

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.9.06 + 372.8

ЭВОЛЮЦИЯ ПОЗНАНИЯ И МЕТОДИКИ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

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

Рассматривается эволюция познания и методика преподавания инженерной дисциплины «Металлорежущие станки в высшей школе». Металлорежущий станок представлен как совокупность различных механизмов, кинематически связывающих двигатель с исполнительными органами. Анализируется единая теория настройки металлорежущих станков, основанная на принципе возможных перемещений, показана ее корректность для объяснения функции станка. Исследуется кинематическая структура металлорежущего станка как объединение частных кинематических структур, каждая из которых реализует определенный способ механической обработки, а частная кинематическая структура – как техническая система, наделенная вполне определенной структурой в виде объединения кинематических групп и функций. Даны понятие о классах воспроизведения реальных поверхностей при механической обработке, понятие на основе закона разветвления энергии в кинематических цепях о кинематической формообразующей группе и ее функции.

Ключевые слова: металлорежущий станок, парадигма, настройка, кинематическая структура, механическая обработка.

Введение. В мировой практике впервые в 1923 году в США Генри Д. Бергард опубликовал 2-х томную учебную книгу по металлорежущим станкам. В 1930 году шестое и седьмое издание этого двухтомника было переведено на русский язык, переработано и дополнено инженером Н. С. Ачерканом и издано в Советском Союзе [1]. По существу, эта книга длительное время была основным учебником при подготовке специалистов в области обработки металлов резанием. В этом учебнике металлорежущие станки рассматривались как совокупности различных механизмов, кинематически связывающих источник механической энергии (например, электродвигатель) с исполнительными органами (шпинделями, каретками, суппортами, столами, ползунами).

Интенсивное развитие станкостроения, увеличение многообразия технологических групп станков со сложными кинематическими связями, повышение требований к точности и производительности станков предопределило объективную необходимость развития ряда научных направлений в станковедении. В итоге в первой половине XX столетия получило развитие научное направление, называемое кинематикой металлорежущих станков. Ее основоположник, профессор Московского высшего технического училища Г. М. Головин, используя принцип возможных перемещений, известный в теоретической механике как принцип Даламбера, разработал единую теорию настройки металлорежущих станков и на ее основе ввел в практику учебного процесса курсы кинематики металлорежущих станков [2], что, по сути, постепенно разделило дисциплину «Металлорежущие станки» на две логически связанные, последовательно изучаемые дисциплины: «Металлорежущие станки» (альтернативные названия «Станочное оборудование», «Технологическое оборудование») и «Расчет и конструирования металлорежущих станков». Целевая направленность первой дисциплины – изучение кинематической структуры станочного оборудования, вывод формул настройки для механических органов настройки этого оборудования (гитар сменных зубчатых колес, сменных шкивов и т.д.), расположенных в расчетных цепях, и специфических механизмов, используемых в станочном оборудовании на различных этапах развития станкостроения. Целевая направленность второй дисциплины – теория и практика проектирования станочного оборудования.

Теория настройки станков рассматривает кинематическую структуру станка как совокупность составляющих ее кинематических, в том числе расчетных, цепей, связывающих исполнительные органы станка между собой и с источником механической энергии. Наряду с выводом формул настройки эта теория длительное время использовалась для объяснения физической сущности работы металлорежущих станков при изучении их как в вузах, так и в средних специальных учебных заведениях и профессионально-технических училищах. Определенные сомнения в корректности такого использования теории настройки высказывал ее автор, описывая работу станка для точения резьбы (червяка) чашечным резцом типа долбяка: «Достоинством внимания здесь оказывается и то обстоятельство, что при выполнении резьбовых работ шаг (nt) изготавливаемой резьбы оказывается получающимся независимо от подачи (s), при которой производится обработка. Это парадоксальное явление может быть объяснено тем обстоятельством, что возникающий

при этом процесс распадается на составляющие его части, одной из которых является копирование инструментом и заготовкой в каждый отдельный момент, независимо от участия в процессе движения подачи, работы червячной передачи, а второй – процесс резания, обеспечиваемый подачей независимо от того, участвует ли инструмент и заготовка в копировании работы червячной передачи или же – нет» [2].

Данное парадоксальное явление, по существу, является противоречием между кинематической структурой технической системы (металлорежущего станка), рассматриваемой на основе принципа возможных перемещений, и функцией (принципом работы) этой системы, основанной на ином законе теоретической механики. Это противоречие разрешил профессор Московского станкоинструментального института А.А. Федотенок, разработав на основе закона разветвления энергии движения в механических цепях современную теорию кинематической структуры металлорежущих станков [3]. Согласно данной теории, кинематика станка – это объединение кинематических групп, каждая из которых воспроизводит конкретное элементарное (вращательное или поступательное) или сложное, состоящее из элементарных, исполнительное рабочее или вспомогательное движение, характеризующееся вполне определенными настраиваемыми параметрами. При этом теория настройки станков кумулятивно, т.е. без изменений, вошла в теорию кинематической структуры как ее составная часть.

Методология создания теории кинематической структуры металлорежущих станков. Эта методология включает две логически связанные части: основы теории формообразования реальных поверхностей и понятие о кинематической структуре и функции металлорежущего станка.

Основы теории формообразования реальных поверхностей. Форма любой детали есть замкнутое пространство, ограниченное реальными геометрическими поверхностями, которые образованы в результате обработки тем или иным способом, например, резанием, штамповкой, литьем и т.д. Исходя из этого, автор теории кинематической структуры металлорежущих станков показал, что теоретически процесс формирования реальных поверхностей на станках аналогичен процессу образования идеальных поверхностей в проективной геометрии, т.е. базируется на идеальных геометрических представлениях.

Любая геометрическая поверхность (по Монжу) – это след движения одной производящей линии, называемой образующей, по другой производящей линии, называемой направляющей. Производящие линии на металлорежущих станках образуются посредством вспомогательных элементов в виде материальной точки или линии, материализованной на режущей кромке инструмента, за счет согласованных относительных движений заготовки и инструмента. Одни инструменты (например, токарный резец) имеют один вспомогательный элемент, другие (в частности, червячная фреза) – несколько последовательно расположенных вспомогательных элементов. По существу вспомогательный элемент определяет поведение производящих линий в процессе формообразования реальных поверхностей.

На металлорежущих станках почти все производящие линии образуются (имитируются) непрерывно в течение всего времени формообразования поверхности. В процессе непрерывной имитации обеих производящих линий и образуется с помощью резания требуемая поверхность.

В зависимости от вида вспомогательного элемента на основе опыта формообразующей обработки материалов выделено четыре геометрических класса образования производящих линий: копирование, обкат, след, касание.

При *копировании* форма производящей линии получается одновременно в виде копии (зеркального отображения) вспомогательного элемента на воображаемую (виртуальную) линию. При этом для воспроизведения производящей линии формообразующее движение не требуется. Копирование характерно для процесса механической обработки фасонными инструментами, например: модульными фрезами, фасонными резцами. При резании вывод вспомогательного элемента на воспроизводимую линию обеспечивается движением врезания. При *обкате* форма образуемой производящей линии возникает в виде огибающей ряда последовательных положений, занимаемых вспомогательным элементом при обкатывании инструмента без скольжения по образуемой линии. В этом случае образуемая производящая линия и вспомогательный элемент взаимноогнибаемы. При обкате необходимо одно, но всегда сложное формообразующее движение, состоящее из двух элементарных, например, вращательного и поступательного движений. Обкат характерен для процессов обработки червячными фрезами, зуборезными долбяками, зуборезными рейками. Сущность *следа* состоит в том, что форма производящей линии получается в виде следа вспомогательного элемента при относительном движении заготовки и инструмента. В этом случае для получения производящей линии в зависимости от формы образуемой линии необходимо одно простое или сложное формообразующее движение. Класс следа характерен для процессов обработки токарными резцами, зуборезными долбяками и рейками. Способ *касания* заключается в том, что форма производящей линии возникает в виде огибающей точек касания вспомогательного элемента вращающегося инструмента и его перемещения по эквидистанте к образуемой линии. Касание характерно для процесса образования производящих линий с участием таких инструментов, как фрезы и шлифовальные круги. При реализации касания для получения производящей линии требуется два, реже три элементарных формообразующих движения, не связанных функционально между собой.

Процесс образования реальных поверхностей состоит в том, что посредством согласованных относительных движений заготовки и инструмента непрерывно образуются обе производящие линии. Следовательно, при сочетании каждого из четырех геометрических классов воспроизведения образующей с каждым из тех же классов воспроизведения направляющей возможны 16 теоретических классов воспроизведения поверхностей, из которых только 13 осуществимы в практике формообразующей обработки.

Основы теории формообразования реальных поверхностей рассмотрены по первоисточнику [3] на традиционном (вербальном) языке. Позже основы этой теории предложено рассматривать на языке теории множеств [4]. По этой теории, вспомогательный элемент представляется в виде множества материальных точек $M_{\mathcal{E}}$. Тогда в общем виде объединение вспомогательных элементов любого инструмента – это его характеристический образ, определяемый как вполне определенный класс P множеств $M_{\mathcal{E}}$:

$$P = \{M_{\mathcal{E}}\}_i, (i = 1, 2, 3, \dots, \kappa).$$

На языке теории множеств образующую и направляющую можно рассматривать как вполне определенные множества точек M_O и M_H . Тогда любая реальная поверхность в произвольный момент времени – это произведение двух одномерных множеств, каждое из которых является однозначным отображением характеристического образа P инструмента в множества M_O и M_H при относительном перемещении характеристического образа по производящим (виртуальным) линиям:

$$f: P \rightarrow M_O; \quad f: P \rightarrow M_H.$$

В качестве способа, посредством которого каждому $X \in P$ ставится в соответствие некоторый элемент из M_O и M_H , указана [4] операция пересечения множеств M_O и M_H с характеристическим образом P инструмента. Следовательно, чтобы выявить теоретические классы образования реальных поверхностей во времени, достаточно проследить, как во времени образуются одномерные множества, а именно образующая и направляющая. При решении этой задачи в работе [5], так же как и на вербальном языке, получены 16 теоретически возможных классов образования реальных поверхностей, из которых 13 осуществимы в практике формообразующей обработки.

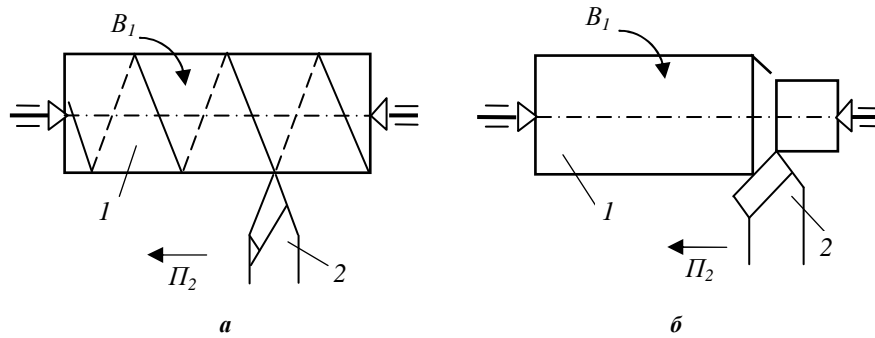
Многообразие осуществимых классов образования реальных поверхностей на вербальном языке и (в скобках) на языке теории множеств при обработке на металлорежущих станках: касание – касание ($\Pi - \Pi$); касание – след ($\Pi - H^C$); касание – обкат ($\Pi - H^K$); след – касание ($H^C - \Pi$); след – след ($H^C - H^C$); след – обкат ($H^C - H^K$); обкат – касание ($H^K - \Pi$); обкат – след ($H^K - H^C$); обкат – обкат ($H^K - H^K$); копирование – касание ($E - \Pi$); копирование – след ($E - H^C$); копирование – обкат ($E - H^K$). Здесь Π , H^C , H^K , E – соответственно прерывистый, непрерывный при скольжении, непрерывный при качении, одновременный классы воспроизведения образующей и направляющей при формообразующей обработке.

Все движения в станках принято называть исполнительными. По целевому признаку их делят на следующие движения: формообразование Φ , врезание Vr , деление D , позиционирование Pz , вспомогательные Vc . Определяющую роль в формировании кинематической структуры станка играют движения формообразования, врезания и деления. Любое исполнительное движение в общем случае характеризуется пятью параметрами пространства и времени, такими как: траектория, скорость, направление, путь, исходная точка. В зависимости от характера исполнительного движения, формы его траектории, схемы взаимодействия инструмента и заготовки, вида и конструкции инструмента теоретически движение можно настраивать по двум, трем, четырем или пяти параметрам. Наибольшее число параметров настройки может потребоваться лишь сложному формообразующему движению с незамкнутой траекторией. По четырем параметрам (за исключением настройки на траекторию) осуществляется настройка простого движения с незамкнутой траекторией; по трем параметрам (на траекторию, скорость и направление) – сложное движение с замкнутой траекторией.

Понятие о кинематической структуре и функции металлорежущего станка. Металлорежущие станки общего назначения, как правило, включают несколько частных кинематических структур. Например, универсальные токарно-винторезные станки обычно содержат следующие частные кинематические структуры: для нарезания резьбы (обработка винтовых поверхностей), для продольного точения (обработка цилиндрических поверхностей), для поперечного точения (обработка торцевых поверхностей). Каждая частная структура реализует вполне определенный способ формообразующей обработки.

На рисунке 1, а приведена схема классического способа нарезания резьбы резцом, у которого вспомогательный элемент (характеристический образ) соответствует профилю нарезаемой резьбы. По этой схеме заготовка 1, определенным образом ориентированной в пространстве, сообщает вращательное движение V_1 , а резцу 2 – поступательное движение Π_2 , функционально связанное с движением V_1 заготовки. Класс образования резьбы (винтовой поверхности) *копирование – след* ($E - H^C$). Причем сложное исполнительное движение $\Phi_1(V_1\Pi_2)$, состоящее из двух согласованных между собой элементарных движений – вращательного V_1 и поступательного Π_2 , воспроизводит направляющую (винтовую линию) обрабатываемой поверхности. Следовательно, частная винторезная структура станка должна осуществлять только одно сложное формообразующее движение, состоящее из двух функционально связанных элементарных вращательного и поступательного движений.

На рисунке 1, б приведена схема пионерного способа механической обработки цилиндрической поверхности резцом. Характеристический образ инструмента – вершина резца (точка, или поверхность малой протяженности). При обработке заготовке 1 сообщают вращательное движение B_1 , а резцу 2 – поступательное движение Π_2 . Класс образования поверхности *след – след* ($H^C - H^C$). При этом элементарное движение $\Phi_v(B_1)$ воспроизводит образующую реальной геометрической поверхности (окружность), а элементарное движение $\Phi_s(\Pi_2)$ – направляющую (прямую линию, параллельную оси заготовки). Следовательно, частная токарная структура станка для обработки цилиндрической поверхности должна осуществлять два элементарных формообразующих движения – вращательное и поступательное.



а – нарезание резьбы; б – точение цилиндрической поверхности

Рисунок 1. – Схемы способов формообразующей обработки

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

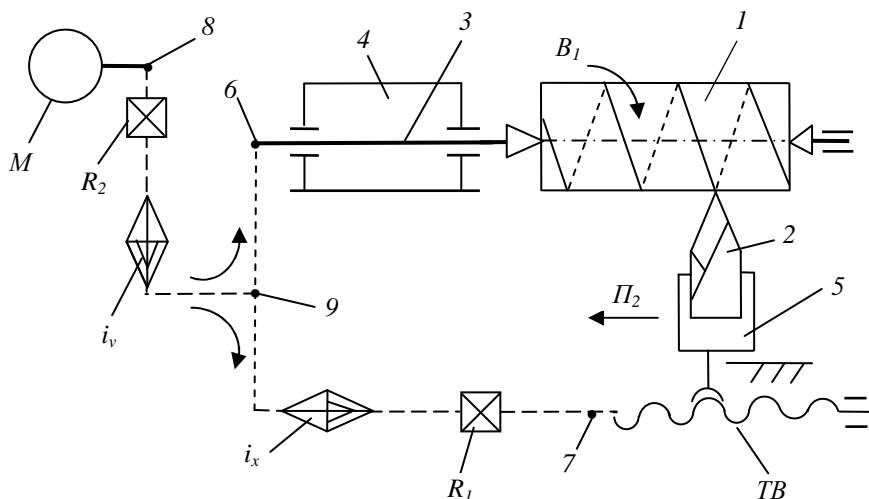


Рисунок 2. – Структурная схема станка для нарезания резьбы

При включении электродвигателя энергия движения по кинематической связи 8 – 9 будет сообщаться через звено 9 в кинематическую 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. При этом соотношение элементарных движений B_1 и Π_2 зависит только от передаточного отношения кинематической связи 6 – 7. Следовательно, эта связь обеспечивает качественную характеристику движения $\Phi_v(B_1\Pi_2)$, т.е. его траекторию. Кинематическую связь, воспроизводящую траекторию исполнительного движения, называют *внутренней связью*.

Количественную характеристику исполнительного движения, т.е. скорость воспроизведения направляющей, обеспечивает кинематическая связь 8 – 9, соединяющая источник энергии с внутренней связью. Такую связь принято называть *внешней связью*. Внутренняя и внешняя связи имеют общее кинематическое звено 9, называемое *звеном соединения связей*.

Совокупность источника энергии движения исполнительных органов, внутренней и внешней связей называется *кинематической группой* [3], ее название соответствует названию движения, которое создает эта группа.

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, являющегося конечным звеном внешней связи. Это правило характерно для любой сложной формообразующей группы, имитирующей другую передачу, например, червячную, зубчатую, зубчато-реечную.

Сложное винтовое движение имеет незамкнутую траекторию. Следовательно, оно должно настраиваться по всем пяти параметрам [3]. Для этого во внутреннюю связь устанавливают два органа настройки: i_x и R_1 . Посредством первого из них настраивают шаг нарезаемой резьбы, а посредством второго – возможность нарезания левой или правой резьбы. Во внешней связи устанавливают 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 Π_2 , образующие сложное движение $\Phi_v(B_1\Pi_2)$, 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 10 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 программно-носителями (кулачками), на станках, оснащенных системами ЧПУ, – программно, например, непосредственно на дисплее устройства ЧПУ.

Описание связей структурной схемы винторезного станка, состоящего из одной кинематической группы, приведено на вербальном языке. При анализе (изучении) кинематической структуры следует отдать предпочтение языку символов, так как 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:

$$B_1 \leftarrow 3 \leftarrow 6 \leftarrow 9 \rightarrow i_x \rightarrow R_1 \rightarrow 7 \rightarrow TB \rightarrow 5 \rightarrow \Pi_2.$$

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.

Вывод на основе принципа возможных перемещений формул настройки (ФН) для органов настройки i_x и i_v .

Орган настройки i_x . Внутренняя связь кинематической группы $\Phi_v(B_1\Pi_2)$ содержит один орган настройки. Поэтому расчетная цепь для этого органа настройки совпадает с внутренней связью. Следовательно, расчетные перемещения для органа настройки i_x имеют вид:

$$1 \text{ оборот заготовки } (B_1) \rightarrow P \text{ мм перемещения инструмента } (\Pi_2),$$

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 тягового вала.

ФН:

$$i_x = P/c_1,$$

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

Орган настройки i_s на скорость воспроизведения направляющей и орган настройки R_2 на направление устанавливаются во внешней связи. Настройку на путь и исходную точку (исходное положение) осуществляют так же, как в винторезной структуре, по упорам.

В 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, оснащенных отдельным приводом групп скорости резания и подачи, такого противоречия нет. При проектировании в этих станках скорость (подача) воспроизведения направляющей задается абсолютным значением.

Вывод формулы настройки для органов настройки i_v и i_s .

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

$$n_{M1, \text{мин}}^{-1} \rightarrow n_{ш, \text{мин}}^{-1} (B_1),$$

Тогда УКЦ:

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

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

ФН:

$$i_v = n_{ш}/c_3,$$

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

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

$$1 \text{ оборот шпинделя } 3 \rightarrow s \text{ мм перемещения каретки } 5 (П_2).$$

Тогда УКЦ:

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

где $P_{ТВ}$ – шаг тягового вала; m и z – модуль и число зубьев колеса зубчато-реечной передачи, выполняющей функцию $ТВ$; i_{04} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

ФН:

$$i_s = s/c_4,$$

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

На этапе интуитивного познания металлорежущих станков в виде совокупности кинематических цепей рассмотренные структурные схемы практически неразличимы. В частности, орган настройки на траекторию исполнительного движения в винторезной структуре рассматривался как орган настройки на скорость подачи инструмента. В результате сложное двухэлементарное винтовое движение, воспроизводящее направляющую резьбы, разлагается на два элементарных движения (вращательное и поступательное), функционально не связанных между собой. По существу, винторезная структура станка трансформируется в структуру станка для продольного точения (см. рис. 3). В этом случае рационально использовать резец с характеристическим образом в виде точки или поверхности малой протяженности.

Автор теории [2] настройки металлорежущих станков справедливо сомневался в корректности ее использования для анализа кинематической структуры станочного оборудования на примере станка для нарезания резьбы (червяка) чашечным резцом типа долбяка. Проанализируем кинематическую структуру такого станка с позиции рассмотренной выше теории кинематической структуры.

На рисунке 4 показана схема взаимодействия обкатного резца 1 и нарезаемой заготовки 2. Для ее реализации необходимо чашечный резец в виде зубчатого колеса с профилем зуба, форма которого является сопряженной при обкате с профилем резьбы нарезаемого червяка 2, катить без скольжения относительно обрабатываемого червяка. В этом случае характеристический образ каждого зуба чашечного резца имеет форму равнобокой трапеции, у которой боковые режущие кромки выполнены в виде дуг левой и правой эвольвент, а вершинная режущая кромка выполнена в виде дуги окружности.

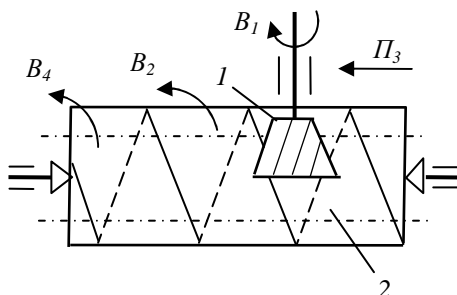


Рисунок 4. – Схема способа нарезания цилиндрических червяков

При обработке профиль витка (образующая) червяка воспроизводится сложным двухэлементарным движением обката $\Phi_v(B_1B_2)$, состоящим из согласованных элементарных вращательных движений: B_1 чашечного резца 1 и B_2 заготовки 2. Движение обката имитирует зацепление червячной передачи. Линия витка (направляющая) воспроизводится сложным двухэлементарным винтовым движением $\Phi_s(\Pi_3B_4)$, состоящим из согласованных элементарных движений: поступательного Π_3 чашечного резца 1 и вращательного B_4 заготовки 2. Винтовое движение имитирует зацепление передачи «винт – гайка». Класс образования винтовой поверхности обкат – касание ($H^k - \Pi$). При этом заготовка 2 одновременно участвует в движениях B_1 и B_4 . Следовательно, кинематическая структура станка для нарезания червяков чашечным резцом должна обеспечивать суммирование двух движений на одном исполнительном органе.

На рисунке 5 приведена классическая структурная схема станка для точения резьбы (червяков) чашечным резцом, реализующая рассмотренный способ формообразующей обработки.

Кинематическая структура станка включает группу обката $\Phi_v(B_1B_2)$, воспроизводящую профиль витка червяка, и винторезную группу $\Phi_s(\Pi_3B_4)$, воспроизводящую линию витка по длине.

Группу обката $\Phi_v(B_1B_2)$ имитирует зацепление червячной передачи. Ее внутренняя связь (цепь)

$$B_1 \rightarrow \text{шпиндель 1 чашечного резца} \rightarrow 2 \rightarrow R_1 \rightarrow i_x \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow \text{суммирующий механизм 5} \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow \text{шпиндель 9 заготовки} \rightarrow B_2.$$

Внешняя связь (цепь):

$$M \rightarrow 9 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \text{ (звено соединения с внутренней связью)}.$$

Группа настраивается на траекторию (профиль витка червяка) и скорость воспроизведения профиля витка (скорость резания) органами настройки i_x и i_v соответственно на направление реверсом R_1 .

Группа $\Phi_s(\Pi_3B_4)$, имитирующая зацепление передачи «винт – гайка», осуществляет перемещение траектории движения чашечного резца по начальной цилиндрической поверхности витков червяка. Внутренняя связь (цепь) группы:

$$\Pi_3 \rightarrow \text{каретка 10} \rightarrow \text{тяговый вал TB} \rightarrow \text{муфта 11} \rightarrow R_2 \rightarrow 12 \rightarrow i_y \rightarrow 13 \rightarrow \text{суммирующий механизм 5} \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow \text{шпиндель 9 заготовки} \rightarrow B_4.$$

Внешняя связь (цепь):

$$M \rightarrow 9 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow i_s \rightarrow 12 \text{ (звено соединения с внутренней связью)}.$$

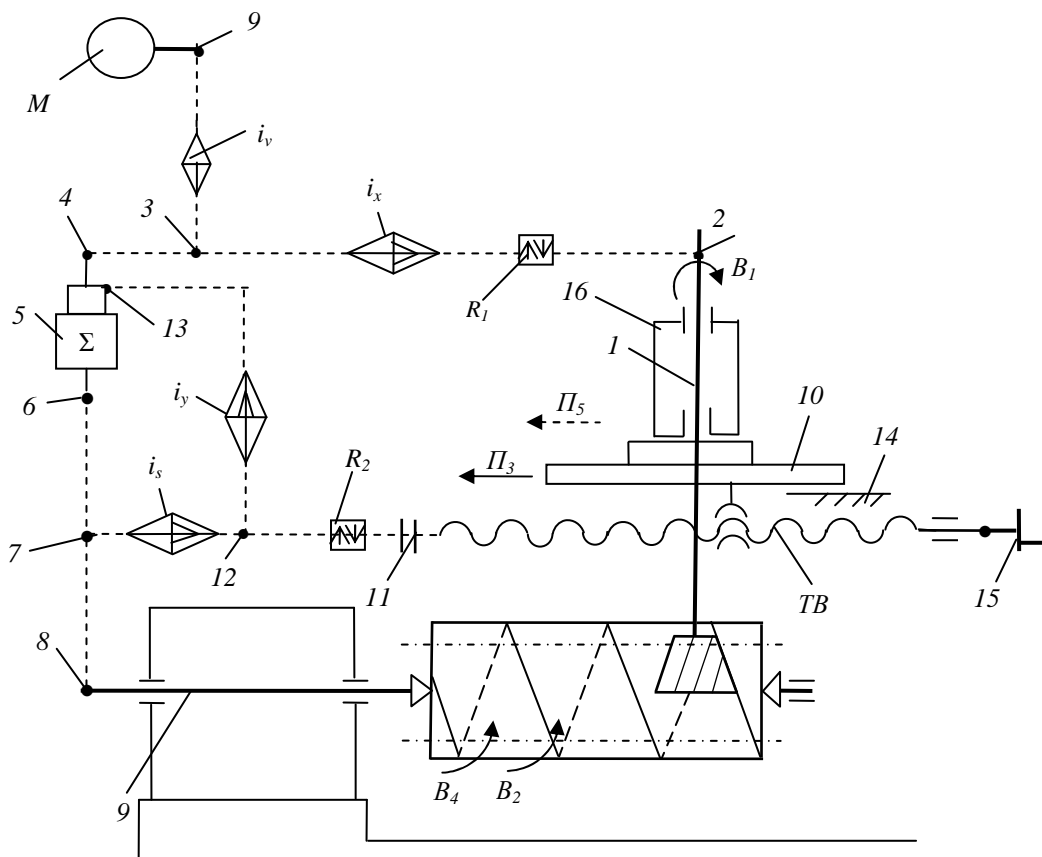


Рисунок 5. – Структурная схема станка для точения червяков чашечным резцом

Группа настраивается на траекторию (винтовую линию червяка) и скорость воспроизведения винтовой линии (скорость подачи) органами настройки i_y и i_s соответственно на направление реверсом R_2 , на путь и исходное положение путевыми упорами системы управления.

В кинематической структуре станка предусмотрена вспомогательная группа Bc (Π_5) с ручным приводом для установочных перемещений каретки 10 при наладке станка. Ее внутренняя связь элементарная поступательная пара:

направляющие 10 станины станка → каретка 10.

Внешняя связь:

маховик 15 → ТВ → каретка 10 (подвижное звено внутренней связи) → Π_5 .

В современных станках с механическими связями группа Bc (Π_5) оснащается отдельным электродвигателем. Причем ручное и механическое управление установочными перемещениями каретки осуществляется при выключенной муфте 11.

В специализированных станках для обработки червяков органы настройки на траекторию и скорость обоих формообразующих движений, как правило, выполняют в виде гитар сменных зубчатых колес. Нормируемыми параметрами при обработке являются скорость резания, задаваемая по круговой частоте заготовки (движение B_2) и продольная подача инструмента (движение Π_3).

Орган настройки i_x . Расчетная цепь совпадает с внутренней связью группы обката $\Phi_v(B_1B_2)$, воспроизводящей червячное зацепление. Поэтому расчетные перемещения имеют вид:

1 оборот шпинделя заготовки (B_2) → k/z поворота чашечного реза (B_1),

где k – количество заходов нарезаемого червяка; z – число зубьев чашечного реза.

Уравнение кинематической цепи станочного зацепления:

$$k/z = 1 \cdot c_1 \cdot i_x,$$

где c_1 – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

Формула настройки:

$$i_x = c_1 \cdot z/k.$$

Орган настройки i_y . Расчетная цепь совпадает с внутренней связью винторезной группы $\Phi_s(\Pi_3B_4)$, воспроизводящей линию витка по длине. Поэтому расчетные перемещения имеют вид:

T_{mm} перемещение реза в движении Π_3 → 1 дополнительному обороту заготовки в движении B_4 ,

где T – шаг нарезаемого червяка.

УКЦ станочного зацепления:

$$1 = c_2 \cdot T/P_{TB} \cdot i_y,$$

где c_2 – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи; P_{TB} – шаг тягового вала.

ФН:

$$i_y = P_{TB} / c_2 \cdot T.$$

Орган настройки i_v . Расчетная цепь связывает электродвигатель M со шпинделем 9 заготовки. Поэтому расчетные перемещения имеют вид:

$n_m, \text{ мин}^{-1}$, круговая частота электродвигателя → $n_{ин}, \text{ мин}^{-1}$, круговая частота шпинделя 9.

УКЦ:

$$n_{ин} = n_m \cdot c_3 \cdot i_v,$$

где c_3 – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

ФН:

$$i_v = n_{ин} / c_3 \cdot n_m,$$

Орган настройки i_s . Расчетная цепь связывает шпиндель 6 заготовки с TB_1 продольного суппорта 8. Поэтому расчетные перемещения имеют вид:

1 оборот шпинделя заготовки → s_{mm} перемещения каретки 10.

УКЦ:

$$s = 1 \cdot c_4 \cdot i_s \cdot P_{TB},$$

где c_4 – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

ФН:

$$i_s = s / c_4 \cdot P_{TB}.$$

Станок работает следующим образом. После наладки органов настройки и установки обрабатываемой заготовки по линии центров станка по циклу обработки включается электродвигатель M . Движение от электродвигателя по внешней связи группы скорости резания через звено соединения связей 3

сообщается во внутреннюю связь этой группы. В итоге шпиндель чашечного резца получает вращательное движение B_1 , а шпиндель заготовки – движение B_2 . Согласованные движения шпинделей воспроизводят профиль червяка. Одновременно при включенной муфте 11 движение от электродвигателя по внешней связи группы подачи через звено соединения связей 12 сообщается во внутреннюю связь этой группы. В итоге каретка 10 и шпиндель 9 заготовки получают движения Π_3 и B_4 соответственно. Функциональная связь этих движений обеспечивает перемещение траектории движения чашечного резца по винтовой линии витка червяка. При этом посредством суммирующего механизма 5 на шпинделе заготовки физически суммируются движения B_2 и B_4 .

Современная тенденция при проектировании кинематической структуры – замена физического сложения двух движений на одном исполнительном органе математическим сложением. Такая замена возможна, если слагаемые движения имеют одинаковую скоростную характеристику, продолжительность их одинакова и создаются они одним источником движения. Рассмотренная структурная схема этим условиям удовлетворяет. Следовательно, данную схему (см. рис. 5) можно упростить, исключив из нее суммирующий механизм 5 и участок кинематической связи $12 - i_5 - 13$. В итоге формообразующие группы $\Phi_v(B_1B_2)$ и $\Phi_s(\Pi_3B_4)$ преобразуются к виду $\Phi_v(B_1B_2 + B_4)$ и $\Phi_s(\Pi_3)$. На основе следующего вывода изменяются также расчетные перемещения для органа настройки i_x .

При нарезании червяка за один оборот заготовки (движение B_2) чашечный резец совершает k/z оборотов (движение B_1) и перемещается на величину s мм (движение Π_4). Для получения винтовой линии червяка при перемещении чашечного резца на величину s заготовка должна дополнительно повернуться на s/T оборота (движение B_4), что соответствует дополнительному повороту чашечного резца на величину $+(k/z) \cdot (s/T)$. Следовательно, расчетные перемещения для расчетной цепи, совпадающей с внутренней связью группы обката $\Phi_v(B_1B_2 + B_4)$, преобразуются к виду:

1 оборот шпинделя заготовки ($B_2 + B_4$) \rightarrow $k/z(1 + s/T)$ оборота чашечного резца (B_1).

Заключение. Развитие основ теории формообразования реальных поверхностей, введение понятия характеристического образа инструмента и понятий параметров настройки исполнительных движений, использование закона разветвления энергии движения в кинематических цепях, по существу, создало предпосылки для эволюционной замены парадигмы интуитивного познания металлорежущих станков современной научной парадигмой, основанной на положениях теоретической механики. Особенность современной научной парадигмы в станковедении – это включение кумулятивно, т.е. без изменений в современную теорию кинематической структуры металлорежущих станков в качестве ее составной части теории настройки станков, разработанной на более раннем этапе эволюции их познания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бергард, Генри Д. Станки по металлу и работа на них : в 2-х т. / Генри Д. Бергард. – Изд. 4-е. – Л.–М. : Книга, 1930.
2. Головин, Г.М. Кинематика станков / Г.М. Головин. – М. : МВТУ имени Баумана, 1946.
3. Федотенок, А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А.А. Федотенок. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1970.
4. Коновалов, Е.Г. Основы новых способов металлообработки / Е.Г. Коновалов. – Минск : Наука и техника, 1968.
5. Голембиевский, А.И. Основы системологии способов формообразующей обработки в машиностроении / А.И. Голембиевский. – Минск : Наука и техника, 1986.

Поступила 20.05.2016

THE EVOLUTION OF KNOWLEDGE AND METHODS OF TEACHING DISCIPLINE METAL CUTTING MACHINES

A. GOLEMBIEVSKI

Describes the evolution of knowledge and methods of teaching for engineering discipline metal cutting machines in high school. Cutting machine as a set of different mechanisms, cinematically connecting engine with executive bodies. Unified theory of metal cutting machines settings based on the principle of possible movements, and its validity to explain the function of the machine. Kinematic structure in machine tools as the Association of private kinematic structures, each of which implements a specific way of machining. Private kinematic structure as in the construction of the Skye system, endowed with a definite structure in the form of combining the cine-MATIC groups, and function. The concept of classes on top of playing rehabilitees for mechanical processing. The concept on the basis of the law of energy branching in the kinematic chains kinematic about forming the group and its functions.

Keywords: cutting machine, configuration, kinematic structures, machining.