 = i_{06} \cdot P_{TB}$ – константа.

Встроим в разрабатываемую структурную схему вспомогательную группу $Bc(P_3)$ с приводом от отдельного электродвигателя. Для этого электродвигатель M_2 соединим с TB и во внешнюю связь группы поперечной подачи $\Phi_s(P_2)$ между органом настройки i_s и реверсом R_1 установим обгонную муфту 13. При этих условиях внутренняя связь вспомогательной группы будет совпадать с внутренней связью группы поперечной подачи. Внешняя связь вспомогательной группы будет иметь вид:

$$M_2 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 10 \rightarrow TB \rightarrow \text{поперечный суппорт } 5 (P_3).$$

Таким образом, группа $Bc(P_3)$ соединена с группой $\Phi_s(P_2)$ посредством общего исполнительного органа – поперечного суппорта 5. Вспомогательная группа настраивается только на направление. В современных станках управление вспомогательной группой осуществляется мнемонической рукояткой, совмещающей управление реверсом R_1 , имеющим нейтральное положение, и включение–выключение электродвигателя M_2 .

Пятый этап. Объединим частные структурные схемы в обобщенную структурную схему токарно-винторезного станка вполне определенного уровня универсальности. На этом этапе с целью уменьшения «длины» кинематических связей необходимо максимально использовать межгрупповые связи, рационально размещать органы настройки и переключающие механизмы.

Сравнение кинематической структуры станка для продольного точения с кинематической структурой станка для поперечного точения показывает, что они имеют одинаковую структуру группы $\Phi_v(B_1)$, а их группа $\Phi_s(\Pi_2)$ отличается только исполнительными органами, несущими инструмент, и тяговыми валами. Следовательно, при объединении сравниваемых частных структурных схем в общую структуру станка группа $\Phi_v(B_1)$ будет общей для обеих частных схем. Будет общим также участок структурной связи, включающий орган настройки i_s , и реверс R_1 . С учетом этого на рисунке 7 представлена кинематико-компоновочная структурная схема токарно-винторезного станка, объединяющая разработанные на основе функционального проектирования частные структурные схемы: для нарезания резьбы, продольного и поперечного точения.

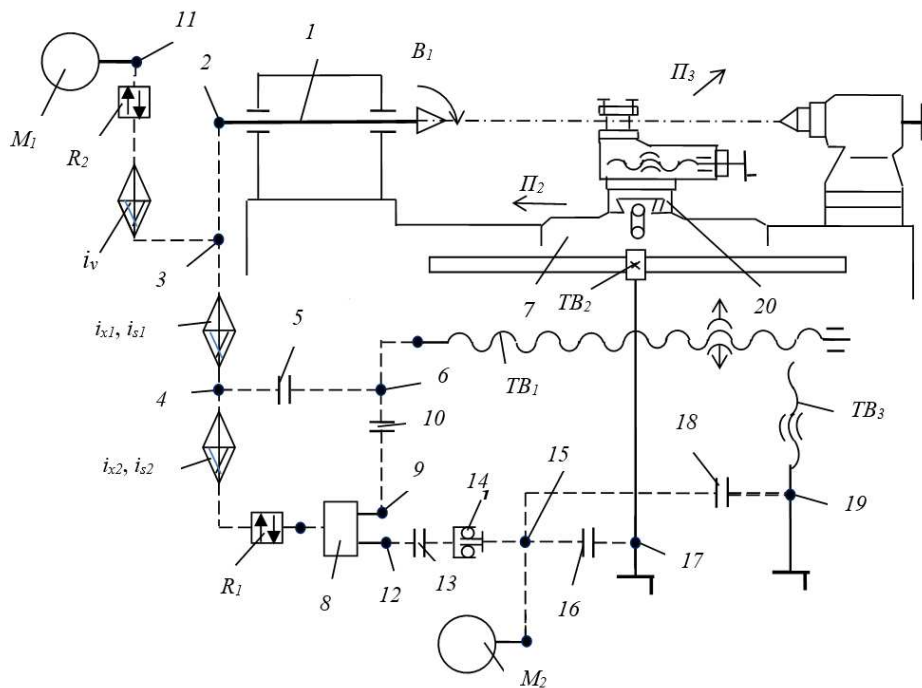


Рисунок 7. – Кинематико-компоновочная структурная схема универсального токарно-винторезного станка

При объединении частных структурных схем учтен также современный уровень развития кинематической структуры универсальных токарно-винторезных станков с механическими связями. В частности, органы настройки i_x и i_s объединены в общий орган настройки (i_x ; i_s). Этот орган настройки разделен на два: (i_{x1} , i_{s1}) и (i_{x2} , i_{s2}), расположенных последовательно. Первый орган настройки – это четырехколесная гитара сменных зубчатых колес, используемая для установки метрического (дюймового) или модульного (питчевого) исчисления и для настройки шага резьбы (параметр настройки «траектория») при нарезании точной и нестандартной резьбы. Второй – это развитая коробка скоростей, используемая для настройки на стандартные шаги нарезаемой резьбы (параметр настройки «траектория») и на подачу (параметр настройки «скорость») при продольном и поперечном точении. При этом коммутация кинематических связей обеспечивается сцепными муфтами. В итоге обобщенная структурная схема токарно-винторезного станка включает две частных винторезных структурных схемы: структурную схему для продольного точения и структурную схему для поперечного точения.

Первая винторезная структурная схема, состоящая из одной формообразующей группы $\Phi_{v1}(B_1\Pi_2)$, предназначена для нарезания точной и нестандартной резьбы. Ее внутренняя связь

$$B_1 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow i_{x1} \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow TB_1 \rightarrow \text{каретка } 7 \rightarrow \Pi_2;$$

внешняя связь

$$M_1 \rightarrow 11 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 3.$$

Группа настраивается: на траекторию – органом настройки i_{x1} ; на направление реверсом, совмещенным с органом настройки на траекторию; на скорость – органом настройки i_v ; на путь и исходную точку – по упорам.

Вторая винторезная структурная схема, также состоящая из одной формообразующей группы $\Phi_v(B_1P_2)$, предназначена для нарезания стандартной резьбы. Ее внутренняя связь

$$B_1 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow i_{x1} \rightarrow i_{x2} \rightarrow R_1 \rightarrow \text{переключающий механизм } 8 \rightarrow 9 \rightarrow \\ \rightarrow 10 \rightarrow 6 \rightarrow TB \rightarrow \text{каретка } 7 \rightarrow P_2;$$

внешняя связь

$$M_1 \rightarrow 11 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 3.$$

Группа настраивается: на траекторию – органом настройки i_{x2} ; на направление – реверсом R_1 ; на скорость – органом настройки i_v ; на путь и исходную точку – по упорам.

Частная структурная схема для продольного точения состоит из группы скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и группы продольной подачи $\Phi_s(P_2)$.

Внутренняя связь группы скорости резания $\Phi_v(B_1)$ имеет вид:

$$\text{подшипниковые опоры передней бабки} \rightarrow \text{шпиндель } 1;$$

внешняя связь этой группы

$$M_1 \rightarrow 11 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 (B_1).$$

Группа настраивается на скорость резания органом настройки i_v , на направление – реверсом R_2 .

Внутренняя связь группы продольной подачи $\Phi_s(P_2)$ имеет вид:

$$\text{направляющие станины} \rightarrow \text{каретка } 7;$$

внешняя связь этой группы

$$M_1 \rightarrow 11 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow i_{s1} \rightarrow 4 \rightarrow i_{s2} \rightarrow R_1 \rightarrow 8 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow \\ \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow TB_2 \rightarrow \text{каретка } 7 (P_2).$$

Группа настраивается: на подачу – органом настройки i_{s2} ; на направление – реверсом R_1 ; на путь и исходную точку – по упорам. При этом орган настройки i_{s1} рассматривается как механизм с постоянным передаточным отношением.

Частная структурная схема станка для поперечного точения включает общую для структурных схем продольного и поперечного точения группу скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и группу поперечной подачи $\Phi_s(P_3)$.

Внутренняя связь группы поперечной подачи $\Phi_s(P_3)$ имеет вид:

$$\text{направляющие каретки } 7 \rightarrow \text{поперечный суппорт } 20;$$

внешняя связь группы

$$M_1 \rightarrow 11 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow i_{s1} \rightarrow 4 \rightarrow i_{s2} \rightarrow R_1 \rightarrow 8 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow \\ \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow 18 \rightarrow 19 \rightarrow TB_3 \rightarrow \text{поперечный суппорт } 20 (P_3).$$

Группа настраивается теми же органами настройки, что и группа продольной подачи, рассмотренная выше.

Обобщенная структурная схема станка содержит также две вспомогательные группы – $BC_1(P_2)$ и $BC_2(P_3)$ – для ускоренных перемещений (позиционирования) соответственно каретки 7 и поперечного суппорта 20.

Внутренняя связь формообразующей группы $\Phi_s(P_2)$ является также внутренней связью группы $BC_1(P_2)$. Внешняя связь вспомогательной группы $BC_1(P_2)$ имеет вид:

$$M_2 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow TB_2 \rightarrow \text{каретка } 7.$$

Аналогично внутренняя связь формообразующей группы $\Phi_s(P_3)$ является также внутренней связью группы $BC_2(P_3)$. Внешняя связь вспомогательной группы $BC_2(P_3)$ имеет вид:

$$M_2 \rightarrow 15 \rightarrow 18 \rightarrow 19 \rightarrow TB_3 \rightarrow \text{поперечный суппорт } 20.$$

Привод обеих вспомогательных групп осуществляется от общего электродвигателя M_2 . Часть внешних связей этих групп одновременно является частью соответствующих групп подач. В современ-

ных токарно-винторезных станках включение–выключение формообразующих групп подач и вспомогательных групп ускоренных перемещений осуществляется общей мнемонической рукояткой, переключающей двухсторонние сцепные муфты 16 и 18, имеющие нейтральное положение. Данные муфты являются элементами реверсивных механизмов. Электрическая кнопка, встраиваемая в мнемоническую рукоятку, используется для включения/выключения электродвигателя M_2 ускоренных перемещений исполнительных органов – каретки 7 и поперечного суппорта 20.

Заключение. С позиций современной университетской парадигмы познания металлорежущих станков рассмотрено использование функционального проектирования в методике разработки кинематико-компоновочных структурных схем универсальных металлорежущих станков. При этом функциональное проектирование частных структурных схем, входящих в структурную схему универсального металлорежущего станка, осуществляется по закону функционирования, задаваемому соответствующими способами формообразующей обработки. Рассмотренное использование функционального проектирования пересекается с научно-технической экспертизой изобретений, что позволяет проследить путь создания, или «изобретения», кинематической или кинематико-компоновочной структурной схемы металлорежущего станка, при определенных условиях защищаемого патентом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голембиевский, А. Эволюция парадигмы познания металлорежущих станков / А. Голембиевский. – Academic Publishing Lap Lambert, 2019. – 149 с.
2. Голембиевский, А.И. Системология способов формообразующей обработки в машиностроении / А.И. Голембиевский. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2017. – 236 с.
3. Федотенок, А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А.А. Федотенок. – Изд. второе. – М. : Машиностроение, 1970. – 407 с.
4. Металлорежущие станки : учебник : в 2 т. / Т.М. Аврамова [и др.] ; под ред. В.В. Бушуева. – М. : Машиностроение, 2012. – Т. 1. – 608 с.
5. Голембиевский, А.И. Функциональное проектирование в методике познания дисциплины металлорежущие станки / А.И. Голембиевский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Прикладные науки. – 2018. – № 11. – С. 2–9.
6. Голембиевский, А.И. О выполнении чертежей к описаниям изобретений, объектом которых являются металлорежущие станки / А.И. Голембиевский // Вопросы изобретательства. – 1980. – № 7. – С. 5–6.

Поступила 20.12.2019

FUNCTIONAL DESIGN KINEMATIC AND LAYOUT DIAGRAMS OF UNIVERSAL METAL CUTTING MACHINES

A. GOLEMBIEVSKI

The use of functional design in the methodology of developing kinematic-layout schemes of universal metal-cutting machines is proposed. Functional design as a synthesis of particular kinematic structures of metal-cutting machines according to the law of operation, specified by the appropriate method of forming processing. Kinematic-layout scheme of a universal machine as an association of private structural schemes. This design is based on the modern university paradigm of knowledge of machine tool equipment, based on the theory of the formation of real surfaces, the theory of the kinematic structure and the theory of tuning metal cutting machines.

Keywords: *functional design, design stages, methods of shaping processing, development of particular structural diagrams of machine tools, generalized kinematic structure of a universal metal-cutting machine.*