

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

В. А. Данилов
А. А. Данилов

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Пособие для студентов специальностей 1-36 01 03
«Технологическое оборудование машиностроительного
производства» и 1-36 01 01 «Технология машиностроения»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образова-
нию в области машиностроительного оборудования и технологий*

Минск
БНТУ
2018

УДК 621.9.06.62-231.3(075.8)

ББК 34.63-5я73

Д18

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра технологии и оборудования машиностроительного производства УО «Полоцкий государственный университет»;
доктор технических наук, заместитель академика-секретаря
отделения физико-технических наук НАН Республики Беларусь,
профессор *М. Л. Хейфец*

Данилов, В. А.

Д18 Анализ и синтез кинематической структуры металлорежущих станков : пособие для студентов специальностей 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» и 1-36 01 01 «Технология машиностроения» / В.А. Данилов, А.А. Данилов. – Минск: БНТУ, 2016. – 50 с.
ISBN 978-985-550-819-0.

Рассмотрены методические основы анализа и синтеза кинематической структуры станков. Изложены общие принципы построения функциональных связей механического, немеханического и комбинированного типов, методики синтеза простых и сложных кинематических групп, способы их соединения, пути оптимизации кинематической структуры станков, рассмотрены примеры ее построения.

Рекомендуется при изучении дисциплин по конструированию станочного оборудования и выполнении курсовых и дипломных проектов, научных исследований. Может быть полезно магистрантам и аспирантам указанных специальностей.

УДК 621.9.06.62-231.3(075.8)

ББК 34.63-5я73

ISBN 978-985-550-819-0

© Данилов В.А., Данилов А.А., 2018

© Белорусский национальный
технический университет, 2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

Кинематическая структура станка представляет собой совокупность механических, электрических, гидравлических и других элементов, объединенных в кинематические связи для создания исполнительных движений, передачи энергии и информации при обработке заданных поверхностей. С учетом многообразия металло-режущих станков важен системный подход к анализу и разработке их конструкции, в частности механики, которая претерпела значительные изменения в связи с применением в станках числового программного управления и современных приводов, позволяющих существенно упростить кинематику станка.

Основоположник исследований в этой области профессор А. А. Федотенок [11] разработал методику анализа кинематической структуры станков с различными кинематическими связями (механическими, немеханическими, комбинированными), основные положения которой применимы и к синтезу кинематической структуры станков.

Задача анализа кинематической структуры станка связана с ее построением по кинематической схеме. В соответствии с этой методикой, исходя из технологического назначения станка, формы обрабатываемых на нем поверхностей и применяемых методов обработки, вначале выявляются методы формообразования, необходимые для обработки каждой поверхности исполнительные движения и их настраиваемые параметры. Далее по кинематической схеме станка устанавливаются: исполнительные органы, несущие инструмент и заготовку; источники движения; связывающие их кинематические цепи; расположенные в них органы настройки параметров исполнительных движений. Заключительный этап анализа – выполнение по известной методике [7, 11] расчетов кинематической настройки станка. Примеры анализа кинематической структуры станков приведены в разнообразных источниках [2, 4, 7, 9–12].

В меньшей степени рассмотрены в учебной литературе вопросы синтеза кинематической структуры проектируемых станков. В этой связи изложенный в пособии методический материал ориентирован преимущественно на эту задачу. Заметим, что синтезу кинематиче-

ской структуры станка предшествует синтез рациональной кинематической схемы обработки, который является самостоятельным этапом его схемотехнического проектирования [4] (в пособии эта задача не рассматривается).

Синтез кинематической структуры – ответственный этап функционального проектирования станка, так как допущенные здесь ошибки не могут быть компенсированы на последующих этапах его проектирования. В пособии изложены методические основы решения этой задачи, освоение которых будет способствовать углублению теоретической подготовки по станочным дисциплинам и повышению уровня проектных решений при выполнении курсового и дипломного проектирования металлорежущих станков.

1. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ В СТАНКАХ

При решении задач анализа и синтеза кинематической структуры станка необходимо знать виды и настраиваемые параметры исполнительных движений, предусматривать в кинематических связях соответствующие органы настройки.

Виды исполнительных движений. К исполнительным относятся движения формообразования Φ , деления D , ориентации Op , установочное $Уст$, врезания $Вр$, вспомогательное $Всп$, управления $Упр$ и др. [11].

Движение формообразования – относительное перемещение инструмента и заготовки, в результате которого в процессе обработки на ней образуется заданная поверхность.

Движение деления – движение, перемещающее траекторию движения формообразования в новое геометрическое положение для образования на заготовке нескольких одинаковых по форме поверхностей. Это движение может быть прерывистым или непрерывным. Во втором случае оно совмещается с одним из формообразующих движений, что характерно, например, для профилирования зубчатых колес методом обката.

Установочным называется движение, приводящее инструмент и заготовку в относительное положение, обеспечивающее возможность снятия слоя материала для получения заданного размера обработанной поверхности. Установочное движение, сопровождаемое резанием, называется движением *врезания* ($Вр$). При отсутствии процесса резания установочное движение является *наладочным*.

Ориентирующим (Op) называется движение, обеспечивающее в процессе обработки постоянную ориентацию инструмента относительно обработанной поверхности – например, для стабилизации его рабочих углов. Ориентирующие движения характерны для многокоординатных станков с ЧПУ при обработке криволинейных поверхностей.

Все движения формообразования являются *движениями резания*. Если для обработки поверхности требуется одно движение формообразования, то оно является движением скорости резания Φ_v . При нескольких движениях формообразования одно из них – движение резания Φ_v , а остальные – движения подачи Φ_s (Φ_{s1} , Φ_{s2} и т. д.).

Указанные движения относятся к первой группе движений.

Движения второй группы подразделяются на вспомогательные ($Всп$) и движения управления ($Упр$). К движениям управления отно-

сятся те, которые совершают органы управления, регулирования и координирования других исполнительных движений станка. Таковыми органами являются командоаппараты, распределительные валы, муфты, ограничители хода и др. К вспомогательным движениям относятся движения, обеспечивающие установку, зажим, освобождение, транспортирование заготовок, перемещение в исходное положение и смену инструмента, удаление стружки, правку инструмента и т. п.

Количество движений формообразования зависит от метода формообразования поверхности как совокупности методов формирования ее производящих линий [11]. Необходимость в движениях деления и ориентации определяется исходя из конструкции детали и геометрии формируемой поверхности [3]. Установочные и вспомогательные движения определяются циклом обработки поверхности.

Структура и параметры исполнительных движений. Любое исполнительное движение создается одним или несколькими элементарными движениями, каждое из которых может быть вращательным B , поступательным $П$, осциллирующим (возвратно-поступательным) O , качательным (возвратно-вращательным) K . По структуре оно может быть простым (образуется одним элементарным движением): например, $\Phi_v(B_1)$, $\Phi_s(П_2)$, $D(B_3)$, $Bp(П_4)$, $Op(K_5)$; сложным (образуется несколькими согласованными, одновременно выполняемыми элементарными движениями): $\Phi_v(B_1B_2)$, $\Phi_s(B_3П_4)$, $D(B_5П_6)$, $\Phi_v(B_1B_2П_3)$ и т. п.

Кинематическая структура станка должна обеспечивать возможность настройки необходимых параметров исполнительных движений, к которым относятся [11]:

пространственные параметры:

траектория (T) – линия, по которой движется фиксированная точка режущего инструмента;

исходное положение (O), соответствующее началу движения по траектории;

путь (L) – протяженность траектории между ее начальной и конечной точками;

скорость (V) перемещения точки по траектории;

направление движения;

относительное положение траектории рассматриваемого движения;

абсолютное положение траектории движения;

временные параметры:

момент начала движения, характеризующий положение данного движения в общем цикле или последовательности движений;

характер движения в смысле непрерывности.

Количество настраиваемых параметров зависит от структуры движения – простое или сложное (табл. 1) – и вида траектории движения (замкнутая или незамкнутая). Соответствующие органы настройки параметров движения должны быть предусмотрены при проектировании кинематической структуры станка.

Таблица 1

Настраиваемые параметры в зависимости от характера движения

Движение	Траектория движения			
	замкнутая		незамкнутая	
	Настраиваемые параметры			
	количество	наименование	количество	наименование
Простое	2	скорость, направление	4	исходное положение, путь, скорость, направление
Сложное	3	траектория, скорость, направление	5	траектория, исходное положение, путь, скорость, направление

Органы настройки параметров исполнительных движений.

Практикой станкостроения определены рациональные типы органов настройки исполнительных движений в зависимости от требований к универсальности станка, способа регулирования скорости исполнительного движения (ступенчатое или бесступенчатое), системы

управления станком и других факторов. Соответствующие органы настройки параметров движения должны быть предусмотрены в кинематической структуре станка.

Скорость движения исполнительного органа может настраиваться регулированием двигателя, изменением передаточного отношения механических устройств (коробки передач, сменных зубчатых колес или шкивов ременной передачи, вариатора). Настройка направления движения обеспечивается системой управления (при применении реверсивного двигателя) или реверсирующим устройством (механическим, гидравлическим).

Для настройки траектории движения используются механические, немеханические и комбинированные устройства, обеспечивающие согласование движений исполнительных органов, формирующих заданную траекторию движения. Ими могут быть: копир, кулачок, гитара сменных зубчатых колес, программируемый контроллер, интерполятор системы ЧПУ и др.

Настройка исходной точки и длины пути осуществляются посредством упоров и взаимодействующих с ними переключателей в станках с системой циклового программного управления или программными средствами в станках с ЧПУ.

При решении задачи синтеза кинематической структуры станка на основе исполнительных движений инструмента и заготовки, необходимых для формообразования заданной поверхности, разрабатывается кинематическая схема ее обработки [4]. При решении задачи анализа кинематической структуры станка, исходя из реализуемой им кинематической схемы обработки, определяются структура и параметры исполнительных движений.

Пример кинематической схемы обработки. На рис. 1.1 изображена кинематическая схема обработки резьбы дисковой фрезой 2, ось вращения которой устанавливается под углом η к оси вращения заготовки 1. Для этого служит установочное движение $Ucm_1(B_6)$ – поворот инструмента вокруг оси, перпендикулярной оси заготовки, которое обычно выполняется вручную при наладке станка. Установка инструмента на определенном расстоянии от оси вращения заготовки обеспечивается движением $Ucm_2(P_5)$.

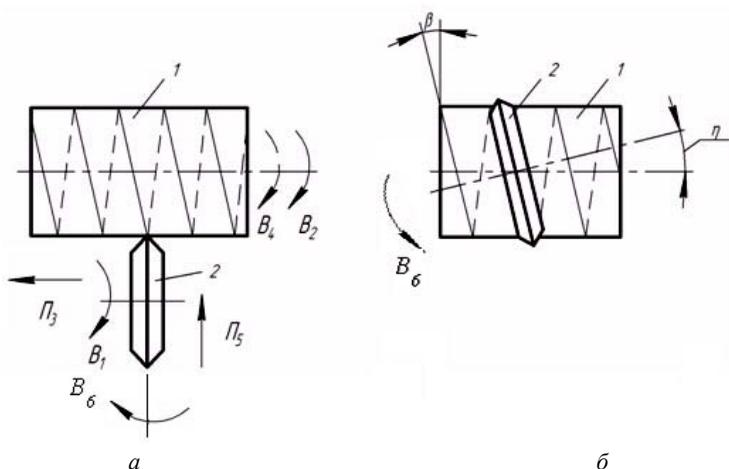


Рис. 1.1. Кинематическая схема нарезания резьбы дисковой фрезой:
а – схема обработки; *б* – схема установки фрезы

Профиль резьбы создается методом копирования за счет формы режущей части фрезы, поэтому движение профилирования не требуется. Направляющая (винтовая линия) формируется методом касания двумя формообразующими движениями: движением резания $\Phi_v(B_1)$ – вращением B_1 фрезы 2 и винтовым движением подачи $\Phi_s(B_2P_3)$, которое создается вращением B_2 заготовки и согласованным с ним относительным прямолинейным перемещением P_3 фрезы и заготовки. Движение $\Phi_v(B_1)$ должно настраиваться соответствующими органами по скорости и направлению, а движение $\Phi_s(B_2P_3)$ – по пяти параметрам: траектории, скорости, направлению, исходной точке и длине пути.

После обработки каждой винтовой канавки заготовке сообщается поворот B_4 на угол $\alpha = 2\pi/k$, где k – число заходов резьбы, то есть простое дискретное движение деления $D(B_4)$. В рассматриваемом станке оно выполняется вручную, поэтому настраивается по одному параметру – пути (углу α поворота заготовки).

Для отвода фрезы от заготовки служит вспомогательное движение $V_{сп1}(P_5')$, которое образуется элементарным движением P_5' , обратным по направлению движению P_5 . При автоматическом выполнении оно настраивается по скорости, направлению и длине пути: например, на станке с ЧПУ эти параметры задаются в управляющей программе. Скорость установочных и вспомогательных движений

обеспечивается параметрами кинематической цепи ускоренных перемещений или управляющей программой станка с ЧПУ.

При обработке винтовой канавки за несколько ходов между движениями $V_{cn1}(II_5')$ и $U_{cm2}(II_5)$ необходимо винтовое вспомогательное движение $V_{cn2}(B_2'II_3)$, обратное по направлению движению формообразования $\Phi_s(B_2'II_3)$. Посредством движения $V_{cn2}(B_2'II_3)$ фреза и заготовка возвращаются в исходное положение для выполнения следующего хода. При наладке станка, а также после окончания обработки винтовой канавки перемещение фрезы в исходное положение вдоль оси заготовки осуществляется вспомогательным движением $V_{cn3}(II_3)$.

2. ПОНЯТИЕ О КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ СТАНКА

С системных позиций кинематическая структура станка представляет собой совокупность кинематических групп, каждая из которых создает определенное исполнительное движение, и межгрупповых связей в соответствии с принятым способом соединения кинематических групп. Кинематическая структура устанавливает функциональные связи в станке, необходимые для реализации принятой кинематической схемы обработки заданной поверхности.

Типы функциональных связей по назначению. Функциональные связи между движениями исполнительных органов, а также между ними и двигателем осуществляются посредством кинематических цепей, многообразие которых по назначению в зависимости от характера движений ведущего и ведомого элементов кинематической цепи (вращательное, прямолинейное, возвратно-поступательное или качательное) можно разделить на следующие основные виды:

- 1) цепи, связывающие вращающиеся ведущий и ведомый элементы;
- 2) цепи, связывающие вращающийся и поступательно перемещающийся элементы;
- 3) цепи, связывающие между собой поступательно перемещающиеся элементы;
- 4) цепи, связывающие вращающиеся и возвратно-поступательно перемещающиеся или совершающие качательные движения исполнительные органы;
- 5) цепи, связывающие поступательно перемещающиеся и возвратно-поступательно перемещающиеся звенья.

По конструктивному исполнению любая кинематическая цепь может быть механической (состоит из механических передач), немеханической (электрическая, гидравлическая и т. п.) или комбинированной: например, электромеханической, мехатронной.

Структура кинематической группы. Кинематическая группа содержит:

источник движения (двигатель);

один исполнительный орган (если группа простая) или несколько (если группа сложная), каждый из которых является подвижным звеном соответствующей кинематической пары (вращательной, поступательной, винтовой);

внешнюю и внутреннюю кинематические связи с размещенными в них органами настройки (механическими, гидравлическими, электронными и т. п.) параметров создаваемого группой движения.

Внутренняя связь обеспечивает согласование движений исполнительных органов между собой в соответствии с траекторией создаваемого движения. Внешняя связь служит для передачи энергии от источника движения через звено соединения связей во внутреннюю связь и обеспечивает остальные параметры создаваемого исполнительного движения. Внешняя и внутренняя связи могут быть совмещены, что упрощает структуру кинематической группы.

Частные и общая кинематические структуры станка. Частная кинематическая структура представляет собой совокупность кинематических групп, создающих исполнительные движения, необходимые для обработки на станке заданной поверхности. Например, на универсальном зубофрезерном станке могут нарезать прямозубые и косозубые цилиндрические шестерни, а также червячные колеса различными технологическими методами. Обработке каждого из этих изделий определенным методом соответствует частная кинематическая структура станка.

Основой для разработки частной структурной схемы станка является кинематическая схема обработки соответствующей поверхности, определяющая необходимые исполнительные движения. Объединение множества частных структур представляет собой общую (полную) кинематическую структуру станка. Построение частных и общей кинематических структур выполняется как при анализе, так и синтезе кинематической структуры станка.

Кинематическая структура проектируемого станка должна обеспечивать не только формообразование поверхности, но и благоприятные условия резания.

Классы кинематической структуры станков. Любой станок имеет как минимум одну группу движения формообразования. Кинематические группы других типов исполнительных движений могут отсутствовать. Поэтому кинематическая структура станка в основном определяется группами движений формообразования. В зависимости от сочетания простых и сложных групп движений формообразования все многообразие кинематических структур металлорежущих станков делится на три класса [11]:

элементарная (*Э*) структура, состоящая из простых кинематических групп;

сложная (*С*) структура, состоящая только из сложных кинематических групп;

комбинированная (*К*) структура – структура, состоящая из простых и сложных групп.

Класс кинематической структуры станка обозначается соответствующей буквой и двумя цифрами, первая из которых определяет количество групп движений формообразования, а вторая – число создаваемых этими группами элементарных движений: например, *Э33*, *С24*, *К35*.

3. СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ

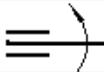
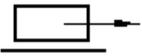
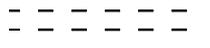
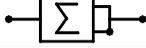
Структура кинематической группы зависит от настраиваемых параметров создаваемого ею исполнительного движения, а их количество – от структуры исполнительного движения (простое или сложное) и вида его траектории (замкнутая, незамкнутая). Для построения структуры кинематической группы необходимо, исходя из вида создаваемого ею исполнительного движения, установить настраиваемые параметры, обосновать структуру внешней и внутренней связей, размещение в них органов настройки параметров исполнительного движения, выбрать положение звена соединения внешней и внутренней связей. Ниже рассмотрены методические основы решения этих задач.

3.1. Структурные элементы кинематических связей

Кинематические связи изображаются в виде структурных схем [11] с учетом приведенных в табл. 3 или иных [7–12] условных обозначений структурных элементов, а также структурных схем типовых и модифицированных кинематических модулей бездифференциального и дифференциального типов [3–5]. Рассмотрим структуру основных типов кинематических модулей.

Таблица 3

Обозначения элементов кинематических цепей на структурных схемах

Элементы кинематических цепей	Наименование обозначаемого объекта
	кинематическая пара вращения
	кинематическая пара поступательного движения
	винтовая кинематическая пара (общее обозначение тягового устройства)
	кинематическая цепь с механическими элементами (передачами)
	кинематическая цепь с немеханическими элементами
	орган настройки передаточного отношения (гитара сменных колес, коробка передач и т. п.)
	орган настройки переменного передаточного отношения (вариатор, некруглые зубчатые колеса и т. п.)
	реверсирующий механизм
	суммирующий механизм
	переключающий механизм
	механизм замыкания (размыкания) кинематической цепи

Бездифференциальные кинематические модули (рис. 3.1) могут использоваться при построении внешних и внутренних связей. При расположении во внешней связи одно из конечных звеньев модуля (1 или 2) соединяется с источником движения (например, двигателем), а другое – со звеном соединения внешней и внутренней связей кинематической группы.

Во внутренних связях сложных кинематических групп бездифференциальный модуль размещается в кинематической цепи, согласующей движения исполнительных органов.

Механический модуль (рис. 3.1, а) содержит в общем случае орган настройки постоянного передаточного отношения i_0 и орган настройки i_y с переменным передаточным отношением. Органом настройки i_y задается закон изменения отношения скоростей движений конечных звеньев модуля и кинематически связанных с ними исполнительных органов

станка. При постоянном отношении скоростей исполнительных органов отпадает необходимость в этом органе настройки.

Мехатронный кинематический модуль (рис. 3.1, б) позволяет одновременно управлять скоростями движений двух исполнительных органов, осуществляемых от отдельных электродвигателей M_1 и M_2 по алгоритму, реализуемому системой управления i_y , с применением системы обратной связи, что имеет место в станках с контурными системами ЧПУ.

Модуль электронного типа (рис. 3.1, в) предназначен для исполнительных систем с ведущей координатой, когда один исполнительный орган получает независимое перемещение (ведущая координата), а его связь с движением второго исполнительного органа обеспечивается устройством управления i_y в сочетании с датчиком-преобразователем $ПР$, служащим для получения информации об угле поворота исполнительного органа 1. Применение такого модуля характерно для винторезных цепей токарных станков с ЧПУ.

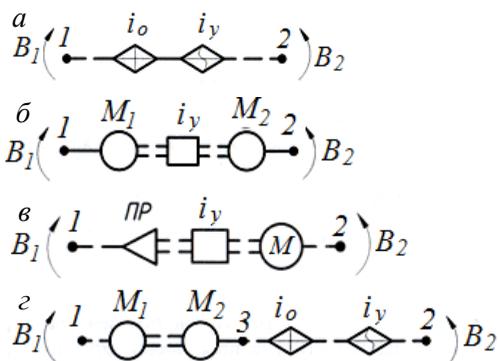


Рис. 3.1. Структурные схемы типовых бездифференциальных кинематических модулей

Электромеханический модуль (рис. 3.1, з) построен на базе механического модуля (см. рис. 3.1, а), дополненного двумя электрически взаимосвязанными синхронными электродвигателями (электромеханическая цепь: $1-M_1-M_2-2$), имеющими одинаковую частоту вращения. Функциональная связь движений исполнительных органов в этом случае обеспечивается органами настройки механической части модуля, а применение синхронных электродвигателей позволяет уменьшить число валов и зубчатых передач в кинематической цепи и благодаря этому повысить ее точность. Так выполнена, например, связь между исполнительными органами в зубошлифовальном станке модели 5В832 [8].

Дифференциальные кинематические модули. Их конструктивным признаком является наличие суммирующего механизма Σ (рис. 3.2) с двумя входными звеньями 3, 4, которые через органы настройки i_0 и i_y связаны с ведущим звеном 1 модуля, что позволяет создавать равномерное или неравномерное вращение ведомого звена 2 как сумму соответственно равномерных или равномерного и неравномерного движений.

Особенностью модуля (рис. 3.2, б) является наличие замкнутого суммирующего механизма, так как его входное звено 4 связано кинематически с конечным звеном 2 модуля.

Такой модуль обеспечивает компактность конструкции и высокую точность основанных на нем коррекционных устройств, применяемых, например, в винторезных цепях резьбообрабатывающих станков.

На основе рассмотренных базовых модулей для конкретных задач могут быть построены модифицированные модули с иным количеством и размещением органов настройки, числом ведущих и ведомых звеньев [5].

К модулям этого типа относятся дифференциальные модули с двумя ведущими звеньями 1, 3 и одним ведомым звеном 2 (рис. 3.3), а также модули с двумя ведомыми звеньями 2, 3 (рис. 3.4) и одним ведущим зве-

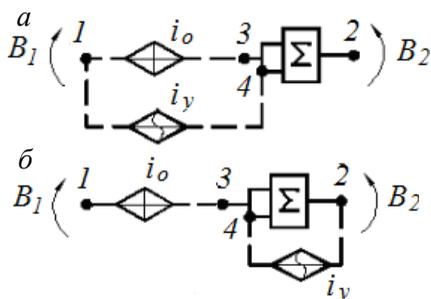


Рис. 3.2. Структура дифференциальных модулей с одним ведущим звеном на базе разомкнутого (а) и замкнутого (б) суммирующего механизма

ном I , позволяющие согласовывать движения трех исполнительных органов станка, например, двух вращающихся (шпинделей) и поступательно перемещающегося суппорта.

Кроме органов настройки модули могут содержать целевые механизмы, например, для создания прерывистого движения. Сочетанием одинаковых или различных базовых модулей могут быть образованы сложные (комбинированные) модули дифференциального и смешанного типов [3], позволяющие расширить технологические возможности оборудования, упростить настройку движений исполнительных органов.

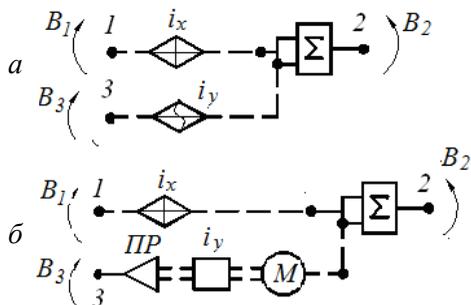


Рис. 3.3. Структурные схемы механического (а) и комбинированного (б) кинематических модулей с двумя ведущими звеньями

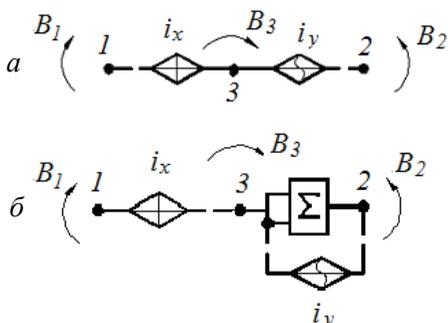


Рис. 3.4. Структурные схемы бездифференциального (а) и дифференциального (б) кинематических модулей с двумя ведомыми звеньями

3.2. Синтез функциональных связей кинематических групп

Основой синтеза внутренней связи является структура создаваемого исполнительного движения. Рассмотрим построение внутренних связей кинематических групп для создания винтового движения переменного шага.

Синтез функциональных связей механического типа. Кинематическая группа винтового движения имеет два исполнительных органа – вращающийся шпиндель 1 (рис. 3.5) и прямолинейно перемещающийся суппорт 2 , движение каждого из которых в общем случае может создаваться как сумма постоянного и переменного элементарных движений. Поэтому исполнительное винтовое движение

может быть двухэлементарным типа $(B_1, \tilde{\Pi}_2)$, трехэлементарным $(B_1, \Pi_2 + \tilde{\Pi}_2)$ или $(B_1 + \tilde{B}_1, \Pi_2)$ и четырехэлементарным $(B_1 + \tilde{B}_1, \Pi_2 + \tilde{\Pi}_2)$ [3].

В зависимости от количества элементарных движений (два, три, четыре) и их распределения между исполнительными органами возможны четыре типа структур внутренних связей групп винтового исполнительного движения [3], из которых чаще применяются первые три.

Если исполнительное винтовое движение образуется несоставными элементарными движениями B_1 и Π_2 , то внутренняя связь строится на базе бездифференциального механического модуля (см. рис. 3.1, а), одно из конечных звеньев которого кинематически соединяется со шпинделем, несущим заготовку, а второе – с тяговым устройством суппорта, несущего режущий инструмент. Органы настройки i_y и i_o в этом случае расположены последовательно в цепи, связывающей шпиндель и суппорт (см. рис. 3.5).

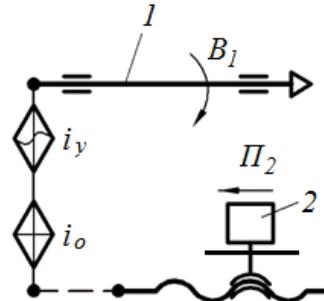


Рис. 3.5. Структура внутренней связи группы винтового движения

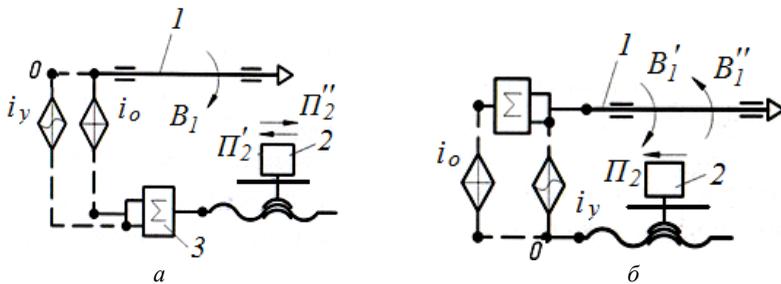


Рис. 3.6. Структурные схемы внутренних связей при движениях шпинделя (а) и суппорта (б)

Переменный шаг винтового движения обеспечивается за счет неравномерных движений шпинделя 1 или суппорта 2 (рис. 3.6), что зависит от положения звена O соединения внешней и внутренней связей. Если это звено расположено между органом настройки i_y и шпинделем 1 , то переменным будет движение суппорта 2 (рис. 3.6, а).

Если же звено соединения связей расположено между органом i_y и суппортом 2, то переменным будет вращение шпинделя (рис. 3.6, б). Таким образом, в станках с неравномерным движением исполнительных органов положение звена соединения внешней и внутренней связей существенно влияет на характер элементарных движений исполнительных органов, что не присуще станкам с равномерными движениями исполнительных органов.

Внутренние связи кинематических групп, создающих исполнительные движения с составными элементарными движениями, должны быть построены на дифференциальном кинематическом модуле, например, механическом (см. рис. 3.2, а).

В этом случае внутренняя связь кинематической группы винтового движения формообразования содержит между шпинделем и суппортом две настраиваемые кинематические цепи, одна из которых с постоянным передаточным отношением i_0 обеспечивает настройку постоянной составляющей шага H_0 , а вторая, с переменным передаточным отношением i_y , – настройку его переменной составляющей. Ведомое звено суммирующего механизма может соединяться или с суппортом (см. рис. 3.6, а), или шпинделем (см. рис. 3.6, б), что обуславливает разные законы изменения шага винтового движения.

Структуры внутренних связей, построенные на базе типового модуля по рис. 3.2, б, целесообразно использовать при проектировании кинематики станков с коррекционными устройствами.

Оснащение винторезной цепи замкнутым суммирующим механизмом, например, в виде передачи винт-гайка (рис. 3.7) позволяет повысить кинематическую точность и упростить конструкцию станка.

Формообразование винтовой линии в этом случае осуществляется движением $(B_1, \Pi_2 + \tilde{\Pi}_2)$, то есть перемещение суппорта является составным. Переменное по скорости движение $\tilde{\Pi}_2''$ создается кор-

рекционным устройством и складывается с равномерным движением Π_2 , сообщаемым суппорту по винторезной цепи, посредством сумми-

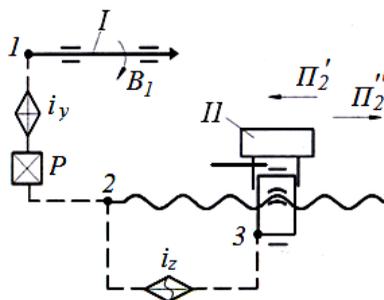


Рис. 3.7. Кинематическая структура внутренней связи с коррекционным устройством

рующего механизма. Благодаря неравномерному движению \tilde{P}_2'' обеспечивается возможность компенсировать погрешность винторезной цепи или нарезать специальные резьбы.

Орган настройки i_z обычно представляет собой коррекционную линейку (копир), взаимодействуя с которым гайка 3 получает вращение, преобразуемое передачей винт-гайка в движение \tilde{P}_2'' . Вращение ведущего звена суммирующего механизма или гайки может осуществляться также от отдельного двигателя, связанного с системой управления.

Синтез функциональных связей электромеханического типа.

Для повышения кинематической точности цепей внутренней связи важно обеспечить в них минимальное количество кинематических пар. Этому требованию в полной мере отвечает построение внутренних связей на базе бездифференциального электромеханического модуля (см. рис. 3.1, *з*) или немеханических модулей (см. рис. 3.1, *б*, *в*), характерных для станков с ЧПУ.

Во внутренних связях электромеханического типа требуемое значение передаточного отношения кинематической цепи обеспечивается механическим органом настройки i_x , например, гитарой сменных зубчатых колес, как в зубошлифовальном станке модели 5В832 (рис. 3.8) [8].

Двигатель M_1 служит для вращения инструментального шпинделя I , а двигатель M_2 – стола II с заготовкой через сменные зубчатые колеса. Оба двигателя вращаются с одинаковой частотой. В результате создается движение обкатки $\Phi(B_1B_2)$, настраиваемое органом i_x на число обрабатываемых зубьев.

На применении кинематических связей электромеханического типа основана, например, кинематическая структура зубодолбежного (патент РБ № 3999) и зубошлифовального (патент РБ № 4174) станков, особенностью которых является подключение обоих двигателей к одному преобразователю частоты переменного тока, что позволяет регулировать частоту вращения инструментального шпинделя в соответствии с требуемым режимом резания для стабилизации производительности и качества обработки.

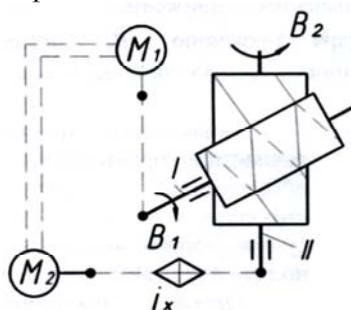


Рис. 3.8. Структурная схема цепи обката станка модели 5В832

Во внутренних связях мехатронного типа, основанных на модуле по рис. 3.1, б, характерных для станков с ЧПУ, согласование движений исполнительных органов, несущих инструмент и заготовку, обеспечивается системой управления. Структурная схема цепи обката в этом случае отличается от схемы по рис. 3.8 отсутствием органа настройки i_x и наличием системы управления двигателями M_1 и M_2 .

3.3. Типовые структуры внутренних и внешних связей

Типовые структуры внутренней связи. При анализе и синтезе структуры внутренней связи следует исходить из того, что она определяет траекторию исполнительного движения и, следовательно, точность формообразования обработанной поверхности. В простых кинематических группах внутренняя связь представляет собой кинематическую пару между исполнительным органом и неподвижным звеном этой пары, поэтому точность формообразования определяется точностью изготовления исполнительной кинематической пары, например, точностью подшипника качения или скольжения, точностью направляющих.

В сложных кинематических группах в состав внутренней связи, кроме соответствующих исполнительных кинематических пар, входит также кинематическая цепь, связывающая подвижные звенья этих пар между собой и обеспечивающая согласование скоростей и направлений исполнительных органов станка.

По исполнению она может быть механическая, электромеханическая, гидравлическая, мехатронная и т. п., а по структуре – бездифференциальная или дифференциальная.

На рис. 3.9 изображены три варианта типовой структуры внутренней связи бездифференциального типа кинематической группы, создающей исполнительное движение вида $\Phi(B_1B_2)$, характерное для станков разного назначения, в частности для обработки некруглых поверхностей [12]. Представленные на рис. 3.9, а – в структурные схемы построены на соответствующих бездифференциальных кинематических модулях: механическом (см. рис. 3.1, а), электромеханическом (см. рис. 3.1, з) и мехатронном (см. рис. 3.1, б).

Согласование скоростей движений B_1 и B_2 исполнительных органов в структурах механического (см. рис. 3.9, а) и электромеханического (см. рис. 3.9, б) типов осуществляется настройкой органа i_x .

Согласование направлений этих движений также осуществляется этим органом за счет количества его сменных зубчатых колес, так как введение специального реверсирующего механизма снижает кинематическую точность внутренней связи. Во внутренней связи мехатронного типа (см. рис. 3.9, в) согласование скоростей и направлений движений B_1 и B_2 обеспечивается системой управления $СУ$ с использованием датчиков $Д_1$ и $Д_2$ обратной связи.

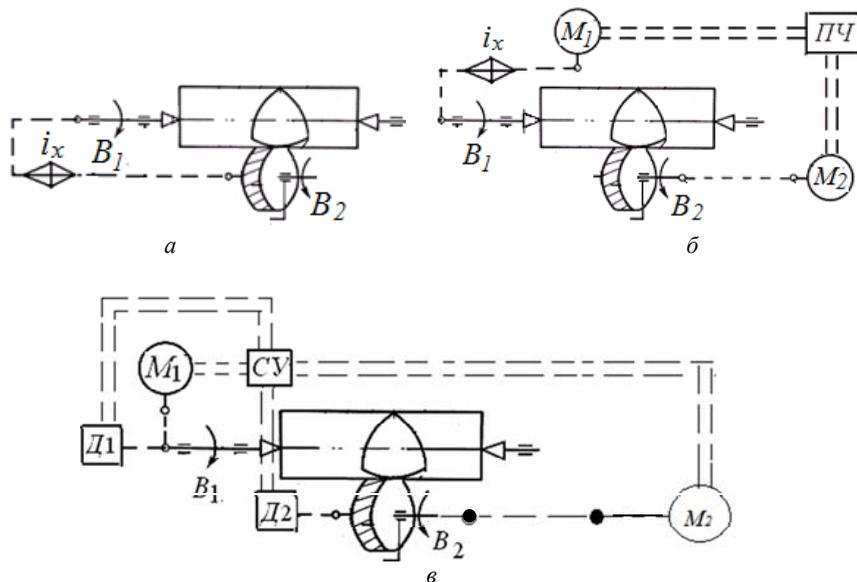


Рис. 3.9. Типовые структурные схемы внутренних связей механического (а), электромеханического (б) и мехатронного (в) типов группы движения $\Phi (B_1B_2)$

Типовые структуры внутренних связей дифференциального типа рассмотрены выше в п. 3.2 (см. рис. 3.6, 3.7).

Типовые структуры внешней связи. Структура внешней связи определяется ее функциональным назначением – передача энергии от двигателя во внутреннюю связь, и настройка исполнительного движения по требуемым параметрам (в общем случае по скорости, направлению, исходной точке и длине пути). Внутренняя связь определяет скорость исполнительного движения и, следовательно, производительность обработки.

На рис. 3.10, *a* изображена типовая широко применяемая в станках структура внешней связи, обеспечивающая настройку исполнительного движения по скорости и направлению. Для этого в кинематической цепи 1–2 размещены реверсирующий механизм *P* и орган настройки i_v , который в зависимости от назначения и степени универсальности станка может быть выполнен в виде коробки скоростей, сменных шкивов или зубчатых колес.

Звено 2 является звеном соединения внешней и внутренней связей. Функцию реверсирующего механизма может выполнять двигатель *M* (приводы главного движения фрезерных, сверлильных и других станков) или орган настройки i_v , в котором, например, предусматривается возможность установки дополнительного сменного зубчатого колеса.

Структура внешней связи (рис. 3.10, *б*), кроме параметров скорости и направления, обеспечивает также настройку исполнительного движения на начало и длину пути. Для этого предусмотрен диск 5 с упорами 6 и 7, получающий вращение по цепи 3–4. Эти упоры через переключатель 8 управляют двигателем *M*. Таким образом, структура внешней связи зависит от настраиваемых ею параметров исполнительного движения, а также типа двигателя (регулируемый, нерегулируемый, реверсивный, нереверсивный).

На базе рассмотренных выше типовых структур внешних и внутренних связей может быть построена кинематика станков различного технологического назначения при синтезе кинематической структуры. При анализе кинематической структуры станка структура внешних и внутренних связей кинематических групп определяется по его кинематической схеме.

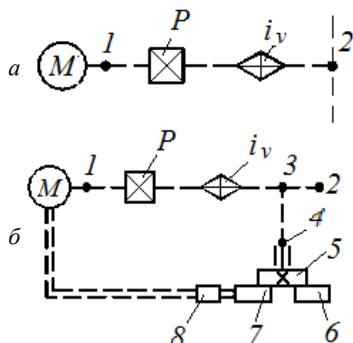


Рис. 3.10. Типовые структуры внешних связей при настройке движения по скорости и направлению (*a*) и дополнительно по началу и длине пути (*б*)

3.4. Синтез кинематической структуры простых кинематических групп

Простая кинематическая группа создает обычно простое, то есть одноэлементарное исполнительное движение, образованное вращательным или поступательным элементарным движением, которое сообщается исполнительному органу станка (шпинделю, столу и т. п.). Исключение составляет простая кинематическая группа с внутренней связью в виде винтовой пары, образующая винтовое (сложное) исполнительное движение.

Простое исполнительное движение с замкнутой траекторией настраивается по двум параметрам – скорости и направлению, а с незамкнутой траекторией – дополнительно на исходную точку и длину пути. В обоих случаях траектория исполнительного движения обеспечивается конструктивно кинематической парой, соответственно вращательной или поступательной, подвижным звеном которой является исполнительный орган (например, соответственно шпиндель или суппорт станка). В случае винтовой кинематической пары траекторией исполнительного движения является винтовая линия, шаг которой равен шагу винтовой направляющей.

Кинематическая группа движения $\Phi(B_1)$ (рис. 3.11, а) имеет внутреннюю связь в виде вращательной пары между шпинделем 1 и корпусом 2.

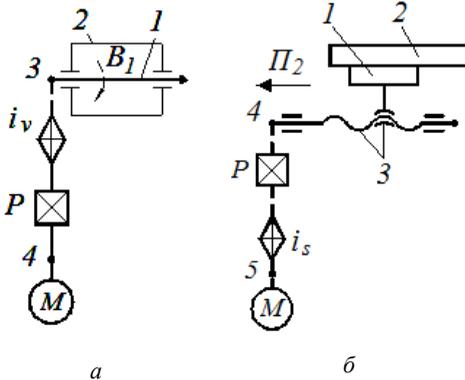


Рис. 3.11. Структурные схемы простых кинематических групп: а – вращательного движения; б – поступательного движения

Ее внешняя связь выполнена в виде кинематической цепи $4-P-i_v-3$ между двигателем M и звеном 3 соединения связей. В ней расположены орган настройки i_v на скорость и реверсирующий механизм P – для настройки направления движения.

Аналогично кинематическая группа прямолинейного движения $\Phi(\Pi_2)$ (рис. 3.11, б) имеет внутреннюю связь в виде поступатель-

одновременно и быть взаимосвязаны определенной зависимостью. Поэтому шпиндель 2 и суппорт 5 соединяются между собой кинематической цепью внутренней связи 8–7, обеспечивающей возможность винтового движения $\Phi_v(B_1P_2)$, а для реализации этой возможности источник движения (двигатель M) необходимо соединить кинематической цепью внешней связи со звеном соединения связей 10, принадлежащим кинематической цепи 8–7.

Для создания исполнительного движения с разными значениями параметров во внешней и внутренней связях необходимо расположить соответствующие органы настройки. Создаваемое движение $\Phi_v(B_1P_2)$ – сложное, с незамкнутой траекторией, и поэтому должно настраиваться на траекторию, скорость, направление, длину пути и исходное положение.

Для получения траектории в виде винтовой линии определенного шага и направления во внутренней связи необходимо предусмотреть два органа настройки: гитару сменных колес или коробку передач i_x (для настройки шага T резьбы) и реверсирующий механизм P_1 (для настройки на нарезание правой или левой резьбы). Таким образом, структура кинематической цепи внутренней связи: 8-10- P_1 - i_x -9-7.

Для настройки скорости и направления винтового движения во внешнюю связь нужно ввести соответственно орган i_v (коробку передач или гитару сменных шестерен) и реверсирующий механизм P_2 – следовательно, внешняя связь обеспечивается кинематической цепью 11- P_2 - i_v -10.

Для настройки на путь используются упоры, которые установлены на суппорте на расстоянии L друг от друга и воздействуют на путевые переключатели при его движении. Исходное положение (начало резьбы) задается установкой абсолютного положения тех же упоров на суппорте на размер H , сохраняя их относительное положение (размер L). Полученная таким образом совокупность двигателя, внешней и внутренней связей с размещенными в них органами настройки параметров исполнительного движения образует кинематическую группу винтового движения $\Phi_v(B_1P_2)$.

Второй пример относится к построению структуры кинематической группы, создающей трехэлементарное исполнительное движение $\Phi_v(B_1P_2P_3)$ при нарезании резцом однозаходной левой или правой конической резьбы на прямой или обратной конической поверхности с различной конусностью (рис. 3.13).

3.6. Методика синтеза структуры кинематической группы

Из изложенного следует, что для синтеза структуры любой кинематической группы необходимо:

выбрать исполнительные кинематические пары (вращательные, поступательные) в соответствии с создаваемыми группой элементарными движениями и при необходимости тяговые устройства;

соединить между собой кинематическими цепями внутренней связи подвижные звенья исполнительных пар (для сложных групп), разместить в них органы настройки траектории создаваемого группой исполнительного движения;

выбрать положение звена соединения внутренней и внешней связей группы;

соединить кинематической цепью внешней связи двигатель и звено соединения связей, разместить в ней остальные органы настройки создаваемого исполнительного движения.

Построение внешней и внутренней связей должно удовлетворять принятому способу соединения кинематических групп между собой.

4. СПОСОБЫ СОЕДИНЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ГРУПП

Кинематическая структура станка существенно зависит от способа соединения групп между собой. Применяя различные способы их соединения, можно получить множество вариантов кинематической структуры станка. При анализе кинематической структуры станка необходимо установить используемые способы соединения кинематических групп. Возможны следующие способы соединения кинематических групп между собой [11]:

через общее промежуточное или неподвижное исполнительное звено;

общий двигатель;

общую исполнительную кинематическую пару;

внутригрупповые (внутреннюю и внешнюю) кинематические связи;

межгрупповую кинематическую связь.

Возможны также комбинации этих способов соединения.

Способ соединения групп зависит от кинематических, конструктивных и технологических факторов, к которым относятся:

наличие или отсутствие в соединяемых группах совмещенных по траектории движений и общих исполнительных кинематических пар;

одновременность или разновременность исполнительных движений;

размерность скорости движения подачи (минутная, оборотная);

количество двигателей и другие факторы.

Рассмотрим некоторые типовые случаи соединения кинематических групп.

4.1. Соединение групп с не совмещенными по траектории движениями

В этом случае группы не имеют общих подвижных исполнительных звеньев. В зависимости от числа двигателей возможны два варианта: каждая группа имеет индивидуальный двигатель или число двигателей меньше числа кинематических групп. При наличии индивидуальных двигателей соединение групп может быть только конструктивным: например, несколько групп располагаются на станине станка. Конструктивное соединение групп применяется в структурах разных классов, например, в круглошлифовальном станке класса Э44 (рис. 4.1).

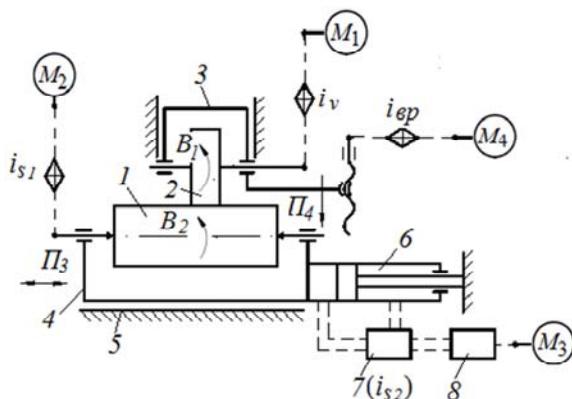


Рис. 4.1. Кинематическая структура станка с соединениями кинематических групп через промежуточные и неподвижные исполнительные звенья

Кинематическая структура этого станка объединяет четыре простые кинематические группы с индивидуальными двигателями:

группу движения резания $\Phi_v(B_1)$ (вращение шлифовального круга 2) с двигателем M_1 ;

группу движения круговой подачи $\Phi_{s1}(B_2)$ (вращение заготовки 1) с двигателем M_2 ;

группу движения продольной подачи $\Phi_{s2}(П_3)$ с гидроприводом, содержащим гидроцилиндр 6, устройство управления 7 и насос 8 с двигателем M_3 ;

группу врезания $Bp(П_4)$ с двигателем M_4 .

Группы движений $\Phi_v(B_1)$ и $Bp(П_4)$ связаны между собой через шлифовальную бабку 3 как через промежуточное исполнительное звено. Такое же соединение через промежуточное исполнительное звено 4 (стол) имеют группы $\Phi_{s1}(B_2)$ и $\Phi_{s2}(П_3)$.

Группа $\Phi_{s2}(П_3)$ соединяется с группой $Bp(П_4)$ через общее неподвижное звено 5 (станину). Таким образом, в данном станке кинематические группы связаны между собой через промежуточные или неподвижные исполнительные звенья.

Группы, имеющие общий двигатель, могут соединяться между собой или через этот двигатель, или через внешние связи. Например, в структуре токарного станка (рис. 4.2) внешняя связь $1-P_1-i_v-2-3$ группы главного движения $\Phi(B_1)$ и внешняя связь $1-P_1-i_v-2-i_s-P_2-4-5$ группы движения подачи $\Phi_s(П_2)$ имеют общий участок $1-P_1-i_v-2$. Благодаря этому сокращается протяженность кинематических цепей по сравнению с вариантом, когда общий участок отсутствует. Следует

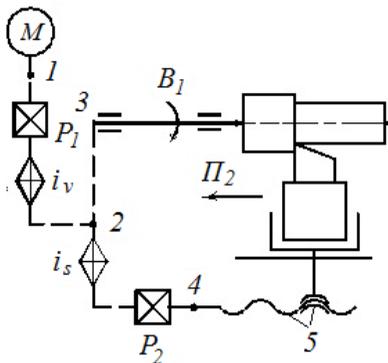


Рис.4.2. Структурная схема токарного станка

отметить, что общий участок может и не иметь органов настройки. Наличие или отсутствие последних зависит от принятой размерности скорости движения исполнительных органов. В схеме по рис. 4.2 частота вращения шпинделя имеет размерность мин^{-1} .

Перемещение суппорта часто задают в мм за один оборот шпинделя (на токарных, сверлильных и других станках). Если же орган настройки i_v перенести в участок

2–3, то в этом случае размерность частоты вращения шпинделя не изменится, а подачу будет удобнее задавать в мм/мин. Минутная подача характерна, в частности, для фрезерных и других станков, у которых привод подачи снабжен индивидуальным двигателем.

4.2. Соединение групп с совмещенными по траектории движениями

Кинематическая структура станка в данном случае существенно зависит от соотношения между числом движений и числом исполнительных пар. Возможны два варианта: или эти числа равны (общие исполнительные органы отсутствуют), или второе число меньше (имеются общие исполнительные пары).

Рассмотрим соответствующие указанным вариантам соединения кинематических групп двух движений: например, $\Phi_s(\Pi_2)$ и $Vcn(\Pi_1)$.

Первая структура (рис. 4.3, а) имеет две поступательные кинематические пары: одна находится между подвижными звеньями 1 и 2, а другая – между подвижным звеном 2 и неподвижным звеном 3.

Вторая структура (рис. 4.3, б) имеет одну поступательную исполнительную пару, общую для групп движений $\Phi_s(\Pi_1)$ и $Vcn(\Pi_2)$, которые соединены между собой по внешним связям через суммирующий механизм Σ , принадлежащий внешним связям обеих групп.

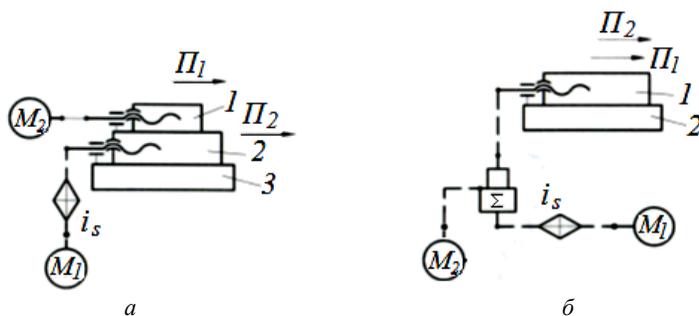


Рис. 4.3. Схемы соединения кинематических групп с совмещенными по траектории движениями:
 а – при независимых исполнительных органах;
 б – при общем исполнительном органе

Данная структура по сравнению с первой позволяет выполнить конструкцию исполнительного механизма станка более компактной и с более высокой жесткостью, благодаря уменьшению числа подвижных звеньев и, следовательно, стыков. Поэтому структуры рассматриваемого типа с общим исполнительным звеном чаще применяются в различных станках. В обоих рассмотренных примерах кинематические группы могут иметь общий двигатель. Тогда данные группы соединяются дополнительно через этот двигатель или через внешние связи.

4.3. Соединение сложных групп с общим исполнительным звеном

В структуре по рис. 4.3, б кинематические группы, имеющие общее исполнительное звено, соединены между собой через внешние связи, так как они являются простыми. Если же одна или обе группы сложные, то их соединение при общем исполнительном звене возможно либо по внутренним, либо по внутренним и внешним связям. Выбор способа соединения групп зависит от действия исполнительных движений во времени, которые могут быть одновременными или разновременными.

При одновременности движений, создаваемых на общем исполнительном звене разными группами, их соединение осуществляется с помощью суммирующего механизма и является параллельным. Такая структура характерна, например, для зубофрезерных станков при нарезании косозубых колес (рис. 4.4).

Формообразующая структура станка содержит две сложные кинематические группы: движения резания $\Phi_1(B_1B_2)$, которым образуется профиль нарезаемых зубьев; движения подачи $\Phi_3(\Pi_3B_4)$ для получения винтовой формы их боковых поверхностей. Класс кинематической структуры станка – C24.

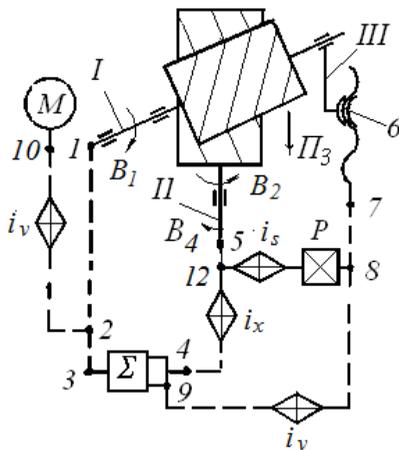


Рис. 4.4. Структурная схема зубофрезерного станка с параллельным соединением сложных кинематических групп

Исполнительное звено II (стол станка) принадлежит обеим группам и одновременно совершает независимые элементарные движения B_2 и B_4 . Группы соединены параллельно по кинематическим цепям внутренних связей: кинематическая цепь $1-2-3-\Sigma-4-i_x-5$ внутренней связи группы движения $\Phi_1(B_1B_2)$ и кинематическая цепь $6-7-8-i_y-9-\Sigma-4-i_x-5$ внутренней связи группы движения $\Phi_2(P_3B_4)$ соединены между собой через суммирующий механизм Σ и имеют общий участок $4-i_x-5$. Органы i_x и i_y служат для настройки траекторий указанных исполнительных движений.

4.4. Соединение кинематических групп при различной длительности движений

Если исполнительные движения, создаваемые различными группами, имеют разную длительность или выполняются последовательно, то возможно параллельное, последовательное или смешанное соединение групп через внутrigрупповые связи [11].

Параллельное соединение групп применяется, если совмещенные по траектории движения частично совпадают во времени. Признаком параллельного соединения групп является наличие в станке суммирующего механизма. На рис. 4.5 показано параллельное соединение сложной группы движения формообразования $\Phi_1(B_1B_2)$ с простой группой движения деления $D(B_3)$.

Внешняя связь $5-6-7-i_y-8$ второй группы подключена через суммирующий механизм Σ к кинематической цепи внутренней связи $3-i_x-2-\Sigma-4$ первой группы. Периодический характер движения $D(B_3)$ обеспечивается за счет подключения делительного устройства 7 с помощью кулачковой (однооборотной) муфты 6 к двигателю M_2 .

Таким образом, данная структура обеспечивает периодическое наложение движения деления на непрерывное движение формообразования. Органы P , i_y , i_x служат для настройки соответственно направления, скорости и траектории движения $\Phi(B_1B_2)$, а i_y – для настройки пути движения $D(B_3)$ – угла поворота исполнительного звена II .

Последовательное соединение групп применяется, если общее исполнительное звено поочередно участвует то в одном, то в другом движении. Последовательное соединение групп обеспечивается механизмом, разрывающим или вновь соединяющим внутреннюю или внешнюю кинематические цепи. Для этого служат специальные ку-

лачковые муфты, делительные диски и другие устройства. Обычно таким способом соединяют группы движений формообразования и деления.

Рассмотрим последовательное соединение кинематических групп в резьбофрезерном станке (рис. 4. 6), кинематическая структура которого основана на кинематической схеме обработки, изображенной на рис. 1.1. Группа движения деления $D(B_4)$ последовательно соединяется с группой винтового движения $\Phi_s(B_2\Pi_3)$, что позволяет нарезать на нем многозаходные резьбы.

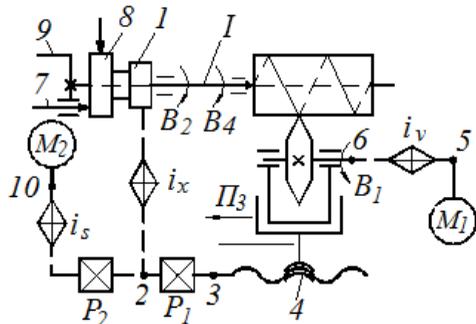


Рис. 4.6. Кинематическая структура резьбофрезерного станка с последовательным соединением кинематических групп

Затем фиксатор 7 вводят в отверстие делительного диска 8, то есть замыкают винторезную цепь, обрабатывают второй заход и т. д. Последовательное соединение кинематических групп часто применяется в станках для нарезания конических зубчатых колес, когда по завершению цикла обработки каждой впадины заготовке сообщается поворот на угол между впадинами (движение деления).

Смешанное (параллельно-последовательное) соединение групп основано на разложении одного сложного движения на два менее сложных. Для этого внутренняя связь сложной группы должна

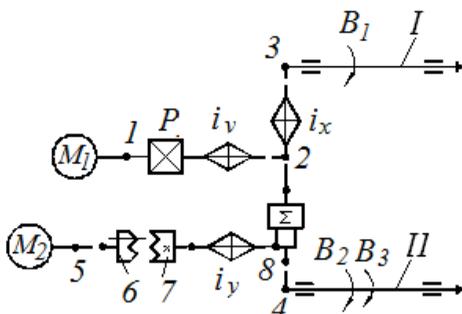


Рис. 4.5. Структурная схема с параллельным соединением кинематических групп

После обработки одного захода движение $\Phi_s(B_2\Pi_3)$ отключается и выполняется операция деления. Для этого фиксатор 7 выводится из отверстия неподвижного делительного диска 8, отключая тем самым шпиндель 1 от внутренней связи, и с помощью рукоятки 9 шпиндель с заготовкой поворачивают на угол $2\pi/k$, где k – число заходов нарезаемой резьбы.

иметь реверсирующий механизм, работающий без относительного проскальзывания ведомого и ведущего элементов в момент реверса. При реверсировании элементарного движения, находящегося на общем исполнительном звене, сохраняется только простое движение деления. Такая кинематическая структура характерна, например, для затыловочных станков.

Рассмотрим пример построения частной кинематической структуры токарно-затыловочного станка при затыловании дисковой фрезы (рис. 4.7, а). Формообразование задней поверхности зубьев фрезы 6 осуществляется сложным движением $\Phi_v(B_1\Pi_2)$, образованным согласованным вращением B_1 шпинделя I с затылуемой фрезой и прямолинейным перемещением Π_2 суппорта Π , несущего режущий инструмент (резец или шлифовальный круг). Движение Π_2 обеспечивается кулачком 5, соединенным со шпинделем I внутренней связью 1-2- i_x -3 группы $\Phi_v(B_1\Pi_2)$.

Кроме движения формообразования, для затылования всех зубьев фрезы необходимо также движение деления, которое должно быть вращательным, так как зубья расположены по окружности. Движение деления $D(B_1)$ создается элементарным движением B_1 , входящим в состав движения формообразования $\Phi_v(B_1\Pi_2)$, за счет разложения последнего на два простых движения: делительное $D(B_1)$ – для осуществления процесса деления и вспомогательное $B_{сн}(\Pi_3)$ – для возвращения суппорта Π в исходное положение.

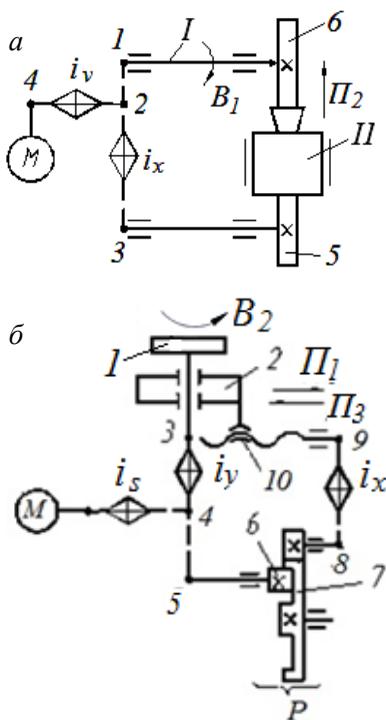


Рис. 4.7. Кинематическая структура со смешанным соединением групп формообразования и деления:

- а – затыловочного станка;
- б – зубошлифовального станка

Разложение сложного движения формообразования на два простых и его восстановление производится кулачковым механизмом, который, являясь тяговым устройством, выполняет также функцию реверсирующего механизма.

Поскольку движение B_1 не прекращается до окончания затылования всех зубьев фрезы, процесс деления осуществляется непрерывно: вначале одновременно с процессом формообразования (движение $\Phi_v(B_1P_2)$), а затем отдельно (движение $D(B_1)$). Достигается это благодаря параллельно-последовательному соединению кинематических групп.

Аналогично соединяются группы движения формообразования профиля зубьев и движения деления при шлифовании по методу обкатки дисковым кругом цилиндрического зубчатого колеса (рис. 4.7, б). Процесс формообразования профиля зубьев основан на воспроизведении речного зацепления за счет вращения B_2 стола 1 с заготовкой, согласованного цепью обката $3-i_y-4-5-6-P-8-i_x-9-10$ с прямолинейным движением Π_1 каретки 2. Настройка траектории движения обката $\Phi_s(\Pi_1B_2)$ осуществляется гитарой i_x .

Для исключения возможности разрыва кинематической цепи при переходе от движения Π_1 к движению Π_3 и обратно в цепи обката установлен работающий без проскальзывания реверсирующий механизм P с составным колесом 7, совершающим качательное движение при постоянном направлении вращения ведущего колеса 6. Поэтому при постоянном по направлению вращении B_2 движение Π_1 каретки периодически меняется на противоположное по направлению движение Π_3 . В этот момент движение обката $\Phi_s(\Pi_1B_2)$ прекращается, элементарное движение B_2 становится движением деления $D(B_2)$, а движение Π_1 заменяется вспомогательным движением $Vcn(\Pi_3)$, возвращающим каретку в исходное положение. Настройка движения $D(B_2)$ на путь производится гитарой i_y .

За время выполнения движения $Vcn(\Pi_3)$ осуществляется деление: переход к обработке следующего зуба шлифуемого колеса. Затем это движение меняется на Π_1 , восстанавливается движение обката $\Phi_s(\Pi_1B_2)$, и процесс повторяется до обработки всех зубьев. Так как вращение B_2 происходит непрерывно, то, как и в предыдущем примере, процесс деления осуществляется постоянно, вначале одновременно с процессом формообразования, затем отдельно, что обеспечивается благодаря параллельно-последовательному соединению кинематических групп.

5. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СТАНКОВ

Из методики синтеза кинематической группы следует, что он включает построение ее внутренней и внешней связей, выбор положения звена соединения связей и размещение в них органов настройки. Соединением кинематических групп образуется структура станка. В этой связи оптимизация кинематической структуры отдельных групп и станка в целом предполагает обоснованность решений по каждому этапу ее синтеза, исходя из того, что кинематическая структура должна обеспечивать как процесс формообразования поверхности, так и благоприятные условия резания (например, постоянство или изменение по определенному закону скорости формообразующего движения, стабилизацию рабочих углов инструмента и т. д.). Приведенные ниже рекомендации носят общий характер и справедливы для станков различного назначения.

Оптимизация структуры внешней и внутренней связей. Задача синтеза рациональной структуры внешней связи связана с обоснованием выбора расположения органов настройки в кинематической цепи между двигателем и звеном соединения связей, в частности, на основе условий минимизации габаритов и веса привода, обеспечения его быстроедействия и других требований.

Для уменьшения веса привода рекомендуется, чтобы максимальное возможное число зубчатых передач с минимальным модулем располагалось в начале кинематической цепи. Поэтому в приводах главного движения реверсирующий механизм часто размещают до органа настройки скорости (токарно-винторезные станки). Такой вариант размещения органов настройки не является рациональным с точки зрения обеспечения благоприятных динамических условий работы механизмов станка из-за увеличения числа передач и, следовательно, движущихся масс между реверсирующим механизмом и исполнительным органом. Поэтому в приводах главного движения небольшой мощности, а также при необходимости максимального сокращения времени реверсирования реверсирующий механизм устанавливают после органа настройки скорости (токарно-револьверные станки).

В приводах подачи, учитывая небольшую передаваемую мощность, а также для удобства управления реверсирующий механизм

обычно размещают перед тяговым устройством (универсальные токарные и фрезерные станки).

Важным требованием к структуре внешней связи кинематической группы с неравномерными движениями исполнительных органов является стабилизация скорости исполнительного движения для обеспечения рациональных условий резания. Это возможно при непрерывном изменении по определенной зависимости передаточного отношения кинематической цепи внешней связи или частоты вращения двигателя. На этом основана кинематическая структура внешней связи группы движения обката $\Phi_s(B_1B_2)$ зубодолбежного станка для обработки некруглых зубчатых колес некруглым долбяком (рис. 5.1, а).

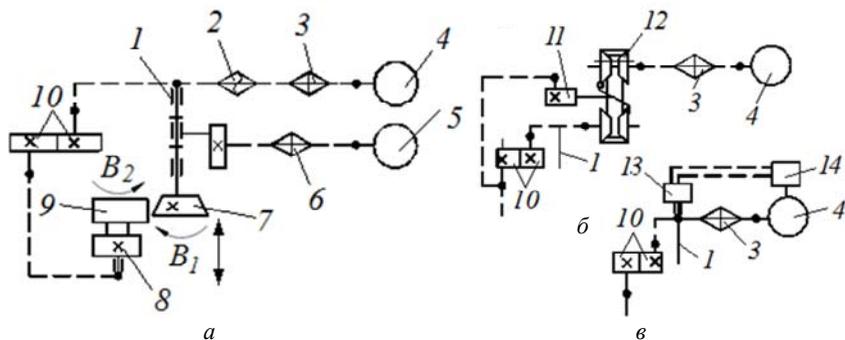


Рис. 5.1. Структурные схемы групп движений резания и обкатки (а) и вариантов приводов круговой подачи (б, в) зубодолбежного станка

Внутренняя связь этой группы расположена между штосселем 1 и столом 8 и содержит гитару 10 некруглых колес, обеспечивающую передаточное отношение пары некруглых колес, образуемой в станочном зацеплении долбяком 7 и нарезаемым колесом 9.

Внешняя связь рассматриваемой группы соединяет двигатель 4 с одним из звеньев внутренней связи через органы настройки 3 и 2, первым из которых (коробкой или гитарой подач) задаются абсолютные значения, а вторым – закон изменения круговой подачи. Это обеспечивает постоянную или изменяющуюся по требуемому закону круговую подачу, что позволяет стабилизировать условия резания, повысить производительность и точность обработки.

Конструктивно орган настройки 2 может быть выполнен в виде вариатора (рис. 5.1, б) и кинематической цепи, связывающей его регулятор скорости 11 с одним из звеньев цепи между гитарой 10 и столом 8. Функция органа 2 может выполняться также двигателем 4, управляемым, например, системой 14 (рис. 5.1, в), связанной через датчик 13 со штосселем 1.

При синтезе структуры внутренних связей важно учитывать особенности формообразования поверхности с целью, например, создания одинаковых условий резания. Решение этой задачи представляет путь оптимизации структуры внутренней связи.

Рассмотрим его на примере обработки винтовых поверхностей резьб переменного шага. Их обработка на известных станках [6] осуществляется неподвижным относительно суппорта резцом, поэтому вследствие переменности шага резьбы непрерывно изменяются рабочие углы резца.

Это, с одной стороны, существенно ограничивает технологические возможности станка по диапазону изменения шага резьбы, а с другой, не позволяет реализовать оптимальную геометрию инструмента и режимы резания.

На рис. 5.2 изображена структурная схема станка для обработки резьб и шлицев переменного шага, внутренняя связь группы винтового движения которого обеспечивает постоянную ориентацию инструмента относительно обрабатываемых поверхностей.

Шпиндель 4, несущий заготовку 5, соединен с продольным суппортом 9 винторезной цепью внутренней связи, содержащей орган настройки 12 и механизм изменения шага 14, который может быть выполнен в виде любого устройства с переменным передаточным отношением – некруглых колес, вариатора и т.п. Во внутренней связи расположена также цепь ориентации инструмента, которая соеди-

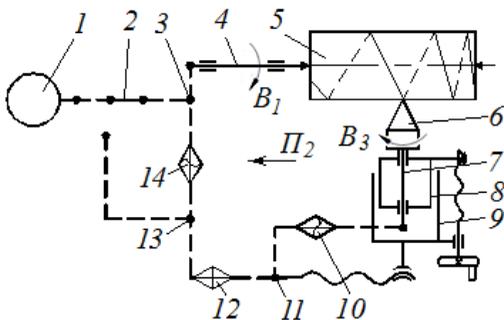


Рис. 5.2. Структурная схема станка для обработки винтовых поверхностей переменного шага

няет звено 11 винторезной цепи с поворотным резцедержателем 7, установленным в поперечном суппорте 8.

Благодаря наличию этой цепи, одновременно с вращением шпинделя 4 и перемещением суппорта 9 резцедержатель 7 получает непрерывный поворот, который задается органом 10 так, что передняя поверхность резца имеет неизменную ориентацию относительно направления траектории винтового движения. Благодаря этому рабочие углы постоянны при изменении шага обрабатываемой поверхности, что позволяет осуществить обработку при оптимальной геометрии резания, повысить производительность и стойкость инструмента, расширить технологические возможности станка по диапазону изменения шага обрабатываемой поверхности.

Выбор положения звена соединения связей. В рассматриваемом станке реализован также путь оптимизации кинематической структуры, состоящей в *рациональном выборе положения звена соединения связей*, от которого зависит характер движений исполнительных органов. Если оно находится между шпинделем 4 и механизмом изменения шага 14 и имеет постоянную частоту вращения, то в процессе обработки шпиндель вращается с постоянной частотой, а суппорт перемещается с переменной скоростью. Если же звено расположено между механизмом 14 и суппортом 9, то характер движений исполнительных органов станка противоположный.

Скорость движения формообразования и, следовательно, производительность изменяются незначительно на всей длине обработки, если при нарезании резьб переменного шага неравномерное движение сообщается инструменту, а при обработке шлицев – заготовке [3]. Для осуществления этих вариантов обработки в структуре предусмотрены два звена – 3 и 13 – соединения связей, а во внешнюю связь введен механизм переключения 2, с помощью которого движение от двигателя 1 передается одному из этих звеньев.

Итак, кинематическая структура станка позволяет реализовать два способа обработки, один из которых эффективен для резьб, а второй – для шлицев переменного шага, благодаря чему обеспечиваются условия высокопроизводительной обработки на всем диапазоне технологических возможностей станка. Достигается это соответствующим выбором положения звена соединения связей.

Рациональное размещение органов настройки в кинематических связях. Рекомендации по рациональному расположению орга-

нов настройки во внешних связях приведены выше. Они относятся к простым и сложным кинематическим группам. Для сложной, не связанной с другими кинематической группы рассматриваемая задача сводится к распределению органов настройки между внешней и внутренней связью. Для повышения кинематической точности станка во внутренней связи следует располагать только органы настройки траектории исполнительного движения. Пример такого размещения приведен на рис 3.12: в кинематической цепи внутренней связи $8-10-P_1-i_x-9-7$ группы винтового движения расположены органы настройки i_x на шаг нарезаемой резьбы и реверсирующий механизм P_1 для задания ее направления. Во внешней связи установлены орган настройки i_v и P_2 соответственно скорости и направлению исполнительного движения $\Phi(B_1\Pi_2)$.

Если же органы i_v и P_2 перенести во внутреннюю связь, то неизбежно понизится ее кинематическая точность из-за увеличения числа передач. Кроме того, в этом случае усложнится и настройка станка, так как при перенастройке органа i_v для обеспечения заданного шага нарезаемой резьбы требуется перенастраивать также орган i_x .

Размещение органов настройки во внутренней связи зависит от соотношения скоростей элементарных движений исполнительных органов, технологических и конструктивных факторов. Проиллюстрируем это на примере резбонарезного станка (см. рис. 3.12).

Реверсирующий механизм P_1 для задания направления резьбы должен быть расположен только после звена 10 соединения связей, так как правая и левая резьбы нарезаются при одинаковом направлении вращения шпинделя. Положение органа настройки шага нарезаемой резьбы зависит от соотношения скоростей элементарных движений B_1 и Π_2 и выбирается так, чтобы его передаточное отношение было понижающим. В этом случае обеспечиваются более благоприятные динамические условия работы механизмов станка. Поэтому при нарезании резьб с нормальным шагом (не более чем в 2 раза превышающим шаг ходового винта) орган i_x следует располагать между звеном соединения связей и суппортом. При нарезании резьб с увеличенным шагом более рационально расположение органа i_x между звеном 10 соединения связи и шпинделем 2.

Более сложная задача – размещение органов настройки в станках со сложной и комбинированной структурой, имеющей во внешних и внутренних связях автономные и общие для нескольких групп участки.

Например, внутренние связи кинематических групп движений $\Phi_v(B_1B_2)$ и $\Phi_s(\Pi_3B_4)$ зубофрезерного станка (см. рис. 4.4) имеют общий участок $4-i_x-5$ и присоединенные к нему через суммирующий механизм автономные участки $1-2-3$ и $6-7-8-i_y-9$. При этом орган настройки траектории движения $\Phi_v(B_1B_2)$ (гитара сменных колес i_x) расположен в общем участке $4-5$, а орган настройки траектории движения $\Phi_s(\Pi_3B_4)$ (гитара i_y) – в автономном участке $6-9$. Доказано [11], что при таком расположении органов настройки в кинематических связях по сравнению с другими вариантами обеспечивается минимальная трудоемкость перенастройки зубофрезерного станка на обработку другого колеса или при изменении режимов резания.

Следовательно, размещение органов настройки в кинематических связях не должно быть произвольным, а выбираться на основе анализа возможных вариантов.

Совмещение внешней и внутренней связей. Совершенствование кинематики станков в направлении ее упрощения достигается совмещением внешней и внутренней связей кинематических групп, что обеспечивается при построении кинематической структуры на базе электромеханических и мехатронных модулей (см. рис. 3.1, б, з) и числовом программном управлении приводами координатных перемещений.

В этом случае упрощается кинематика, а благодаря исключению большинства механических передач с присущими им погрешностям повышается кинематическая точность станка.

На этом основана кинематическая структура станка для обработки винтовых канавок переменного шага (рис. 5.3), исполнительные органы которого, снабженные индивидуальными двигателями, соединены между собой мехатронными кинематическими связями.

Кинематическая группа винтового движения подачи $\Phi_s(B_2\Pi_3)$ имеет совмещенную внешнюю и внутреннюю связи, которые включены в винторезную кинематическую цепь между шпинде-

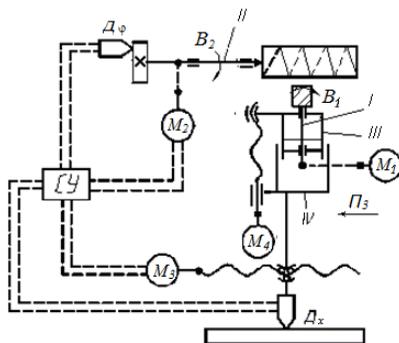


Рис. 5.3. Структурная схема станка с мехатронными связями для нарезания винтовых канавок

лем II и суппортом IV . Данная цепь содержит связанные с системой числового программного управления $СУ$ регулируемые двигатели M_2 и M_3 , первый из которых соединен со шпинделем II , а другой – с ходовым винтом тягового устройства суппорта IV .

Для повышения точности согласования движений B_2 и II_3 , задаваемого системой управления в соответствии с законом изменения шага обрабатываемых винтовых канавок, кинематическая группа движения $\Phi_s(B_2II_3)$ снабжена системой обратной связи, которая содержит связанные с системой управления датчик D_ϕ угла поворота шпинделя II и линейный датчик положения D_x продольного суппорта IV .

Таким образом, оптимизация структуры внешних и внутренних связей, обоснованный выбор звена их соединения и их совмещение, рациональное размещение органов настройки в кинематических связях представляют практические пути совершенствования кинематической структуры станков. Они могут быть использованы при синтезе структур различных по назначению металлорежущих станков.

Объединение кинематических групп. Объединением кинематических групп упрощается кинематическая структура станка. Это возможно, например, при замене дифференциальной структуры бездифференциальной. При этом должны выполняться следующие условия:

слагаемые движения создаются общим источником (в механических системах) или согласованы системой управления (станки с ЧПУ);

слагаемые движения одновременны, то есть начинаются в один момент времени и имеют одинаковую длительность;

слагаемые движения имеют одну и ту же скоростную характеристику, то есть они или равномерны, или изменяются по одному закону.

Рассмотрим данную задачу применительно к универсальным зубофрезерным станкам, работающим по методу обкатки. Кинематическая структура такого станка дифференциального типа изображена на рис. 4.4. Она имеет две параллельно соединенные посредством суммирующего механизма Σ кинематические группы движений резания $\Phi_v(B_1B_2)$ и подачи $\Phi_s(II_3B_4)$. В данном случае имеет место физическое сложение элементарных движений B_2 и B_4 , сообщаемых столу с заготовкой.

С позиций процесса формообразования безразлично, каким образом получено вращение стола, равное алгебраической сумме движений $B_2 \pm B_4$. Поэтому вместо физического (с помощью сумми-

6. МЕТОДИКА И ПРИМЕР СИНТЕЗА КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СТАНКА

Исходными данными для разработки кинематической структуры станка являются:

- технологическое назначение станка и область его применения;
- форма обрабатываемых на станке поверхностей;
- метод обработки, его особенности (фрезерование, фрезоточение, диагональное зубофрезерование и т. п.), режущий инструмент;
- требования к универсальности станка, степени его автоматизации, система управления.

Кинематическую структуру станка рекомендуется разрабатывать в следующей *последовательности*:

1. составить для каждой из заданных поверхностей кинематическую схему обработки или выполнить анализ заданной схемы обработки;
2. построить частную кинематическую структуру станка для обработки каждой поверхности и полную кинематическую структуру станка как объединение всех частных структур;
3. обосновать размещение органов настройки параметров создаваемых движений во внешних и внутренних связях кинематических групп;
4. вывести формулы настройки органов настройки по известной методике, включающей составление расчетных перемещений (РП) для расчетной кинематической цепи, содержащий рассматриваемый орган настройки, составление уравнения кинематической цепи УКЦ, вывод формулы настройки ФН.

Пример синтеза кинематической структуры станка

Требуется разработать структурную схему специального станка для обработки некруглых цилиндрических поверхностей эксцентрично установленной цилиндрической фрезой по известной схеме обработки [3] (рис. 6.1). Задача решается по изложенной выше методике.

1. Анализ кинематической схемы обработки. В процессе обработки заготовке 1 (см. рис. 6.1) сообщается вращение B_1 вокруг ее оси 2, а инструменту 3 – согласованное с ним вращение B_2 вокруг оси 5, параллельной его геометрической оси 4, с частотой в m раз

большей частоты вращения заготовки, где m – число граней (выступов) у обработанной поверхности.

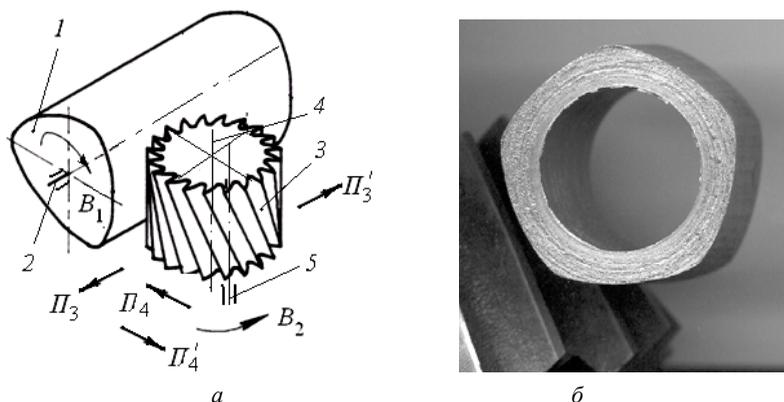


Рис. 6.1. Кинематическая схема обработки некруглой поверхности (а), образец детали с некруглой поверхностью и фрагмент режущей части инструмента (б)

Формируемая некруглая поверхность профилируется методом прерывистого обката, а по длине образуется методом касания. Согласованные вращательные движения инструмента B_1 и заготовки B_2 , образуют сложное движение профилирования $\Phi_v(B_1B_2)$ с незамкнутой траекторией, которое должно настраиваться на траекторию, скорость и направление. Формирование некруглой цилиндрической поверхности по длине обеспечивается прямолинейным движением подачи $\Phi_s(\Pi_3)$, которое должно настраиваться на скорость, направление, исходную точку и длину пути.

Для обеспечения цикла обработки поверхности, кроме указанных движений формообразования, на станке необходимы также:

относительное перемещение инструмента и заготовки в радиальном направлении – установочное движение $Усм(\Pi_4)$ и вспомогательное движение $Всн_1(\Pi_4)$ – перемещение в обратном направлении в исходное положение;

вспомогательное перемещение $Всн_2(\Pi_3)$ вдоль оси заготовки, противоположное движению $\Phi_s(\Pi_3)$, для перемещения инструмента в исходное положение.

Установочное и вспомогательные движения настраиваются на скорость, направление и длину пути.

Для распределения движений между исполнительными органами принимается типовая для обработки деталей типа валов технологическая компоновка станка, которая включает четыре подвижных органа (по количеству необходимых координатных перемещений):

- инструментальный шпиндель *I*;
- несущий заготовку шпиндель *II*;
- продольный *III*;
- поперечный *IV* суппорты (рис. 6.2).

Для упрощения конструкции станка элементарные движения, образующие сложное движение $\Phi_v(B_1B_2)$, распределены между шпинделями *I* и *II*. Движение подачи, установочное и вспомогательные движения сообщаются инструменту.

2. Разработка кинематической структуры станка.

Все указанные выше исполнительные движения выполняются при обработке некруглой цилиндрической поверхности и реализуются одной кинематической структурой станка. С учетом схемы обработки и состава исполнительных движений кинематическая структура станка должна содержать кинематические группы движений $\Phi_v(B_1B_2)$, $\Phi_s(\Pi_3)$, $U_{ст}(\Pi_4)$, $V_{сн1}(\Pi_4)$ и $V_{сн2}(\Pi_3)$.

Группа движения резания $\Phi_v(B_1B_2)$ – сложная, ее внутренняя связь выполнена в виде кинематической цепи, связывающей между собой шпиндели *I* и *II*, совершающие элементарные движения соответственно B_1 и B_2 .

Внутренняя связь этой группы обеспечивает траекторию исполнительного движения, зависящую от числа граней (выступов) m у обработанной некруглой поверхности, поэтому в ней расположен орган настройки i_x для настройки на число граней. Соотношение направлений элементарных движений B_1 и B_2 целесообразно настраивать органом i_x , так как при введении во внутреннюю связь реверсирующего механизма возрастает ее кинематическая погрешность.

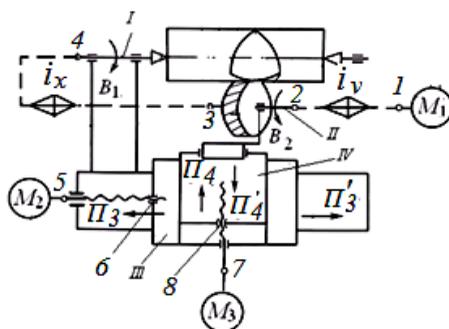


Рис. 6.2. Структурная схема станка для обработки профильных цилиндрических поверхностей

Таким образом, внутренняя связь кинематической группы движения $\Phi_v(B_1 B_2)$ содержит две вращательные кинематические пары, подвижные звенья которых (шпиндели I и II) соединены между собой кинематической цепью $3-i_x-4$.

Кинематическая цепь внешней связи группы движения $\Phi_v(B_1 B_2)$ соединяет двигатель M_1 со шпинделем I через орган настройки i_v частоты его вращения. Направление вращения B_1 задается двигателем M_1 , что характерно для фрезерных станков. При применении двигателя с необходимым диапазоном регулирования орган настройки i_v не требуется.

Группа движения подачи $\Phi_s(II_3)$ простая, ее внутренняя связь состоит из поступательной кинематической пары, подвижным звеном которой является продольный суппорт III . Внешняя связь этой группы $5-6$ выполнена в виде винтовой передачи 6 , ходовой винт которой соединен через звено 5 с регулируемым по скорости и направлению двигателем M_2 , что характерно для современных станков.

Группы движений $\Phi_v(B_1 B_2)$ и $\Phi_s(II_3)$ не имеют общих исполнительных звеньев и совмещенных по траектории элементарных движений, поэтому они соединены между собой через неподвижные звенья без межгрупповых связей.

При реверсировании двигателя M_2 вместо движения $\Phi_s(II_3)$ выполняется вспомогательное движение $Vcn_2(II_3)$. Настройка параметров этих движений осуществляется системой управления программными средствами.

Группы движений $\Phi_s(II_3)$ и $Vcn_2(II_3)$ конструктивно совмещены. Аналогично совмещены между собой и группы движений $Vcm(II_4)$ и $Vcn_1(II_4)$, которые осуществляются двигателем M_3 , связанным с внутренней связью кинематической цепью внешней связи $7-8$.

Основная (формообразующая) часть кинематической структуры содержит сложную и простую кинематические группы движений формообразования, поэтому кинематическая структура станка комбинированная типа $K23$.

3. Расчет настройки станка. Выведем формулы настройки органов i_v и i_x . Рассматриваются расчетные кинематические цепи, содержащие эти органы настройки, соответственно кинематическая цепь вращения инструментального шпинделя и кинематическая цепь внутренней связи (цепь обкатки).

Расчетные перемещения для цепи вращения инструментального шпинделя:

$$\text{РП: } n_3 \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{\text{шп}} \text{ мин}^{-1},$$

где n_3 – частота вращения электродвигателя, мин^{-1} ;

$n_{\text{шп}}$ – частота вращения шпинделя, мин^{-1} (определяется по режимам резания).

Уравнение кинематической цепи:

$$\text{УКЦ: } n_{\text{шп}} = n_3 i_{0v} i_v,$$

где i_{0v} – передаточное отношение постоянных передач цепи 1–2;

i_v – передаточное отношение органа настройки.

Формула настройки органа i_v

$$\text{ФН: } i_v = C_v n_{\text{шп}},$$

где C_v – постоянная рассматриваемой кинематической цепи, определяемая после проектирования кинематической схемы станка.

Орган настройки i_x расположен в кинематической внутренней связи, соединяющей шпиндели I и II. Для этой цепи имеем:

РП: 1 оборот шпинделя I \rightarrow $1/m$ оборота шпинделя II.

$$\text{УКЦ: } 1/m = 1 i_{0x} i_x,$$

где i_{0x} – постоянная расчетной цепи;

i_x – передаточное отношение органа настройки;

m – число граней обработанной поверхности.

$$\text{ФН: } i_x = C/m,$$

где значение постоянной C определяется на основе параметров передач, входящих в цепь деления.

Для повышения кинематической точности цепи профилирования, за счет сокращения в ней количества механических передач, в разработанной кинематической структуре (см. рис. 6.2) она может быть заменена на электромеханическую (см. рис. 3.9, б) или мехатронную (см. рис. 3.9, в) [12].

Кинематические структуры различных станков описаны в [1–12].

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голембиевский, А.И. Основы системологии способов формообразующей обработки в машиностроении / А.И. Голембиевский / под ред. В.А. Петрова. – Минск : Наука и техника, 1986. – 168 с.
2. Голембиевский, А.И. Станочное оборудование: учеб. метод. комплекс для студентов спец-ти 1- 36 01 01, 1- 36 01 03/ А.И. Голембиевский. – Новополоцк : ПГУ, 2006. – 296 с.
3. Данилов, В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием / В.А. Данилов. – Минск : Наука и техника, 1995. – 264 с.
4. Данилов, В.А. Проектирование кинематики металлорежущих станков : пособие по курсу «Конструирование и расчет станков» / В.А. Данилов. – Новополоцк : ПГУ, 2008. – 228 с.
5. Конструирование и оснащение технологических комплексов / А.М. Русецкий [и др.]; под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск : Беллар. навука, 2014. – 316 с.
6. Металлорежущие станки : в 2 т. / под ред. Н.С. Ачеркана. – Москва : Машиностроение, 1965. Т. 1. – 764 с.
7. Металлорежущие станки : учебник для машиностр. вузов / под ред. В.Э. Пуша. – Москва : Машиностроение, 1985. – 575 с.
8. Металлорежущие станки : учеб. пособие для вузов / Н.С. Колев, Л.В. Красниченко, Н.С. Никулин и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1980. – 500 с.
9. Сотников, В.И. Станочное оборудование машиностроительного производства : учебник в 2-х ч. / В.И. Сотников, А.Г. Схиртладзе, Г.А. Харламов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ст. Оскол : ТНТ, 2015. – Ч. 1. – 416 с.
10. Схиртладзе, А.Г. Технологическое оборудование машиностроительных производств. Общие сведения. Станки токарной и сверлильно-расточной групп : учеб. пособие / А.Г. Схиртладзе, Т.И. Иванова, В.П. Борискин. – Ст. Оскол : ТНТ, 2015. – 308 с.
11. Федотенок, А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А.А. Федотенок. – Москва : Машиностроение, 1970. – 403 с.
12. Данилов, А.А. Синтез и анализ кинематической структуры станков для обработки некруглых валов / А.А. Данилов // Тр. молодых специалистов Полоц. гос. ун-та. – Полоцк, 2014. – Вып. 75 «Промышленность». – С. 84–87.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Исполнительные движения в станках	5
2. Понятие о кинематической структуре станка	10
3. Синтез структуры кинематической группы	12
3.1. Структурные элементы кинематических связей	13
3.2. Синтез функциональных связей кинематических групп	16
3.3. Типовые структуры внутренних и внешних связей	20
3.4. Синтез кинематической структуры простых кинематических групп	23
3.5. Синтез кинематической структуры сложных кинематических групп	24
3.6. Методика синтеза структуры кинематической группы	27
4. Способы соединения кинематических групп	27
4.1. Соединение групп с не совмещенными по траектории движениями	28
4.2. Соединение групп с совмещенными по траектории движениями	30
4.3. Соединение сложных групп с общим исполнительным звеном	31
4.4. Соединение кинематических групп при различной длительности движений	32
5. Совершенствование кинематической структуры станков	36
6. Методика и пример синтеза кинематической структуры станка	44
Список рекомендуемой литературы	49

Учебное издание

ДАНИЛОВ Виктор Алексеевич
ДАНИЛОВ Александр Алексеевич

**АНАЛИЗ И СИНТЕЗ
КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ
МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

Пособие для студентов специальностей 1-36 01 03
«Технологическое оборудование машиностроительного
производства» и 1-36 01 01 «Технология машиностроения»

Редактор *Т. В. Мейкшане*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 30.08.2018. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 2,96. Уч.-изд. л. 2,32. Тираж 200. Заказ 346.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.