

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»

А. Р. Маслов

Проектирование технологической оснастки

Курс лекций

Учебное пособие



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н.Э. Баумана

2025

УДК 621. 7 (075.8)
ББК 34. 5я7
М34

Издание доступно в электронном виде по адресу
<https://press.bmstu.ru/catalog/item/8381/>

Факультет «Машиностроительные технологии»
Кафедра «Инструментальная техника и технологии»

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

Рецензент

д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой высокоэффективных технологий
обработки МГТУ «СТАНКИН» *С.Н. Григорьев*

Маслов, А. Р.

М34 Проектирование технологической оснастки. Курс лекций: учебное пособие для вузов. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2025. — 134, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-6450-0

В форме отдельных лекций изложены сведения, необходимые при проектировании приспособлений для установки заготовок деталей и при разработке систем модульной инструментальной оснастки, применяемых при механической обработке в машиностроительных производствах.

Для студентов, проходящих подготовку по специальности 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов», при изучении дисциплины «Проектирование технологической оснастки».

УДК 621. 7 (075.8)
ББК 34. 5я71



Уважаемые читатели! Пожелания, предложения, а также сообщения о замеченных опечатках и неточностях Издательство просит направлять по электронной почте: press@bmstu.ru

ISBN 978-5-7038-6450-0

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025

Предисловие

Пособие подготовлено для самостоятельной проработки студентами дисциплины «Проектирование технологической оснастки», входящей в образовательную программу специалитета по направлению подготовки 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов», в которой особое место занимает развитие навыков определения требований к надежности, точности и жесткости технологической оснастки как составляющей технологических систем станков — приспособление — деталь — инструмент.

Целью пособия является приобретение теоретических знаний и практических навыков в области расчета и конструирования технологической оснастки с учетом требований к точности и жесткости установки изделий и режущих инструментов на металлорежущих станках.

В результате освоения материала пособия у обучающихся должны развиваться такие компетенции, как:

- способность применять стандартные методы расчета при проектировании систем станочных приспособлений, использовании различных приводов приспособлений, изделий и узлов приспособлений;
- способность выбирать необходимые технические данные для обоснованного принятия решений по проектированию систем инструментальной оснастки.

Для изучения курса проектирования технологической оснастки необходимо предварительное освоение следующих дисциплин:

- металлорежущее оборудование;
- основы теории резания;
- технология машиностроения;
- проектирование операций механической обработки;
- метрология.

Пособие структурировано в виде лекций по модульному принципу в соответствии с рабочей программой дисциплины «Проектирование технологической оснастки».

Модуль 1 «Проектирование приспособлений для установки изделий» (лекции 1–11) посвящен типовым станочным приспособлениям по видам обработки, их приводам и зажимным устройствам для установки изделий. В нем представлена классификация приспособлений по степени их унификации и агрегатирования, рассмотрены типовые зажимные устройства и их приводы. Даны основы расчета сил, необходимых для надежного закрепления изделий при выполнении типовых технологических переходов обработки резанием.

В конце модуля приведены методические рекомендации по проектированию приспособлений для серийного производства изделий машиностроения и методика проектирования с примерами расчетов.

Модуль 2 «Инструментальная оснастка» (лекции 12–16), посвященный системному изучению вспомогательного инструмента, содержит краткую информацию о системах модульной инструментальной оснастки и о современных тенденциях в области ее конструирования. В этом модуле приведены сведения, необходимые для расчета размеров и допускаемых отклонений модулей вспомогательного инструмента с использованием теории пространственных размерных цепей. Рассмотрены методики расчета размерных цепей сборок инструмента из модулей и их жесткости. Описана теория расчета силовых параметров зажимных патронов. Даны методики расчета сил и моментов сил, передаваемых вспомогательным инструментом и необходимых для надежного закрепления твердосплавных инструментов при выполнении переходов концевой фрезерования и сверления.

Материал каждой лекции завершают задания и вопросы для самостоятельного контроля. В приложении 1 описана методика расчета сил зажима для операций точения, торцового фрезерования и сверления, приведен пример расчета. Приложение 2 содержит список нормативно-справочной литературы.

При подготовке учебного пособия использован опыт научных школ МГТУ имени Н. Э. Баумана, которые возглавляли профессора В.С. Корсаков, В.М. Кован и А.М. Дальский.

Автор выражает благодарность и признательность коллегам по совместной работе на кафедре МТ2 «Инструментальная техника и технологии» за очень ценные советы. Отмечая большие заслуги редакторов и рецензентов, автор выражает надежду, что проделанная работа будет полезной.

Введение

Технологическая оснастка — это орудия производства, дополняющие металлорежущие станки и предназначенные для выполнения технологического процесса механической обработки изделий.

Технологическая оснастка, помимо режущих и контрольно-измерительных инструментов, включает: станочные приспособления для установки (базирования и закрепления) заготовки, приспособления (вспомогательный инструмент) для установки режущего инструмента и приспособления для измерения фактического положения изделий и инструмента на станке после их установки.

Точность и производительность изготовления изделий на металлорежущих станках зависят от всех звеньев технологической системы, в том числе от технологической оснастки.

Для выполнения технологических расчетов и обоснования принятых технологических решений необходимо оценивать совокупное влияние точности и жесткости элементов оснастки на конечный результат — получение изделий с заданным качеством.

Поэтому повышение эффективности использования металлорежущего оборудования, особенно станков с ЧПУ, в большой мере зависит от технического уровня оснастки. Применение на станках с ЧПУ прогрессивной технологической оснастки существенно повышает точность обрабатываемых изделий и снижает себестоимость их изготовления. В массовом производстве использование специальной технологической оснастки позволяет значительно повысить производительность обработки изделий.

Модернизация машиностроения в связи с переходом на цифровые технологии ставит задачу точного формулирования требований к технологической оснастке при автоматизированной подготовке единичного и серийного производств. Несмотря на наличие на рынке широкого спектра покупных элементов технологической оснастки, выбор рационального оснащения таких производств остается актуальной проблемой.

Модуль 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ УСТАНОВКИ ИЗДЕЛИЙ

От технического уровня приспособлений, предназначенных для установки (базирования и закрепления) изделий на металлорежущих станках, в значительной степени зависят точность и стоимость механической обработки. Поэтому они должны иметь следующие свойства:

- жесткость, достаточную для полного использования мощности станка на черновых переходах;
- точность, обеспечивающую необходимое качество изделия на чистовых переходах;
- возможность переналадки для сокращения времени как на подготовку производства, так и на переналадку оборудования.

Применение таких приспособлений позволяет существенно сократить время изготовления изделий в условиях массового производства, уменьшить число операций при их серийном производстве, обрабатывать заготовку без переустановки при единичном производстве.

Лекция 1. Технологическая оснастка, общие понятия, термины. Роль технологической оснастки в машиностроительном производстве. Классификация приспособлений

В соответствии с ГОСТ 3.1109–82 средства технологического оснащения (СТО) — это совокупность орудий производства, необходимых для осуществления технологического процесса.

Средства технологического оснащения включают в себя:

- а) технологическое оборудование — станки, сборочные стелы, стапелы, контрольно-испытательное оборудование;
- б) технологическую оснастку — режущий, вспомогательный и мерительный инструмент и приспособления;
- в) средства механизации и автоматизации производственных процессов — подъемно-транспортные устройства, роботы, манипуляторы и др.

В машиностроении значительная роль отводится технологической оснастке. Например, если стоимость многоцелевого фрезерного станка с ЧПУ принять равной 100 %, то стоимость технологической оснастки составит примерно 20 %.

Анализ формулы штучно-калькуляционного времени $T_{шт-к}$ показывает, что применение прогрессивной технологической оснастки обеспечивает сокращение нескольких важных составляющих этого времени:

$$T_{шт-к} = T_o + T_{всп.х} + \frac{T_{п-з}}{n} = T_o + T_{всп.х} + T_y + T_{см.ин} + T_{орг-тех} + \frac{T_{п-з}}{n}, \quad (1.1)$$

где T_o — основное (технологическое) время; $T_{всп.х}$ — время вспомогательных ходов станка; $T_{п-з}$ — подготовительно-заключительное время; n — число заготовок в партии; T_y — время установки (базирования и закрепления) заготовки; $T_{см.ин}$ — время смены инструмента; $T_{орг-тех}$ — время организационно-технического обслуживания, затрачиваемое на замену затупившегося инструмента.

Вспомогательное время характеризует степень автоматизации станка, а подготовительно-заключительное — степень его гибкости, т. е. возможность быстрой переналадки на новое изделие. Чем выше степень автоматизации станка, тем меньше $T_{всп.х}$. Чем выше степень гибкости станка, тем меньше $T_{п-з}$, т. е. тем меньше времени затрачивается на его переналадку при переходе на обработку новой партии заготовок.

Составляющие штучно-калькуляционного времени $T_{шт-к}$, увязанные с технологической оснасткой, уменьшаются при использовании средств, перечисленных в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Средства сокращения составляющих штучно-калькуляционного времени обработки на металлорежущих станках

Составляющая	Способы уменьшения составляющей	Средства сокращения составляющей
Основное время T_o	Интенсификация режимов резания	Инструментальная оснастка повышенной жесткости. Патроны, снижающие влияние центробежных сил на силы закрепления инструмента
Время вспомогательных ходов $T_{всп.х}$	Концентрация переходов	Многошпиндельные переналаживаемые головки
Время установки T_y	Сокращение времени базирования заготовок	Приспособления, обеспечивающие полное базирование заготовок, исключаящие наладку их положения
	Совмещение времени базирования и закрепления заготовок с временем работы станка	Приспособления, обеспечивающие смену заготовок вне рабочей зоны станка. Устройства автоматической смены приспособлений
	Сокращение времени закрепления заготовок	Быстродействующие зажимные устройства
	Сокращение количества установок заготовки	Поворотные приспособления, обеспечивающие возможность обработки заготовки с 4-5 сторон с одной установки

Примечание. По ГОСТ 3.1109–82 приспособление — это технологическая оснастка, предназначенная для установки или направления предмета труда (заготовки) или обрабатываемого инструмента при выполнении технологической операции.

По целевому назначению приспособления подразделяют на пять групп:

1) станочные — для установки (базирования и закрепления) обрабатываемых заготовок, т. е. для связи заготовки с металлорежущим станком;

2) станочные — для установки и регулирования режущего инструмента (инструментальная оснастка); играют роль связующего звена между режущим инструментом и металлорежущим оборудованием;

3) сборочные — для выполнения соединений сопрягаемых деталей в сборочные единицы и изделия;

4) контрольно-измерительные — для контроля геометрических параметров изготавливаемого изделия в производственных условиях с требуемыми точностью и производительностью;

5) контрольные — для контроля геометрической точности и измерения относительной жесткости узлов технологической системы.

В соответствии со стандартами Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП) системой приспособлений называется совокупность приспособлений, конструкции которых komponуются на базе единых характерных правил. Единство выполнения этих правил осуществляется в конкретных организационных условиях технологического процесса изготовления различных деталей методом механической обработки.

В каждой системе приспособления собирают способом агрегатирования из составляющих элементов, параметры которых обеспечивают эффективность применения приспособлений в различных производственных условиях.

Отличительными признаками системы приспособлений являются способы их переналадки или перекомпоновки, характеризующие степень их универсальности и степень унификации элементов. В результате путем регулирования подвижных элементов, замены сменных наладок или их перекомпоновки обеспечивается установка сходных по конфигурации типов заготовок и инструмента различных типоразмеров. Одно переналаживаемое приспособление заменяет несколько специальных приспособлений.

Специальные приспособления, предназначенные для установки заготовок определенного типоразмера, применяют только в тех случаях, когда невозможно использовать переналаживаемые приспособления.

Станочные приспособления классифицируют по трем признакам:

1) по технологическому назначению:

- сверлильные и расточные;
- фрезерные;
- токарные;
- шлифовальные и заточные;
- протяжные;
- зуборезные;

2) по степени специализации:

- универсальные приспособления (УП) — для обработки широкой номенклатуры заготовок. Многие УП поставляют вместе со станками (тиски, токарные патроны, делительные головки, магнитные плиты, поворотные столы и др.);

- агрегатированные приспособления (АП) — для обработки заготовок различных типоразмеров, близких по конструктивно-технологическим признакам (например, корпусных). Такие приспособления состоят из базовой (постоянной) части и комплекта сменных установочных и зажимных элементов, их применяют на станках с ЧПУ в малосерийном многономенклатурном производстве (так называемом гибком производстве);

- специальные приспособления (СП) — для обработки определенной заготовки (чаще всего в серийном производстве);

3) по степени механизации и автоматизации:

- ручные, при использовании которых все приемы установки и снятия заготовок выполняются вручную;

- механизированные, оснащенные каким-либо видом привода для механизации закрепления заготовок;
- полуавтоматические — приспособления, в которых автоматизированы все приемы, за исключением смены заготовок;
- автоматические (с замкнутым циклом), в которых автоматизированы все приемы, а приспособлением управляют с помощью системы ЧПУ станка.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дайте определение средств технологического оснащения?
2. Какие составляющие штучно-калькуляционного времени характеризуют степень автоматизации и степень гибкости оборудования?
3. Дайте определение приспособления по ГОСТ 3.1109–82.
4. На какие пять групп подразделяют приспособления?
5. Какие подгруппы приспособлений выделяют при их классификации по технологическому признаку? по степени специализации?
6. За счет чего можно сократить штучно-калькуляционное время?

Лекция 2. Системы станочных приспособлений, применяемых в машиностроении. Стандарты и информационные базы

Существуют следующие системы станочных приспособлений, которые в разной степени использовали в отечественном машиностроении (ГОСТ 31.0000.01–90):

- универсально-безналадочные приспособления (УБП);
- универсально-сборные приспособления (УСП);
- универсально-наладочные приспособления (УНП);
- специальные сборно-разборные приспособления (СРП);
- специализированные наладочные приспособления (СНП);
- неразборные специальные приспособления (НСП).

Приспособления систем УБП выпускали специализированные заводы объединения «Главснастка», они были стандартизованы, и их до сих пор применяют в машиностроении. К ним относятся станочные тиски с ручным и механизированным приводами (ГОСТ 16518–96), токарные самоцентрирующие патроны трех- и двухкулачковые с клиновым и рычажно-клиновым механизмами с ручным приводом (ГОСТ 24351–80), трехкулачковые сверлильные патроны с ключом (ГОСТ 22993–78*) и магнитные прямоугольные плиты (ГОСТ 16528–87).

Приспособления системы УБП представляют собой законченные механизмы долговременного действия с постоянными (несъемными) элементами для установки различных заготовок. Они рассчитаны на многократное применение, для них не требуются проектирование и изготовление дополнительных специальных деталей.

Переналадка УБП осуществляется регулированием положения зажимных элементов. Приспособления системы УБП, как правило, используют на фрезерных, токарных и сверлильных станках в условиях единичного производства.

Приспособления системы УСП также выпускали централизованно в виде наборов стандартных универсальных деталей и узлов с унифицированными соединительными поверхностями, изготовленных с высокой степенью точности (рис. 2.1). На эти детали и сборочные единицы распространяются ГОСТ 31.111.41–93 и ГОСТ 31.111.42–83.

Из элементов УСП собирают без дополнительной механической обработки специальные приспособления кратковременного применения. Сборку осуществляют высококвалифицированные специалисты, которые создают 3D-модель сборки в целях минимизации количества деталей в компоновке, а также повышения точности и жесткости установки заготовки.

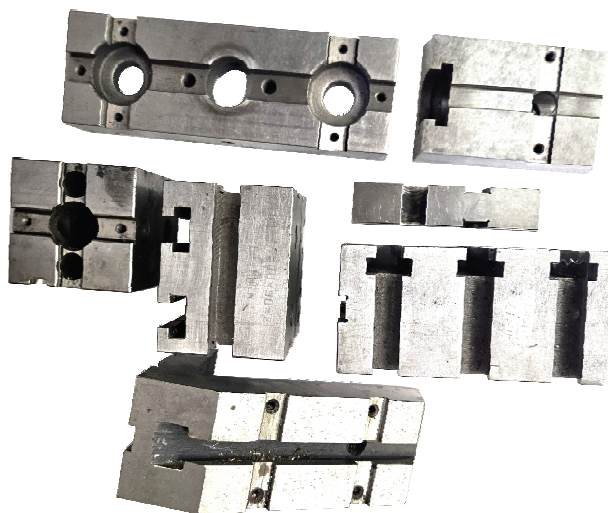


Рис. 2.1. Отдельные элементы системы УСП

После обработки партии заготовок использованное приспособление УСП разбирают на составные детали и узлы, которые потом многократно применяют в различных сочетаниях в новых компоновках.

Для приспособлений системы УСП редко требуется конструирование и изготовление дополнительных специальных деталей и узлов. Компоновки УСП эффективно применяют на станках с ЧПУ в условиях мелкосерийного производства.

Приспособления систем УНП и СРП проектируют и частично изготавливают на станкостроительных заводах в качестве комплектующих при поставке станков с наладкой на выполнение конкретных технологических операций.

Приспособления УНП для установки широкой номенклатуры заготовок состоят из универсального базового агрегата и комплекта сменных наладок. Базовый агрегат приспособления — неизменяемый, он служит для установки сменных наладок в процессе компоновки. Под сменной наладкой понимается самостоятельная часть собранного для эксплуатации приспособления, предназначенная для установки заготовок конкретных типоразмеров в базовом агрегате приспособления.

Для многоцелевых станков и гибких производственных модулей (ГПМ) разработан комплект УНП «Система 500». Он собран из универсальных установочных и зажимных элементов в целях реализации компоновки на базовой части.

Комплект элементов УНП «Система 500» состоит из трех призм, набора установочных элементов и набора прижимных элементов (рис. 2.2)

Такие приспособления эффективны при использовании групповых методов обработки. Базовые агрегаты приспособления и некоторые, наиболее

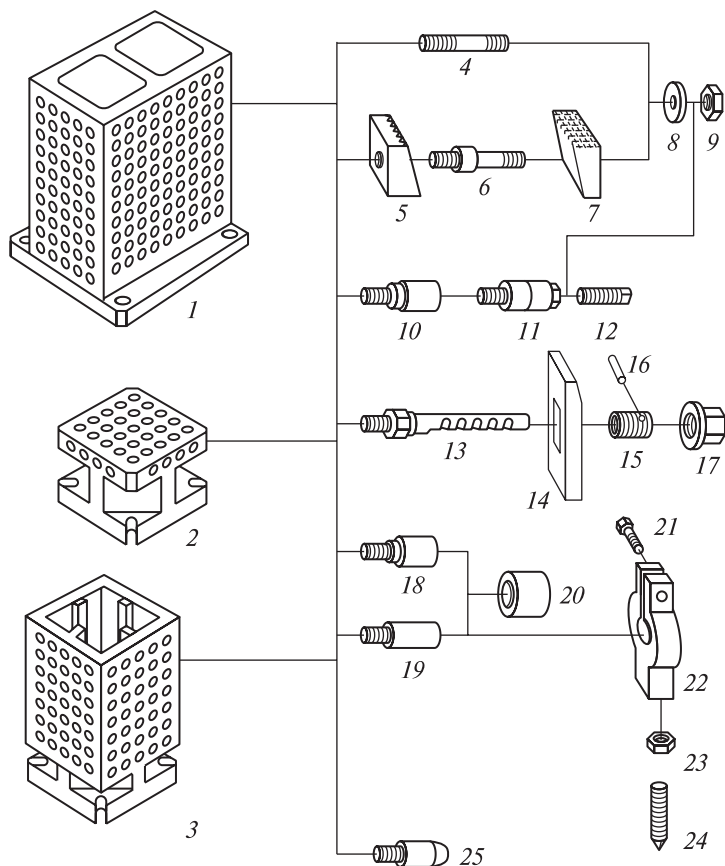


Рис. 2.2. Комплект УНП «Система 500»:

базовые призмы – агрегаты (1–3); установочные элементы (5 – опора; 7 – клиновья опора; 8 – шайба; 9, 17, 23 – гайки; 10, 11, 18, 19 – упоры; 15 – втулка с резьбой; 16 – штифт; 24 – винт; 25 – палец); прижимные элементы (4, 6, 12 – шпильки; 13 – быстросменная шпилька; 14 – прихват; 20 – кольцо; 22 – хомут)

часто применяемые, унифицированные сменные наладки поставяет станкозавод.

По мере необходимости на заводе, который эксплуатирует станок, оснащенный приспособлением УНП, дополнительно проектируют и изготавливают базовые агрегаты и специальные сменные наладки.

Системы УНП и СРП применяют на многоцелевых станках с ЧПУ, в ГПМ и гибких производственных системах (ГПС), и их основные параметры стандартизованы (ГОСТ 31.1001.01–88). Опыт эксплуатации этих приспособлений обобщен в рамках ЕСТПП в виде методических указаний по выбору и рациональному применению (РД 50–533–85).

Эффективной областью применения *системы СНП* является групповая обработка в серийном производстве на специализированных агрегатных станках. Для групповой обработки используют многоместные приспособления.

При оснащении операции приспособлением СНП проектируют и изготавливают несколько сменных наладок для установки в специализированном базовом агрегате. В этих случаях базовые поверхности заготовок могут быть дополнительно обработаны для повышения надежности закрепления в приспособлении. СНП собирают на весь период производства изделия на агрегатных станках с циклом переналадки на новые изделия примерно 1,5–2 года.

Цикл оснащения операции *неразборным специальным приспособлением* (НСП) состоит из проектирования сборки приспособления, ее детализовки и изготовления специальных деталей.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие системы станочных приспособлений использовали в отечественном машиностроении в 1980–1990-е гг.?
2. Какие приспособления стандартизованы и применяются в машиностроении в настоящее время?
3. Приведите пример переделки приспособления УНП в приспособление СРП.
4. Как различаются станочные приспособления по степени механизации и автоматизации?

Лекция 3. Основные теории, используемые в проектировании технологической оснастки

На этапе проектирования технологического процесса изготовления узла или детали перед конструктором встает задача расчета и анализа размерных цепей. После обоснования допускаемых отклонений и других требований к элементам приспособления конструктор должен проверить результаты воздействия силы резания на качество детали. Для решения этих задач необходимо опираться на следующие теории:

- размерных цепей;
- базирования;
- контактной жесткости машин.

Теория размерных цепей. Данная теория выявляет необходимые закономерности, которые позволяют устанавливать объективные размерные связи в конструкциях приспособлений, в технологических процессах изготовления их деталей и сборки, а также при измерениях. Эти связи возникают из условий и принятых решений конструкторских, технологических задач или задачи измерения, которым соответствуют конструкторская, технологическая и измерительная размерные цепи.

Конструкторская размерная цепь определяет положение деталей в машине, замыкающим звеном которой является расстояние либо относительный поворот между поверхностями (или их осями) деталей в машине, а составляющими звеньями — размеры (линейные или угловые) входящих в нее деталей.

Технологическая размерная цепь определяет точность расстояния между поверхностями или осями поверхностей изделия либо относительный поворот поверхностей (осей) изделия в процессе его изготовления.

В измерительной размерной цепи замыкающим звеном является контролируемый размер изделия, а составляющими звеньями — размеры измерительных приборов.

Свойства и закономерности размерных цепей отражаются системой понятий и аналитическими зависимостями. Это позволяет проводить расчет номинальных размеров, допусков, координат середин полей допусков в целях получения требуемой точности изделий при конструировании, изготовлении, эксплуатации и ремонте.

Подробно описание размерных цепей и их структур, методы достижения точности изделий с помощью размерных цепей, методики построения размерных цепей с примерами их расчетов приведены в методических указаниях РД50—635—87 «Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей».

К важным понятиям, используемым при расчете размерных цепей, относится определение размерной цепи как совокупности размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное относительное положение поверхностей или осей поверхностей (расстояний и поворотов) детали или сборочной единицы.

Размеры, образующие размерную цепь, называют звеньями размерной цепи. Замыкающим называют звено размерной цепи, являющееся исходным при постановке задачи или получающееся последним в результате ее решения. Остальные звенья размерной цепи являются ее составляющими звеньями.

Размерные цепи бывают линейными, их звенья — линейные размеры, или угловыми, их звенья — угловые размеры, определяющие точность относительного поворота поверхностей или осей деталей либо сборочных единиц. Линейные и угловые размерные цепи подразделяют на плоские и пространственные.

Целью расчета и анализа размерных цепей на этапе проектирования технологического процесса изготовления узла или детали является выбор наиболее экономичного метода и процесса изготовления, обеспечивающего заданную точность замыкающего звена.

Для этого в первую очередь необходимо выявить размерную цепь в соответствии с поставленной задачей. Выявление начинается с нахождения ее замыкающего звена, так как в нем заключен смысл решаемой задачи. Установив замыкающее звено, находят составляющие звенья размерной цепи и путем ее расчета решают прямую или обратную задачу.

Прямая задача (задача конструктора) состоит в определении требований к замыкающему звену размерной цепи (номинальный размер и предельные отклонения). Для этого следует установить номинальные размеры, поля допусков, координаты середин полей допусков и предельные отклонения всех составляющих звеньев размерной цепи.

Обратная задача (задача технолога) состоит в том, чтобы исходя из значений номинальных размеров, полей допусков, координат их середин и предельных отклонений составляющих звеньев определить такие же характеристики замыкающего звена. Таким образом, задача технолога — проверить правильность решения задачи конструктора и дать предложения по обеспечению требуемой точности замыкающего звена эффективным методом.

Размер на технологическом переходе формируется в процессе обработки заготовки как замыкающее звено размерной цепи технологической системы (технологического перехода) станок — приспособление — инструмент — заготовка.

На рис. 3.1 приведен пример размерной цепи технологического перехода универсально-фрезерного станка, определяющей размер детали A_A :

$$A_A = A_1 - A_2 - A_3 + A_4 + A_5 - A_6 - A_7.$$

Теория базирования. В машиностроении используют теорию базирования, в которой в соответствии с правилами теоретической механикой принимается,

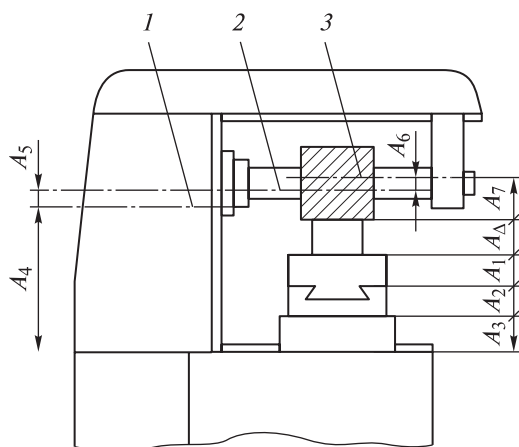


Рис. 3.1. Размерная цепь технологической системы (технологического перехода универсально-фрезерного станка):

1–3 — оси шпинделя станка, оправки и фрезы соответственно

что требуемое положение или движение твердого тела относительно выбранной системы координат достигается наложением двусторонних геометрических связей через соприкосновение поверхностей этого тела с поверхностями другого твердого тела, к которому оно присоединяется. При наложении таких связей и приложении сил и пар сил тело лишается трех перемещений в трехмерном пространстве вдоль координатных осей и трех поворотов вокруг этих осей.

Получающиеся шесть связей, которые лишают тело движения в шести направлениях, могут быть созданы контактом соединяемых тел по шести отдельным элементарным площадкам. Эти площадки условно считают шестью точками контакта (рис. 3.2).

При идеализации формы поверхностей тела принимается, что контакт происходит по этим поверхностям, и тогда реальные связи символически заменяют опорными точками (рис. 3.3).

Более подробно термины и определения основных понятий базирования и баз при проектировании, изготовлении, эксплуатации и ремонте изделий машиностроения и приборостроения с распространенными схемами базирования деталей приведены в ГОСТ 21495–76* «Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения».

Теория контактной жесткости. Эта теория предлагает методы расчета деформаций в различных соединениях приспособлений с учетом реальных условий нагружения, зазоров, деформаций сопрягаемых деталей, погрешностей изготовления.

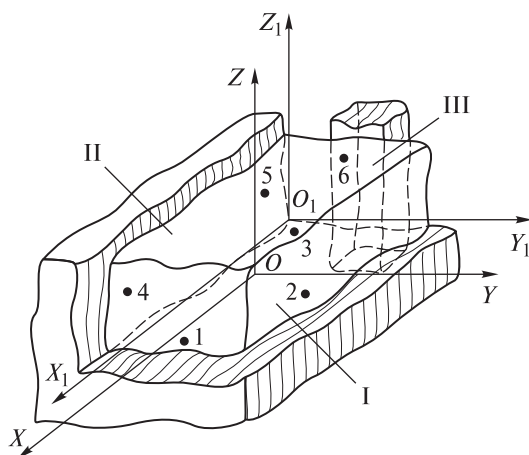


Рис. 3.2. Пример построения координатной системы $O_1X_1Y_1Z_1$ по реальным поверхностям:

I — установочная база; II — направляющая база;
III — опорная база; 1–6 — точки контакта

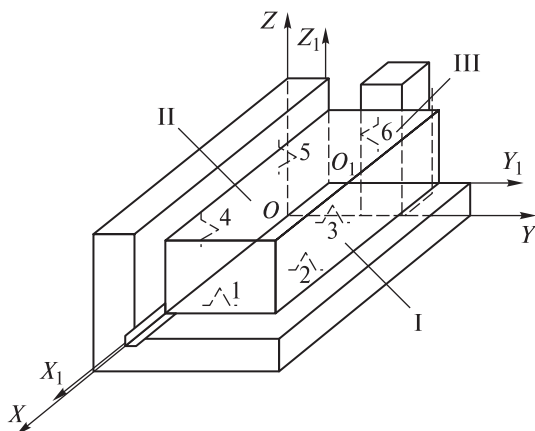


Рис. 3.3. Пример построения координатной системы $O_1X_1Y_1Z_1$ по идеализированным поверхностям:

I — установочная база; II — направляющая база;
III — опорная база; 1–6 — точки контакта

Известно, что в балансе упругих перемещений в технологических системах для механообработки, определяющих их жесткость и точность (см., например, ГОСТ 9726—89 «Станки фрезерные вертикальные с крестовым столом. Терминология. Основные размеры. Нормы точности и жесткости»), контактные перемещения, приведенные к зоне резания станков, составляют до 70 % упругих перемещений системы станок — приспособление — изделие [11].

На основе зависимостей, установленных в теории контактной жесткости, конструктор может рассчитать влияние контактных деформаций на точность установки изделий в приспособлении под действием сил закрепления и сил резания, а также выбрать оптимальные соотношения размеров изделий в целях повышения жесткости разрабатываемых приспособлений. При этом учитывают собственную жесткость изделий, которые рассчитывают в соответствии с теорией сопротивления материалов.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что позволяет выявить теория размерных цепей?
2. Что такое размерная цепь и что называют ее звеньями?
3. Дайте определение замыкающих и составляющих звеньев размерных цепей.
4. Что называют конструкторской размерной цепью?
5. В чем состоит прямая задача (задача конструктора) при расчете и анализе размерных цепей на этапе проектирования технологического процесса изготовления узла или детали?
6. В чем состоит обратная задача (задача технолога) при расчете и анализе размерных цепей на этапе проектирования технологического процесса изготовления узла или детали?
7. Дайте определения терминов «базирование», «база», «погрешность базирования», «закрепление», «установка» и «погрешность установки».

Лекция 4. Методы контроля точности установки и размеров изделий на станках с ЧПУ

Станок с ЧПУ характеризуется достаточно высокой точностью позиционирования рабочих органов. Поэтому широкое распространение получил способ контроля обрабатываемых деталей непосредственно на станке. Система управления (регулирования) состоит из измерительного щупа, установленного в шпинделе станка, в револьверной головке или на столе станка, и системы обработки полученной информации и выдачи сигнала на регулирование (наладку) технологической системы. Наладка положения заготовки осуществляется соответствующей коррекцией управляющей программы (рис. 4.1).

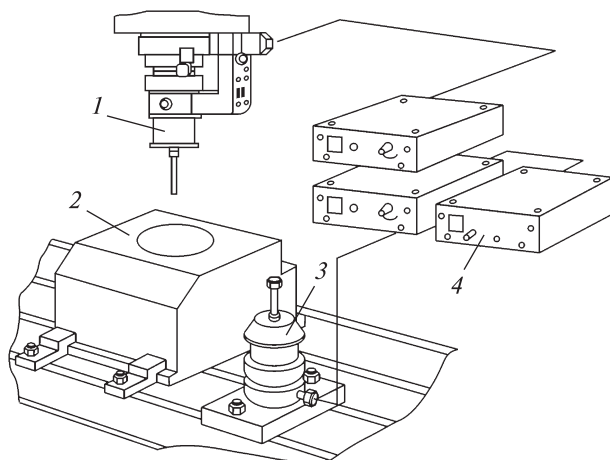


Рис. 4.1. Схема установки измерительных щупов на станке с ЧПУ:

1, 3 — щупы; 2 — изделие; 4 — блоки системы управления

Для измерения изделия 2 щуп 1 установлен в шпинделе станка. Для контроля размера и состояния (отсутствия выкрашивания режущей кромки) инструмента щуп 3 установлен на столе станка. Сигналы с этих щупов поступают в блоки 4 системы управления. Схемы измерения различных поверхностей наконечниками щупов показаны на рис. 4.2: 1 — наружного уступа; 2 — высоты выступающей части изделия; 3 — диаметра отверстия; 4 — формы отверстия; 5 — внутреннего уступа.

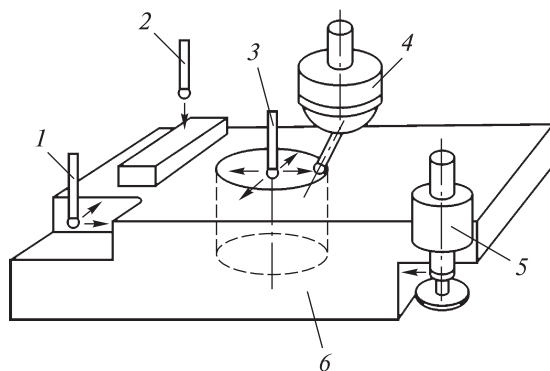


Рис. 4.2. Схемы измерений обрабатываемого изделия 6 наконечниками 1–5

По принципу работы измерительные щупы могут быть контактного (рис. 4.3, а, б) и индуктивного типов (рис. 4.3, в).

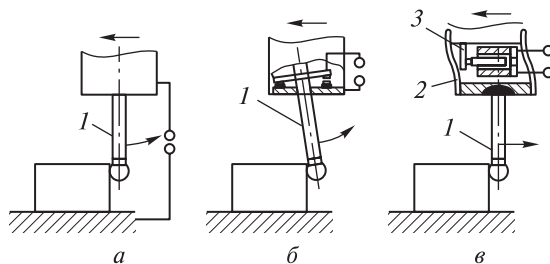


Рис. 4.3. Схема работы измерительных щупов:
а — с внешним контактом; б — с внутренним контактом; в — индуктивного типа; 1 — наконечник;
2 — гибкий корпус; 3 — магнитный стержень

Рассмотрим один из вариантов конструкции щупа (рис. 4.4). Щуп имеет хвостовик 4 для установки в шпинделе 1 станка и в инструментальном магазине. В полости 3 хвостовика установлена батарея 2. К внутреннему торцу хвостовика прикреплен сменный элемент 5 с пружиной 6, упирающейся в отрицательный вывод батареи 2 и являющейся для него заземлением. К положительному выводу батареи прижат контакт 7. К внешнему торцу хвостовика 4 прикреплен корпус 13, в котором смонтирован наконечник 14, связанный с блоком переключателей через штепсельные вилку 15 и розетку 16. Вилка и розетка обеспечивают связь со схемой генератора, сигнал с выхода которого поступает на первичную обмотку 9.

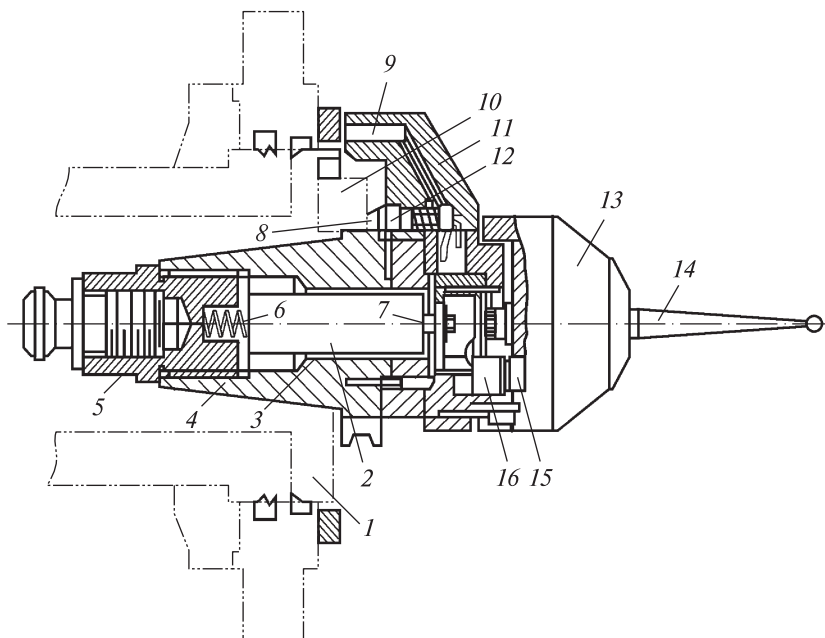


Рис. 4.4. Конструкция измерительного щупа:

1 — шпindelь; 2 — батарея; 3 — полость хвостовика; 4 — хвостовик; 5 — сменный элемент; 6 — пружина; 7 — контакт; 8 — плунжер; 9 — первичная обмотка; 10 — шпонка; 11 — кронштейн; 12 — переключатель; 13 — корпус; 14 — наконечник; 15 — штепсельная вилка; 16 — розетка

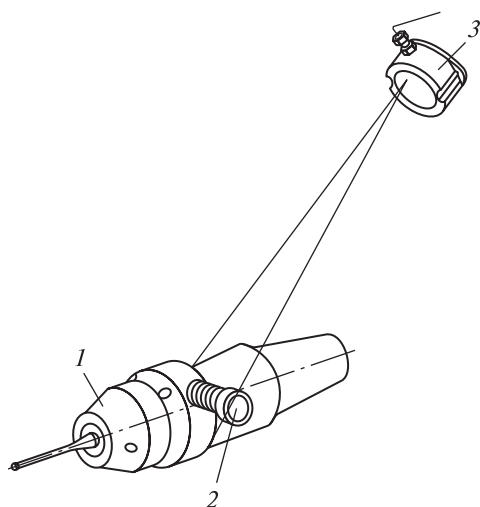


Рис. 4.5. Измерительный щуп с оптическим способом передачи сигнала при его произвольной установке в шпинделе:

1 — щуп; 2 — излучатель; 3 — приемник

Первичная обмотка установлена на кронштейне 11, в котором смонтирован переключатель 12 с плунжером 8. Плунжер срабатывает при контакте со шпонкой 10 при зажиме хвостовика 4 в шпинделе. Переключатель соединяет батарею 2 с печатной схемой при установке хвостовика в шпиндель и отсоединяет батарею, когда хвостовик извлечен из него. Для этого пружина переключателя сжимается при нормально разомкнутом его положении и разжимается сразу после выхода плунжера из контакта со шпонкой шпинделя.

Передача сигнала с измерительного щупа, установленного в шпинделе станка, в систему управления осуществляется оптическим способом в диапазоне инфракрасного излучения (рис. 4.5).

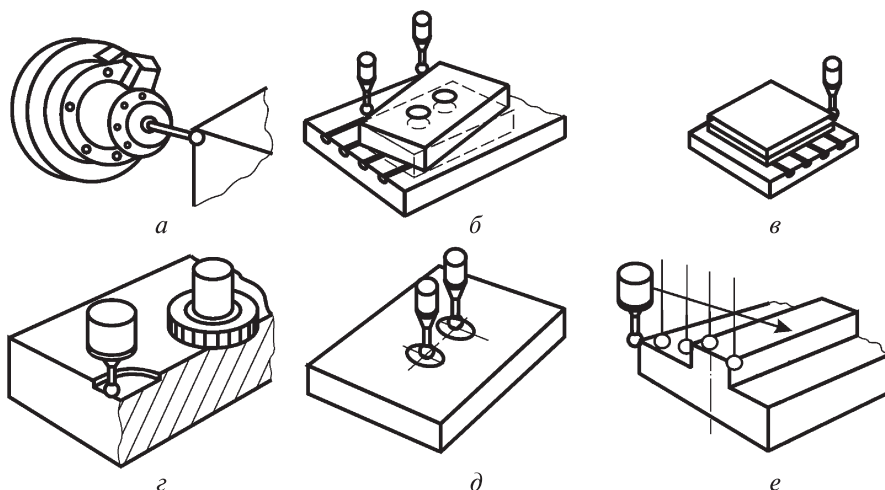


Рис. 4.6. Схемы применения щупов на многоцелевом станке с ЧПУ для установки нулевой точки (а), измерения погрешности установки изделия на столе (б), снимаемого припуска (в), припуска на чистовой переход (г), межосевого расстояния (д), изделия (е)

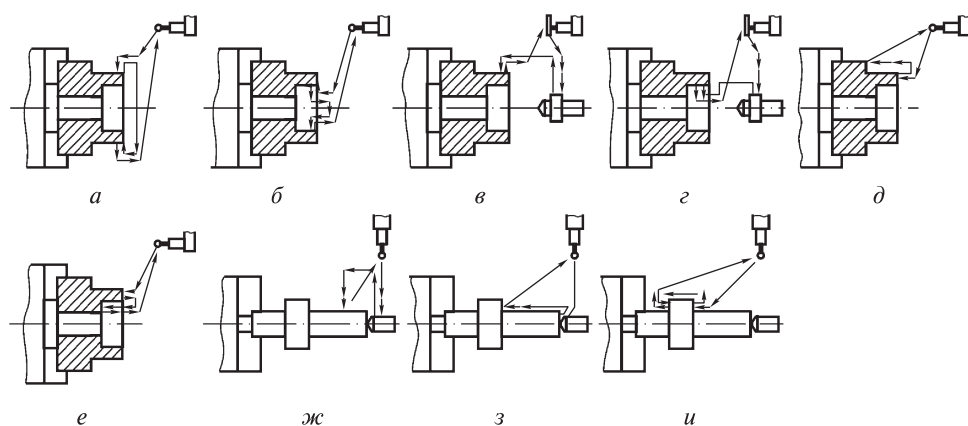


Рис. 4.7. Схемы применения щупов на токарном станке с ЧПУ для контроля размеров изделий, установленных в патроне (а–е) и в центрах (ж–и):

а — наружного диаметра; б — внутреннего диаметра; в, г — наружного и внутреннего диаметров с контролем по эталону; д, е — длины наружной и внутренней поверхностей; ж — наружного диаметра; з — длины поверхности; и — толщины фланца в средней части изделия

Схемы применения щупов на станках с ЧПУ приведены на рис. 4.6 и 4.7.

Дальнейшим развитием методов контроля точности установки и размеров изделий на многоцелевых станках с ЧПУ является их использование в качестве контрольно-измерительных машин. Это реализуется на основе повышения точности перемещений узлов станков и устойчивой обратной связи в пределах 50 нм.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Из каких элементов состоит система регулирования для контроля обрабатываемых деталей непосредственно на станке ЧПУ?
2. Какими способами передается сигнал с измерительного щупа, установленного в шпинделе станка, в систему управления?
3. По какому принципу выбирают схему измерения индуктивным щупом?
4. Назовите альтернативные способы измерения размеров деталей на токарных станках с ЧПУ в автоматическом режиме.
5. Чем различаются схемы подключения к электропитанию контактных щупов?

Лекция 5. Приспособления для токарных станков с ЧПУ

Станки с ЧПУ являются основным средством автоматизации мелко- и среднесерийного производства. Следовательно, на таких станках наиболее эффективно применять переналаживаемые приспособления системы УНП, обеспечивающие путем их переналадки или перекомпоновки обработку широкой номенклатуры изделий. Кроме того, иногда в серийном производстве используют универсальные патроны из системы УБП по ГОСТ 24351–80.

К патронам для токарных станков с ЧПУ предъявляют следующие основные требования: высокие точность и жесткость; возможность использования полной мощности станка при черновой обработке; быстродействие зажима-разжима изделий; быстрая переналадка кулачков на требуемый диаметр; исключение влияния центробежных сил на силу зажима при высоких частотах вращения шпинделя; универсальность при установке изделий различной формы и размеров.

Примером комбинированного патрона, позволяющего установку изделий на токарных станках с ЧПУ как в патроне, так и в центрах, служит универсально-наладочный патрон (рис. 5.1).

Патрон состоит из корпуса 7, основных кулачков 1 и наклонных закаленных кулачков 3, сменной вставки 6 с плавающим центром 5 и эксцентриков 2, в кольцевые пазы которых входят штифты 13. Быстрые зажим и разжим накладных кулачков при переналадке осуществляется тягами 4 при вращении эксцентриков 2.

Для обработки изделий типа вал в патрон устанавливают сменную вставку 6 с плавающим центром 5 и выточкой по наружному диаметру. Изделие устанавливают в центрах (центре 5 и заднем центре станка) и зажимают плавающими кулачками с помощью втулки 8 с клиновыми замками, которая соединена с приводом, установленным на заднем конце шпинделя станка. Разжим осуществляется с помощью фланца 11.

Для выполнения работ в патроне (с самоцентрирующими кулачками) сменную вставку 6 заменяют вставкой 14, которая не имеет выточки по наружному диаметру, благодаря чему обеспечивается самоцентрирование патрона. Патрон крепят на шпиндель станка с помощью фланца 12. Патрон к приводу присоединяют втулкой 9 и винтом 10. При необходимости кулачки переставляют вверх-вниз до получения требуемого размера, как показано стрелкой на рисунке.

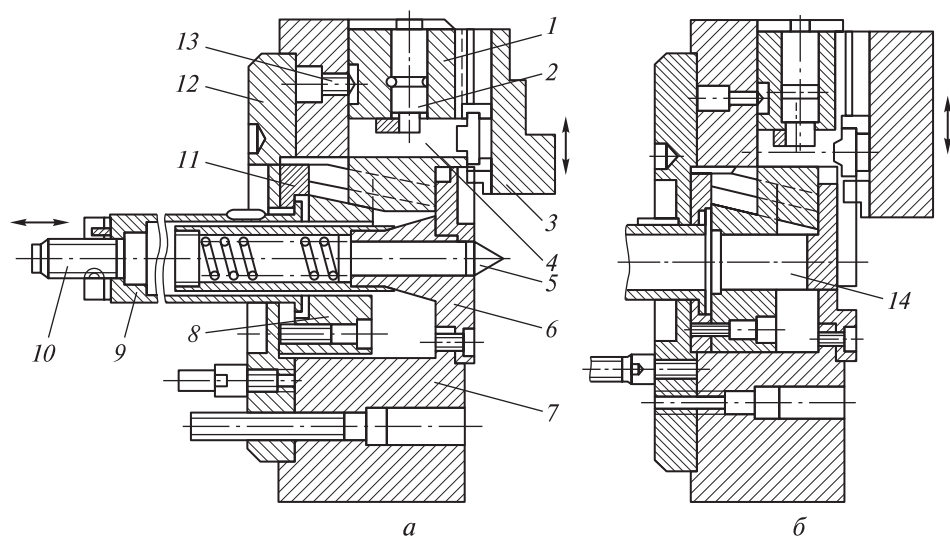


Рис. 5.1. Комбинированный трехкулачковый быстропереналаживаемый универсальный патрон для центровых (а) и для патронных работ (б):

1 — основной кулачок; 2 — эксцентрик; 3 — накладной кулачок; 4 — тяга; 5 — плавающий центр; 6 — сменная вставка; 7 — корпус; 8, 9 — втулки; 10 — винт; 11, 12 — фланцы; 13 — штифт; 14 — вставка

Режущие инструменты, оснащенные твердыми сплавами или режущей керамикой, допускают высокую скорость резания. Поэтому современные токарные станки с ЧПУ для повышения производительности обработки имеют частоту вращения шпинделя $10\,000\text{ мин}^{-1}$.

Однако с увеличением частоты вращения шпинделя станка увеличивается действие на кулачки центробежных сил, которые уменьшают силу зажима кулачков, из-за чего сокращается область использования мощности привода станков. Центробежная сила пропорциональна частоте вращения в квадрате:

$$F_{цб} = M R \omega^2 = \frac{G R \omega^2}{g} = 0,102 G R \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 = \frac{M R n^2}{100}, \quad (5.1)$$

где M — масса кулачков, кг; R — расстояние от оси патрона до центра тяжести кулачка, мм; ω — угловая скорость, рад/с; G — вес кулачков, Н; g — ускорение свободного падения, $g = 9,81\text{ м/с}^2$; n — частота вращения шпинделя, мин^{-1} .

При частотах вращения шпинделя свыше 2000 мин^{-1} фактической силой зажима заготовки будет не статическая сила $Q_{ст}$, а динамическая сила $Q_{дин}$. Для определения при заданной частоте вращения шпинделя требуемой статической силы зажима необходимо алгебраически суммировать динамическую силу зажима с центробежной силой $F_{цб}$:

$$Q_{ст} = Q_{дин} \pm F_{цб}, \quad (5.2)$$

где знак «+» относится к заготовке, зажимаемой по наружной поверхности кулачков, знак «—» — к заготовке, зажимаемой по их внутренней поверхности.

Динамическая сила зажима может быть определена по формуле

$$Q_{\text{дин}} = Q_{\text{ст}} \mp F_{\text{цб}} \quad (5.3)$$

или

$$Q_{\text{дин}} = \frac{1,2kP_z d}{fd_1} \mp \frac{MRn^2}{100}, \quad (5.4)$$

где 1,2 — коэффициент, учитывающий влияние осевой P_x и радиальной P_y составляющих силы резания; k — коэффициент надежности, принимаемый равным 2,5; P_z — главная составляющая силы резания; d — диаметр обработки изделия; f — коэффициент трения между изделием и кулачками (при закреплении остальных изделий гладкими кулачками $f = 0,1 \dots 0,15$, кулачками с мелкими зубьями — $f = 0,12 \dots 0,20$, кулачками с крупными зубьями — $f = 0,25 \dots 0,35$); d_1 — диаметр изделия в месте закрепления его кулачками.

Допускаемую частоту вращения можно определить по формуле

$$n_{\text{доп}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{(Q_{\text{ст}} - Q_{\text{дин}}) \frac{1}{\Sigma MR}}, \quad (5.5)$$

где ΣMR — суммарный центробежный момент трехкулачкового патрона.

В случае если расчетная сила зажима превышает силу зажима, обеспечиваемую конкретным патроном (указанную в его технической характеристике), следует либо уменьшить глубину резания и подачу, либо снизить частоту вращения шпинделя, уменьшив тем самым центробежную силу.

Более эффективным является снижение частоты вращения, поскольку из-за квадратичного увеличения центробежной силы влияние ее на допустимую частоту вращения является доминирующим. Лимитирующим числом оборотов патрона считается не абсолютное число оборотов, а то, при котором динамическая сила зажима составляет 30 % статической. Эту частоту вращения указывают в технической характеристике стандартных патронов для условий, при которых кулачки не выступают за наружный диаметр патрона.

Для снижения влияния центробежных сил уменьшают массу кулачков, изготавливая их из деформируемого алюминиевого сплава с твердосплавными или стальными закаленными вставками, контактирующими с зажимаемой заготовкой.

Также для уменьшения влияния центробежных сил используют токарные патроны с устройством уравнивания центробежных сил, которое противодействует возникающим центробежным силам с помощью встроенных в патрон противовесов. При равноплечих рычагах масса противовеса должна быть равна массе кулачка, при разноплечих она может быть уменьшена. Быстроперенастраиваемый патрон с противовесами кулачков показан на рис. 5.2.

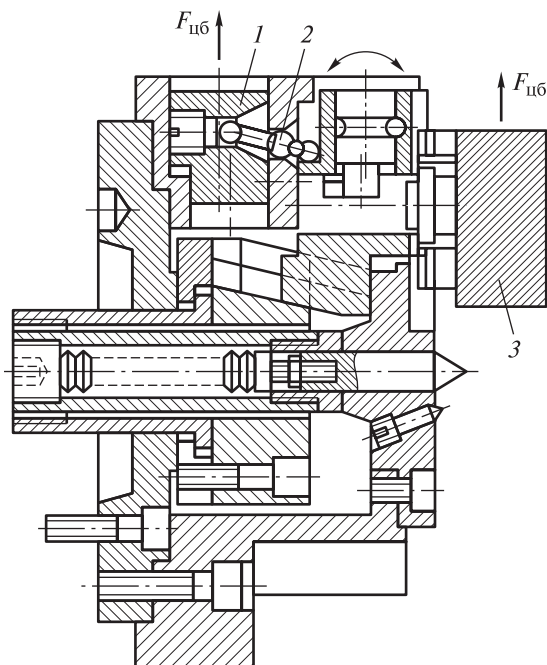


Рис. 5.2. Патрон трехкулачковый клиновой универсальный с противовесами кулачков:

1 — противовес; 2 — рычаг; 3 — кулачок

Патрон предназначен для базирования и закрепления заготовок деталей типа диск и вал при их обработке на токарных станках с ЧПУ с частотой вращения шпинделя до 4000 мин^{-1} . Наружный диаметр патрона — 250 мм, диаметр зажимаемых заготовок находится в диапазоне 15...240 мм, сила зажима заготовки — 6 кН.

Центробежная сила $F_{цб}$ перемещает противовес 1 и через рычаг 2 управляет кулачком 3, компенсируя центробежную силу $F_{цб}$, действующую на кулачок (см. рис. 5.2).

Большое значение при работе на станках с ЧПУ имеет скорость переналадки для перехода на выполнение следующей операции. На рис. 5.3 показан патрон, конструкция которого предусматривает быструю переналадку положения кулачков.

Кулачки 9 патрона находятся в зацеплении со спиральным диском 8, в котором выполнен зубчатый венец 7 внутреннего зацепления, являющийся наружным колесом планетарной передачи. Центральная шестерня 10 передачи установлена на втулке 12, шлицы которой контактируют с пальцами ползуна 11. Винтовые шлицевые пазы ползуна взаимодействуют с пальцами кольца 3, закрепленного на корпусе патрона. На водиле 5 планетарной передачи установлены сателлиты 6 и колесо самотормозящейся червячной передачи. Выступы на торцах червяка 4 входят в отверстие втулки 13. Для переналадки кулачков на требуемый диаметр ключом вращают втулку 13, которая посредством червяка 4 и колеса 1 поворачивает водило 5. При этом сателлиты, обкатываясь по неподвижной шестерне 10, вращают спиральный диск, перемещая радиально кулачки на требуемый диаметр.

Закрепление заготовки осуществляется пневмо-, гидро- или электроприводом, закрепленным на заднем конце шпинделя станка. Привод перемещает тягу 2 и ползун 11 влево. При этом пальцы кольца 3, входящие в винтовые пазы ползуна, поворачивают последний, в результате чего центральная шестерня 10 вращает сателлиты, поворачивая по зубчатому венцу 7 спиральный диск 8, перемещающий кулачки, которые закрепляют изделие. Вследствие самоторможения червяка водило остается неподвижным.

Патроны самоцентрирующие клиновые быстропереналаживаемые (рис. 5.4) предназначены для центрирования и закрепления заготовок на токарных и токарно-револьверных станках в условиях серийного производства.

В ползуне 2 установлен эксцентрик 9, осевое перемещение которого ограничивает штифт 8. Эксцентрик толкает прижим 7, который служит для закрепления кулачка 1. Зажим и разжим изделия в патроне выполняются от механизированного привода через шток 6, который толкает клин 5, перемещающий ползун 2. Для переналадки патрона необходимо повернуть эксцентрики 9 и освободившиеся кулачки 1 переставить на диаметр изделия.

Отсутствие винтов для крепления кулачков позволяет располагать зажимные поверхности ближе к переднему торцу корпуса 4 и крышки 3, что уменьшает вылет заготовки, повышает жесткость ее крепления. Основные характеристики патронов (см. рис. 5.4) приведены в табл. 5.1.

Токарные патроны, как правило, оснащаются одним комплектом закаленных многоступенчатых сменных основных кулачков и комплектом незакаленных («сырых») кулачков с рифлениями типа «мышинный зуб» для крепления их к основным кулачкам.

Универсальные закаленные кулачки обеспечивают зажим заготовок, диапазон размеров которых предусмотрен технической характеристикой патронов. Однако конфигурация кулачков, входящих в комплект патрона, и длина их зажимных губок ограничивают номенклатуру обрабатываемых заготовок.

Поэтому помимо универсальных кулачков в комплект целесообразно включать кулачки с меньшей длиной зажимных губок — в диапазоне 4...25 мм, причем желательно с разными профилями зажимных зубьев.

Кулачки с профилем зажимной части, выполненной по типу I (табл. 5.2), с площадью контакта 1 мм^2 предназначены для зажима заготовки с кузнечным или литейным облоем и с большими уклонами, характерными для отливок и поковок. Кулачки с профилем зажимной части по типу II с площадью контакта на каждый зуб $3...4,5 \text{ мм}^2$ предназначены для зажима заготовок

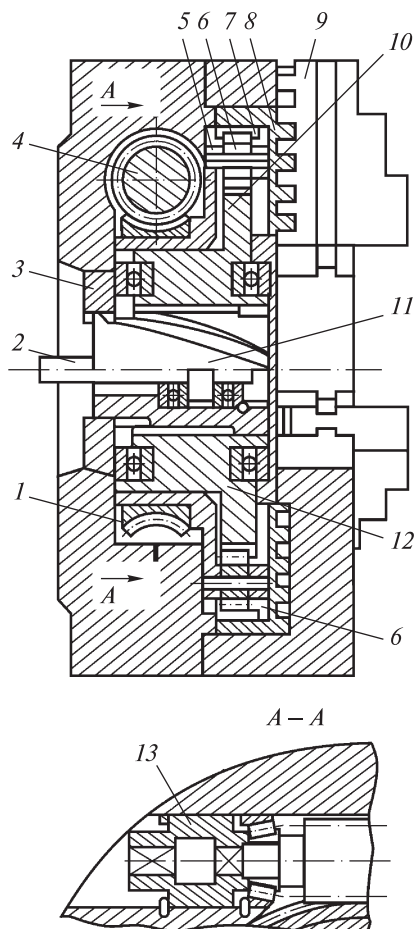


Рис. 5.3. Патрон с быстрой переналадкой положения кулачков:

1 — колесо; 2 — тяга; 3 — кольцо; 4 — червяк; 5 — водило; 6 — сателлит; 7 — зубчатый венец; 8 — спиральный диск; 9 — кулачки; 10 — центральная шестерня; 11 — ползун; 12, 13 — втулки

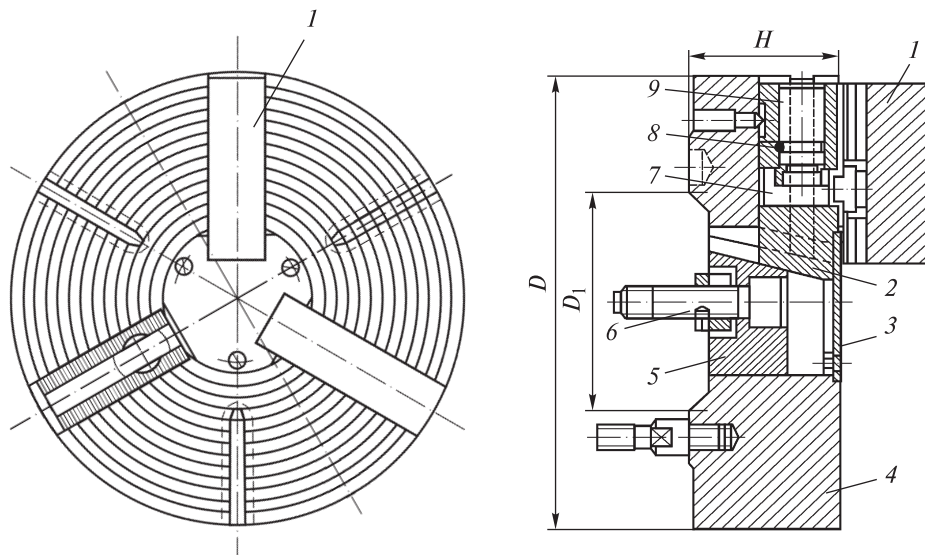


Рис. 5.4. Патрон самоцентрирующий клиновой быстроперенастраиваемый:
 1 — кулачки; 2 — ползун; 3 — крышка; 4 — корпус; 5 — клин; 6 — шток; 7 — прижим; 8 — штифт; 9 — эксцентрик; H — высота патрона; D — наружный диаметр патрона; D_1 — диаметр присоединительного конуса

Таблица 5.1

Технические характеристики токарных самоцентрирующихся клиновых быстроперенастраиваемых патронов

Параметр	Типоразмер, мм		
	200	250	315
Диаметр наружный, мм	200	250	315
Диаметр присоединительного конуса, мм	106,375		
Высота патрона, мм	105		125
Диаметр изделия, зажимаемого в прямых кулачках, мм: наименьший наибольший	20 80	20 100	30 140
Диаметр изделия, зажимаемого внутренними ступенями кулачков, мм: наименьший наибольший	80 200	90 250	100 315
Диаметр изделия, зажимаемого наружными ступенями кулачков, мм: наименьший наибольший	80 190	90 240	100 300
Сила зажима, кН, не менее	40	50	60

Таблица 5.2

Классификация кулачков по видам поверхностей устанавливаемых изделий

Вид поверхности	Профиль и размеры зажимной части кулачка			
Поверхности поковок, штам- повок и отливок	Тип I			
После черновой и получистовой обработки	Тип II			
После чистовой обработки	Тип III			

после черновой и получистовой обработки, а по типу III — после чистовых операций, поскольку они не оставляют следов на обработанной поверхности.

Кулачки могут быть цельными и сборными. Цельные кулачки выполняют как для патронных работ в целях зажима по наружной и внутренней поверхностям заготовки, так и для центровых работ. Сборные кулачки выпускают только с профилем зажимной части по типам II и III для патронных работ в целях зажима по наружной поверхности. Вставки к сборным кулачкам изготавливают закаленными и «сырыми».

Для повышения точности обработки и достижения радиального биения заготовки около 0,02 мм в патроне непосредственно перед обработкой данной партии заготовок устанавливают «сырые» кулачки, которые растачивают. При этом кулачки необходимо фиксировать специальным эталонным кольцом. Диаметр расточки должен быть равен диаметру зажимаемой заготовки.

При черновой обработке валов на токарных станках применяют патроны с эксцентриковыми кулачками, предназначенные для передачи больших крутящих моментов (рис. 5.5). Патрон устанавливают на наружном конусе шпинделя 14 станка. В коническом отверстии шпинделя размещается хвостовик 4 с плавающим центром 9 и пружиной 2, расположенной между регулировочной резьбовой втулкой 1 и втулкой 5. Задний торец центра соединен с тягой 3.

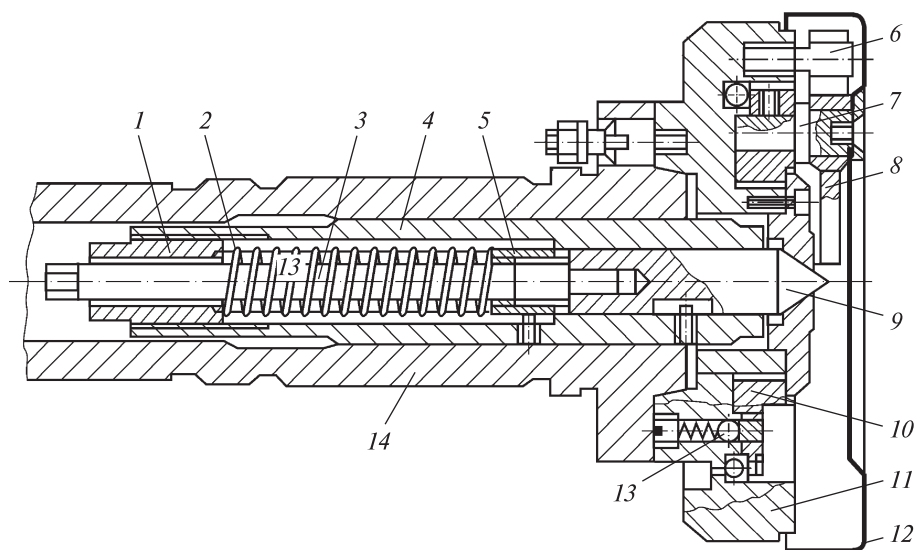


Рис. 5.5. Патрон с эксцентриковыми кулачками:

1, 5 — втулки; 2 — пружина; 3 — тяга; 4 — хвостовик; 6 — палец; 7 — ось; 8 — кулачок; 9 — плавающий центр; 10 — вращающийся диск; 11 — корпус; 12 — кожух; 13 — шпир; 14 — шпиндель

В корпусе 11 патрона на подшипниках размещен вращающийся диск 10, в котором через 120° установлены три пальца 6 и три оси 7 с размещенными на них сменными эксцентриковыми кулачками 8 с рифлеными зажимными поверхностями по типу I (см. табл. 5.2).

После установки изделия в центрах поворачивают кожух 12 по часовой стрелке для первичного соприкосновения кулачков с поверхностью изделия. При включении вращения патрона кулачки, в пазы которых входят пальцы 6, поворачиваются относительно осей 7 и захватывают изделие, передавая ему крутящий момент. Если изделие начинает прокручиваться, то кулачки дополнительно поворачиваются, что увеличивает передаваемый крутящий момент.

После окончания обработки для раскрытия кулачков необходимо повернуть кожух 12 с диском 10 против часовой стрелки до положения, фиксируемого с помощью подпружиненного шарика 13.

С эксцентриковым патроном (см. рис. 5.5) поставляется три комплекта сменных кулачков, на торцах которых указан диапазон диаметров изделий: 17...36, 36...56 и 56...76 мм.

Для передачи больших крутящих моментов изделию также применяют патроны с торцовыми штырьками (рис. 5.6), предназначенные для установки валов.

Патрон устанавливают на шпинделе станка с помощью фланца 4 и закрепляют шпильками 1 и гайками 2. Заостренные штырьки устанавливают в корпусе 8 по окружности диаметром D_1 . В крышке 10 выполнены отверстия специальной формы, в которые входят штырьки 9 с лысками, предотвращающими проворот штырьков.

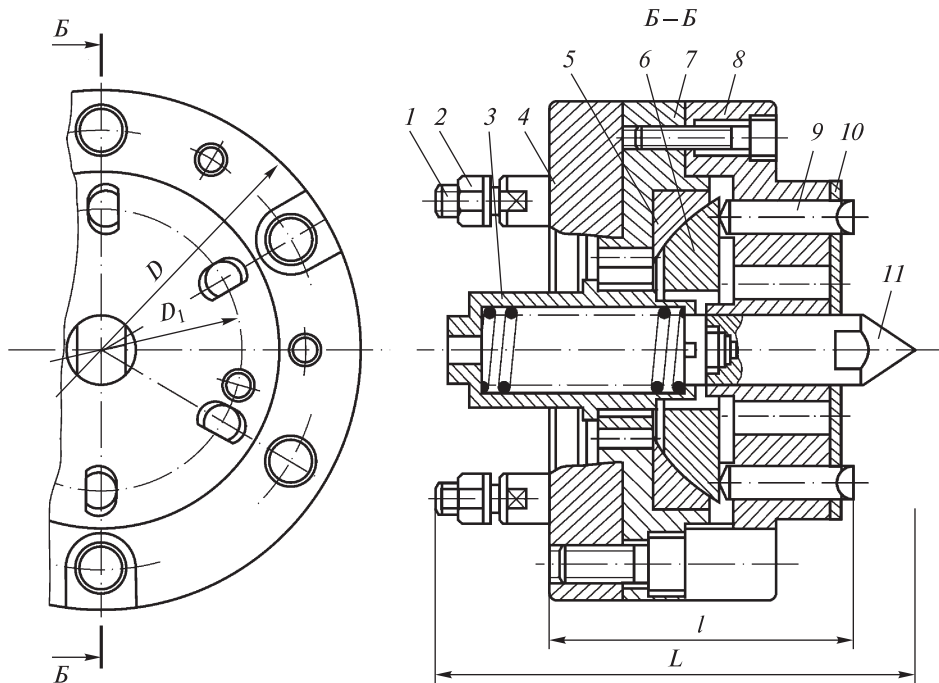


Рис. 5.6. Штырьковый патрон:

1 — шпилька; 2 — гайка; 3 — стакан; 4 — фланец; 5 — подпятник; 6 — пята; 7 — переходник; 8 — корпус; 9 — штырьки; 10 — крышка; 11 — плавающий центр; D , L , l — габаритные размеры; D_1 — диаметр окружности осей отверстий штырьков

Корпус 8 соединен с переходником 7. Штырьки 9 опираются сферическими концами на сферическую пятую 6, установленную на подпятнике 5, что способствует самоустановке штырьков по торцу вала. Вылет плавающего центра 11 и регулировка силы пружины осуществляются вращением стакана 3. При установке заготовки в центрах вращающийся центр задней бабки поджимает вал в направлении к патрону, при этом штырьки врезаются в торец вала на одинаковую глубину независимо от того, насколько перпендикулярен торец вала его оси.

Надежность и долговечность штырьковых патронов в первую очередь определяются материалом штырьков. Поэтому штырьки должны иметь высокую поверхностную твердость, но одновременно их сердцевина должна быть достаточно вязкой, что достигается цементацией штырьков из стали 18ХГТ с последующими закалкой до твердости HRC 48–52 и заточкой.

Схема сил, действующих на вал при обработке, показана на рис. 5.7.

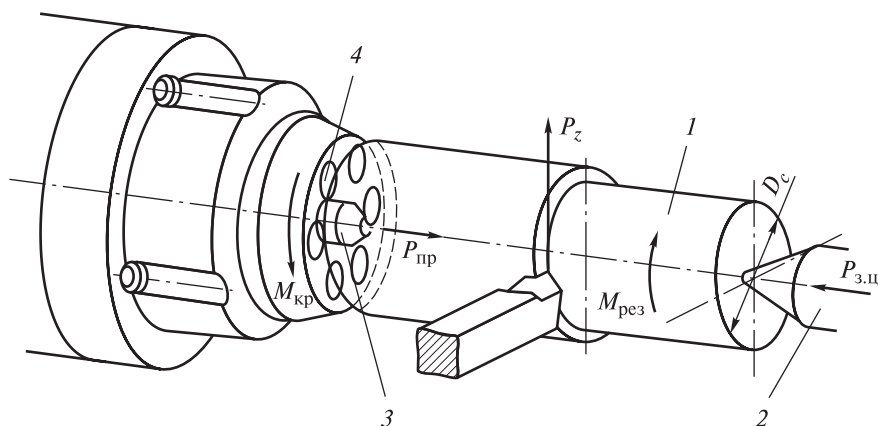


Рис. 5.7. Схема сил, действующих на вал, закрепленный в штырьковом патроне:
1 — вал; 2 — вращающийся центр задней бабки; 3 — плавающий центр; 4 — штырьки

При установке вала 1 вращающийся центр 2 задней бабки поджимает вал в осевом направлении к плавающему центру 3, и штырьки 4 врезаются в торец изделия на 0,2...0,3 мм независимо от отклонения перпендикулярности торца изделия относительно ее оси.

Крутящий момент $M_{кр}$, передаваемый штырьками, должен быть больше момента $M_{рез}$ составляющей силы резания P_z . Момент $M_{рез}$ рассчитывают по формуле

$$M_{рез} = P_z \frac{D_c}{2}, \quad (5.6)$$

где P_z — главная составляющая силы резания; D_c — заданный диаметр обработки.

Крутящий момент $M_{кр}$, передаваемый штырьками

$$M_{кр} = mP_{окр} \frac{D_1}{2}, \quad (5.7)$$

где m — число штырьков; $P_{окр}$ — окружная сила, передаваемая одним штырьком; D_1 — диаметр окружности центров штырьков.

Окружную силу, передаваемую одним штырьком, определяют из соотношения

$$P_{окр} = kP_o, \quad (5.8)$$

где $k = 0,63$ — при точении изделий из конструкционных сталей, $k = 0,89$ — из легированных и инструментальных сталей; P_o — суммарная осевая сила, действующая на изделие.

Осевая сила P_o определяет эффективность использования штырьковых патронов, поскольку недостаточная осевая сила не обеспечивает необходимый крутящий момент, передаваемый штырьками, а чрезмерная приводит к интенсивному изнашиванию штырьков и подшипников заднего вращающегося центра. Эту силу рассчитывают как разность силы $P_{з.ц}$, создаваемой задним центром, и силы пружины плавающего центра $P_{пр}$:

$$P_o = P_{з.ц} - P_{пр}, \quad (5.9)$$

где $P_{пр} = cl$ (c — жесткость пружины; l — длина хода пружины).

Оптимальный эффект достигается при осевой силе $P_o = 300$ Н на 1 мм суммарной глубины вдавливания штырьков, которая для шести штырьков может достигать 1,8 мм. При этом наименьший наружный диаметр D_c изделия должен быть равен наружному диаметру D_1 , а наибольший наружный диаметр — не более $3D_1$ (см. рис. 5.6).

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие приспособления наиболее эффективно применять на токарных станках с ЧПУ?

2. Для чего предназначен токарный самоцентрирующий клиновой патрон?

3. Какие кулачки применяют в токарных патронах?

4. Рассчитайте центробежную силу, действующую на кулачки массой $M = 4,5$ кг токарного патрона при частоте вращения шпинделя $n = 2500$ мин⁻¹ и расстоянии $R = 140$ мм от оси патрона до центра тяжести кулачка.

5. Назовите оптимальные значения осевой силы P_o при использовании поводковых патронов с торцовыми самоустанавливающимися штырьками.

6. Рассчитайте осевую силу P_o для крутящего момента $M_{кр} = 100$ Н·м.

Лекция 6. Приспособления для фрезерных станков с ЧПУ

Основным требованием к приспособлениям для фрезерных станков с ЧПУ является сокращение подготовительно-заключительного времени $t_{п-з}$, связанного с заменой изделий и приспособлений на станках.

Ориентация приспособления определяется конструкцией стола станка:

- в продольных и поперечных пазах — шпонками или штифтами;
- в продольных пазах и центральном отверстии — по пазу и отверстию двумя штифтами;
- в продольных пазах — двумя шпонками с последующей автоматической коррекцией нуля отсчета координат с помощью измерительного щупа.

Возможна также ориентация приспособления по двум плоскостям с помощью угольника, устанавливаемого в продольных пазах стола станка.

Ориентация и последующая установка изделия определяются конструкцией приспособления, поэтому применяют переналаживаемые приспособления систем УНП, УСП и СРП.

Приспособления УНП. К таким приспособлениям относятся тиски с переустанавливаемой опорной губкой, привод которой может быть ручным или механизированным, например пневматическим (рис. 6.1) или пружинно-гидравлическим (рис. 6.2).

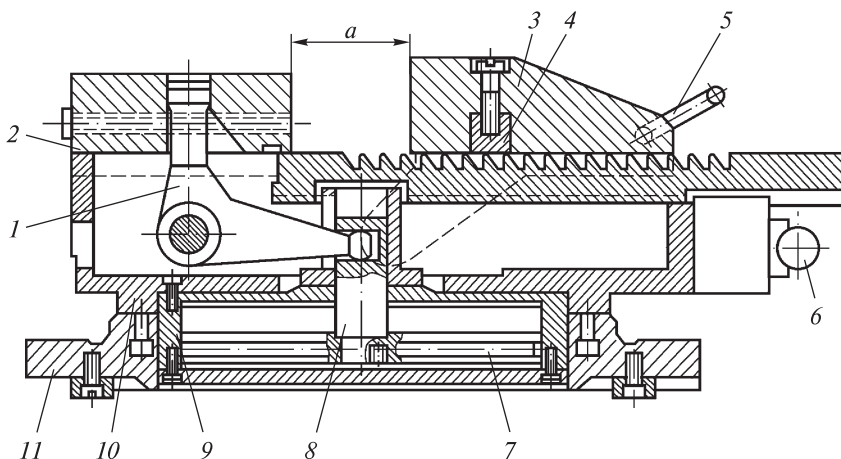


Рис. 6.1. Тиски с пневматическим приводом с переустанавливаемой губкой:

1 — рычаг; 2 — подвижная губка; 3 — неподвижная губка; 4 — планка; 5, 6 — рукоятки; 7 — поршень; 8 — шток; 9 — пневмоцилиндр; 10 — поворотный корпус; 11 — основание

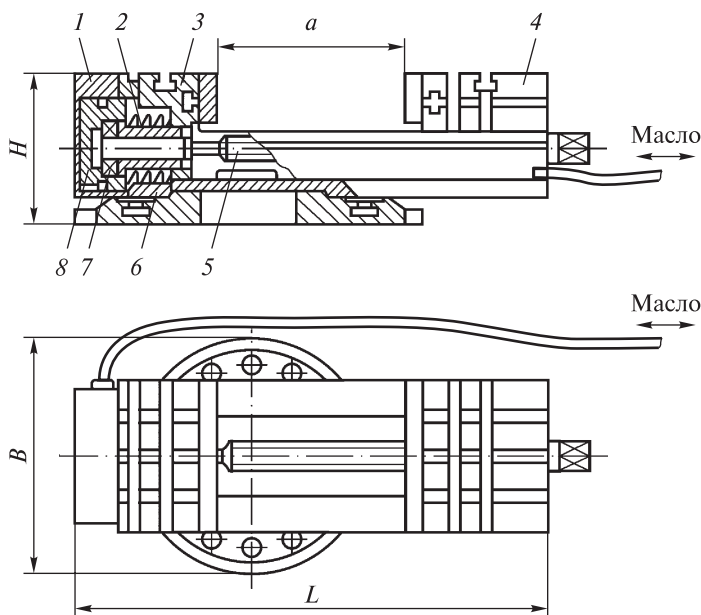


Рис. 6.2. Тиски с пружинно-гидравлическим приводом:

1 — корпус; 2 — пакет тарельчатых пружин; 3 — неподвижная губка; 4 — подвижная губка; 5 — шток; 6 — втулка; 7 — упорный подшипник; 8 — поршень

Тиски с *пневматическим приводом* (см. рис. 6.1) состоят из основания 11 и поворотного корпуса 10 со встроенным пневмоцилиндром 9. При повороте рукоятки 6 распределительного крана в положение зажима сжатый воздух поступает в штоковую полость пневмоцилиндра, в результате чего поршень 7 со штоком 8 опускается вниз, поворачивая по часовой стрелке рычаг 1. Рычаг перемещает подвижную губку 2 вправо, прижимая обрабатываемое изделие к неподвижной губке 3.

Для переналадки тисков необходимо повернуть рукоятку 5, при этом выступ планки 4 выходит из паза корпуса тисков. Затем губку перемещают на требуемый размер a так, чтобы выступ планки 4 вошел в соответствующий паз корпуса.

Обычно размеры обрабатываемого изделия находятся в диапазоне 20...240 мм при ходе зажимной губки примерно 20 мм. В зависимости от диаметра пневмоцилиндра и давления воздуха усилие зажима может составлять 12...25 кН.

В тисках с *пружинно-гидравлическим приводом* (см. рис. 6.2) для раскрепления изделия в гидроцилиндр, который состоит из корпуса 1 и поршня 8, масло поступает от источника давления, например от пневмогидравлического усилителя или гидравлической станции. Под действием давления масла поршень 8 перемещается вправо, сжимая пакет тарельчатых пружин 2. При этом шток 5 передвигает губку 4 вправо, раскрепляя заготовку.

Для закрепления изделия на корпусе тисков установлена неподвижная губка 3. Относительно нее пакет тарельчатых пружин через буртик втулки 6 и упорный подшипник 7 перемещает влево штоком 5 подвижную губку 4, зажимающую изделие.

На верхней и боковых поверхностях подвижной и неподвижной губок может быть выполнена сетка Т-образных и шпоночных пазов, предназначенных для установки и закрепления сменных наладок.

Приспособления УСП. Детали и сборочные единицы УСП (в соответствии с ГОСТ 31.111.41–93) с пазами 12 и 16 мм применяют для сборки приспособлений, предназначенных для установки изделий в мелкосерийном производстве.

В условиях частой смены обрабатываемых на данном станке изделий для каждой операции из деталей и сборочных единиц УСП собирается конкретное приспособление, которое может либо иметь встроенный привод, либо использовать привод, постоянно установленный на станке.

Механизированные УСП с пазами 12 мм рекомендуется применять для обработки изделий с габаритными размерами до 400×400×260 мм с усилием закрепления не более 30 кН. Для обработки больших размеров и в случаях, когда требуется увеличение зажимных усилий, необходимо использовать расширенный механизированный комплект УСП с пазами 16 мм.

По конструктивным данным и назначению детали и сборочные единицы комплектов УСП подразделяют на семь основных групп: сборочные единицы (гидравлические блоки); базовые детали; гидроцилиндры; прижимные элементы; опорные элементы; установочные элементы; арматура гидропривода.

Базовые детали (блоки гидравлические, губки — подвижная и неподвижная, прямоугольные плиты) предназначены для создания базовых оснований собираемых приспособлений.

Гидроцилиндры служат для передачи силы зажима на прижимные элементы.

Прижимные элементы обеспечивают зажим обрабатываемых заготовок в приспособлениях. К этой группе относятся прижимы гидравлические, захваты самоустанавливающиеся, ступенчатые и вильчатые, прижимы клиновые и эксцентриковые.

Опорные элементы (опоры прямоугольные, планки, корпуса, подкладки, опоры регулируемые) предназначены для установки и закрепления гидроцилиндров в собираемых приспособлениях в необходимом положении и для базирования обрабатываемых заготовок.

Установочные детали (упоры регулируемые, угольники, установы, переходные шпонки, вкладыши) служат для базирования заготовок, а также для взаимной фиксации элементов приспособления.

Арматура гидропривода обеспечивает рабочее давление в гидравлических устройствах собранных приспособлений. К этой группе относятся пневмогидропреобразователи, гидроусилители, резинометаллические рукава, штуцеры, коллекторы.

В качестве привода механизированных УСП может быть использован любой источник давления, обеспечивающий подачу масла под давлением 10 МПа.

Для этого применяют пневмогидропреобразователи, которые преобразуют низкое давление воздуха в высокое давление масла.

На рис. 6.3 показано механизированное приспособление, собранное из элементов системы УСП.

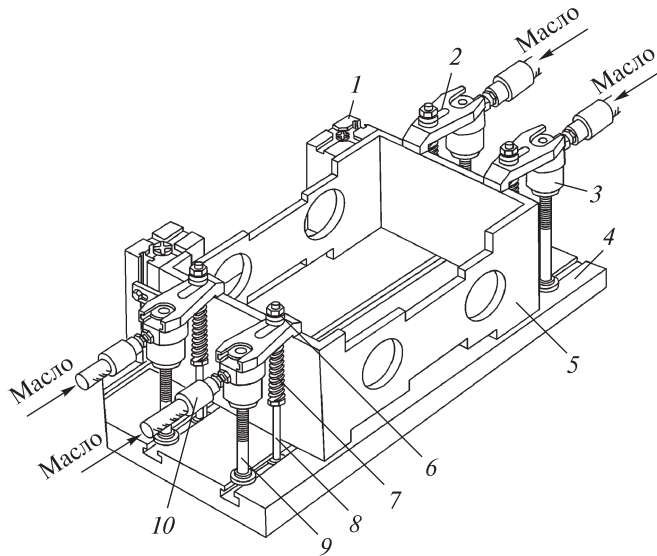


Рис. 6.3. Механизированное приспособление из элементов УСП для обработки корпусных деталей:

1 — упор; 2 — прижим гидравлический; 3 — гидроцилиндр; 4 — базовая плита; 5 — изделие; 6 — гайка; 7 — пружина; 8 — винт с Т-образной головкой; 9 — шток; 10 — штуцер резино-металлического рукава маслопровода

Изделие 5 устанавливают на базовой плите 4 с ограничением перемещения с помощью упоров 1. Гидравлические прижимы 2, смонтированные на гидроцилиндрах 3, могут поворачиваться относительно винтов 8 с Т-образной головкой. Гайки 6 и пружины 7 удерживают прижимы в верхнем положении. Для закрепления изделия через штуцеры 10 подается масло в гидроцилиндры, поршни которых при неподвижных штоках 9 поднимаются вверх в пределах 6...8 мм и поворачивают прижимы до полного контакта с изделием.

Механизированное приспособление из элементов системы УСП, включающее гидравлический блок, представлено на рис. 6.4.

Пакет изделий 6 из отдельных полос устанавливают таким образом, чтобы полосы во время обработки не смещались относительно друг друга. Для этого их положение определяется установочными элементами: опорой 1 с пальцем 2, угольником 12 и планками-упорами 7 и 13 по осям Y и X соответственно.

Закрепляют пакет четыре гидроцилиндра, встроенные в гидравлический блок 8, который установлен на базовой плите 9. Самоустанавливающиеся

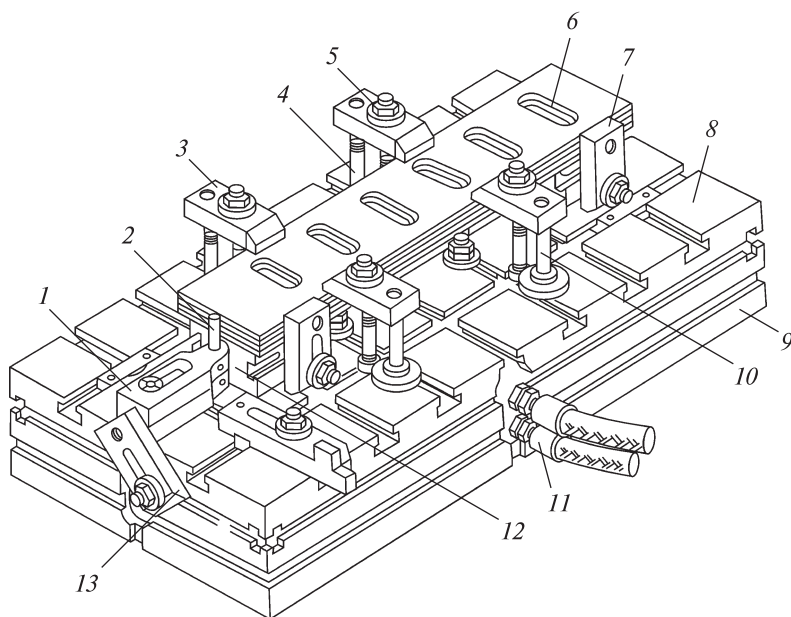


Рис. 6.4. Приспособление из элементов УСП для обработки плоских деталей:

1 — опора с установочным пальцем; 2 — установочный палец; 3 — самоустанавливающийся прихват; 4 — винт с T-образной головкой; 5 — гайка винта; 6 — пакет изделий; 7 — планка-упор по оси Y; 8 — гидравлический блок; 9 — базовая плита; 10 — шток гидроцилиндра; 11 — штуцер резино-металлического рукава маслопровода; 12 — угольник; 13 — планка-упор по оси X

прихваты 3 могут поворачиваться относительно винтов 4 с T-образной головкой, на которые навинчиваются гайки 5. Для закрепления пакета через штуцеры 11 в гидроцилиндры подается масло, поршни гидроцилиндров толкают штоки 10 вверх и поворачивают прихваты для создания усилия прижима примерно 5 кН.

Приспособления СРП. Такие приспособления предназначены для установки изделий различной конфигурации в серийном производстве. Переналадка приспособлений обеспечивается перекомпоновкой, регулированием или сменой наладок.

В комплект приспособлений СРП входят базовые плиты и гидроцилиндры с арматурой для присоединения к внешнему гидроприводу. Опорные, прижимные и установочные элементы заимствуют из комплекта УСП или, если необходимо, изготавливают специальные.

Конструкция сборно-разборного приспособления для установки корпуса редуктора и последующей обработки основных и вспомогательных отверстий приведена на рис. 6.5.

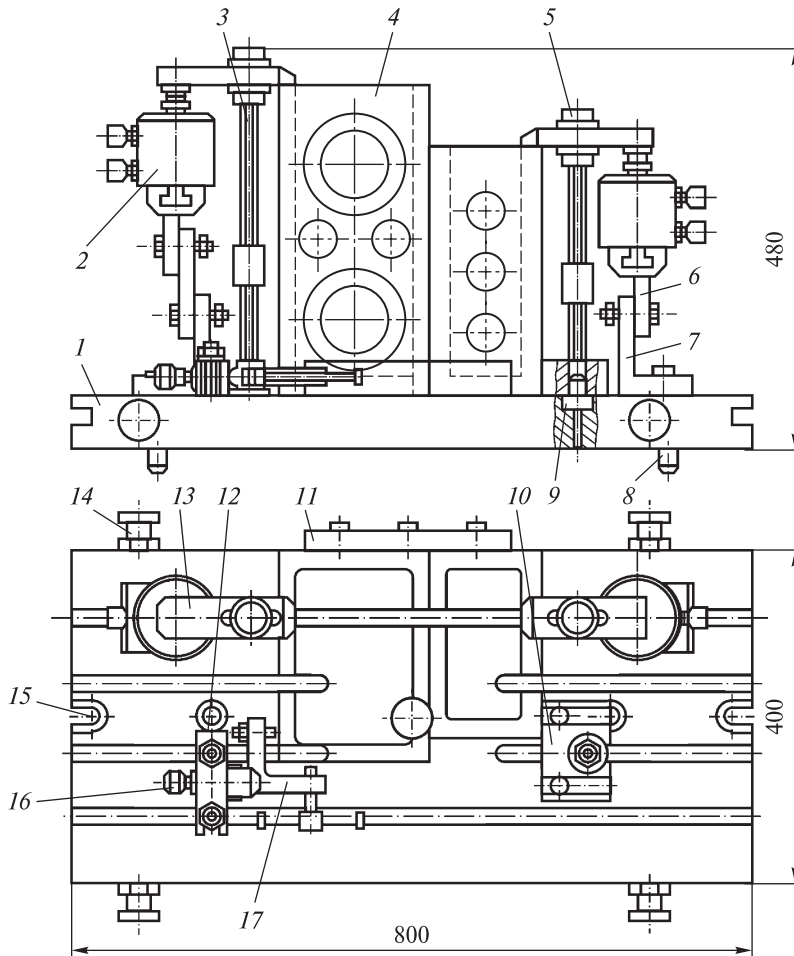


Рис. 6.5. Сборно-разборное приспособление для обработки отверстий в корпусе редуктора:

1 — базовая плита; 2 — гидроцилиндр; 3 — винт; 4 — изделие; 5 — гайка; 6, 10, 11 — планки; 7, 17 — угольники; 8 — палец; 9 — отверстие сетки координатно-фиксирующих отверстий; 12 — опора; 13 — прихват; 14 — рым-болт; 15 — проушина; 16 — регулировочный винт

Для установки сменных наладок на базовой плите 1 выполнены Т-образные пазы шириной 16 мм и сетка координатно-фиксирующих отверстий (КФО), на рисунке показано отверстие 9 с установленным в нем пальцем. Плита базируется по плоскости и двум отверстиям в столе станка пальцами 8 и закрепляется двумя болтами через проушины 15. Для транспортировки плиты предусмотрены рым-болты 14.

Первичное положение изделия 4 на плите определяется планками 10 и 11, а окончательная установка выполняется с помощью угольника 17, присоединенного к опоре 12 с регулировочным винтом 16.

Закрепление изделия осуществляется четырьмя гидроцилиндрами 2, установленными на базовой плите с помощью планок 6 и угольников 7. Самоустанавливающиеся прихваты 13 могут поворачиваться относительно винтов 3 с Т-образной головкой, на которые навинчиваются гайки 5.

Приспособление СРП для многоцелевых станков с размерами квадратного поворотного стола 800...1250 мм, показано на рис. 6.6. Основой таких приспособлений являются базовые плиты (рис. 6.6, а) с Т-образными пазами 1 и сеткой КФО 2, предназначенными для установки сменных наладок. Отверстия закрыты пробками, которые при сборке приспособлений утапливаются и фиксируются в этом положении. Для установки плит на столе станка выполнены два П-образных паза 3. В таком приспособлении может быть установлено одно или несколько изделий (рис. 6.6, б–г).

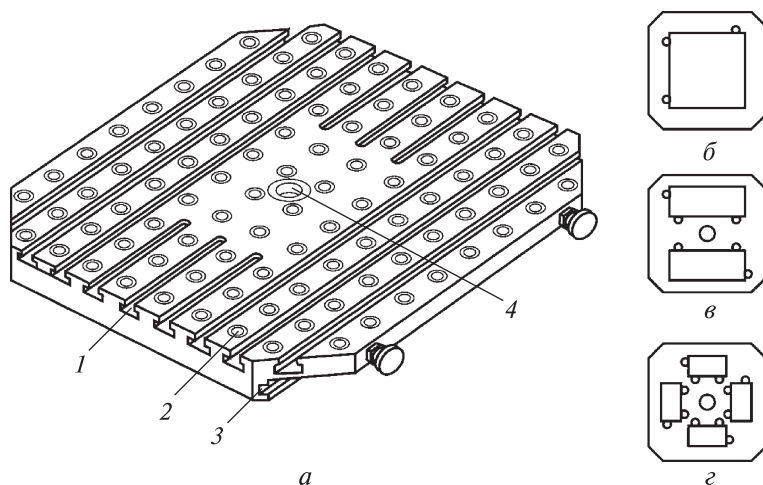


Рис. 6.6. Квадратная плита (а) и схемы установки одного (б), двух (в) и четырех (г) изделий:

1 — Т-образный крепежный паз; 2 — координатно-фиксирующее отверстие; 3 — П-образный паз; 4 — центральное отверстие

Центральное отверстие плиты 4 диаметром 90 мм предназначено для ее фиксации относительно центрального отверстия стола станка. На нижней поверхности плиты имеются два отверстия для размещения пальцев-шпонок, необходимых для ориентации СРП по центральному Т-образному пазу стола станка.

В целях повышения точности установки сменных наладок на базовых плитах в приспособлениях СРП используют сборные пальцы (рис. 6.7).

Палец, состоящий из штифта 2 с двумя коническими поверхностями и двух разрезных втулок 1 с резиновыми шайбами 3 на концах, устанавливается

в отверстие сетки КФО базовой плиты 4. В начале сборки с плитой палец входит в отверстие сменной наладки 5 таким образом, что образуется первичный зазор Δ . После приложения силы P к наладке торцы отверстий давят через шайбы на втулки, которые, перемещаясь по конусам пальца, раздвигаются и создают натяг в цилиндрических соединениях пальца с плитой и наладкой.

Для установки нескольких изделий в приспособлениях СРП используют призмы, составленные из четырех квадратных секций 4 (рис. 6.8), на поверхностях которых выполнены взаимно перпендикулярные Т-образные пазы 1, а по верхним и боковым поверхностям — сетки КФО 2. Глухие отверстия 3 служат для установки штифтов с номерами отверстий.

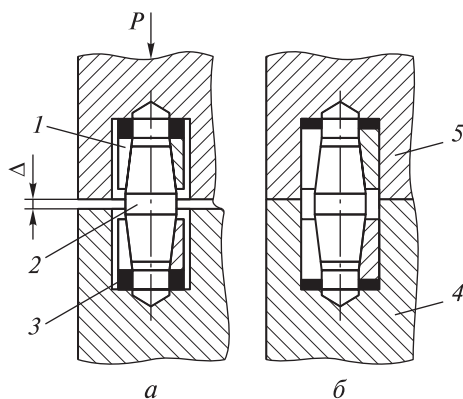


Рис. 6.7. Фиксация элементов приспособлений СРП сборными пальцами:
а — начало; б — окончание; 1 — разрезная втулка; 2 — штифт; 3 — резиновая шайба; 4 — базовая плита; 5 — сменная наладка

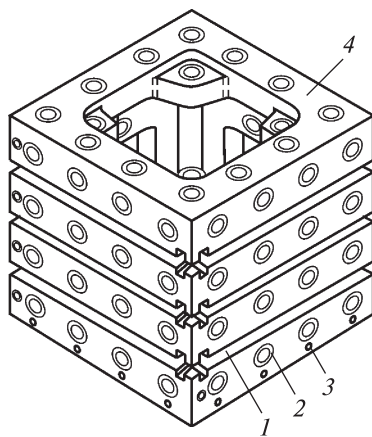


Рис. 6.8. Секционная призма:
1 — Т-образный паз; 2 — координатно-фиксирующее отверстие; 3 — глухое отверстие; 4 — секция

В каждой секции имеются четыре отверстия для соединения между собой или для установки на столе станка, а в центре основания нижней секции выполнено отверстие для ориентации по центральному отверстию стола.

Размеры и другие параметры СРП для многоцелевых станков приведены в табл. 6.1.

Замена Т-образных пазов на отверстия, ликвидация зазоров и увеличение диаметров крепежных болтов повышают жесткость базовых конструкций элементов СРП. Это позволяет увеличить подачу при фрезеровании в 1,7 раза по сравнению с фрезерованием с использованием УСП.

Таблица 6.1

**Технические характеристики различных моделей сборно-разборных приспособлений
для многоцелевых станков**

Параметр	СРП-1	СРП-2	СРП-3	СРП-4	СРП-5	СРП-6	СРП-7
Число типоразмеров элементов	117	120	152	154	153	170	179
Число элементов, в том числе базовых	1110 2	1116 2	1330 2	2101 3	1410 2	3983 20	2979 15
Габаритные размеры базовых плит, мм	400× ×400× ×30	630× ×400× ×30	500× ×500× ×45	800× ×630× ×4	800× ×630× ×45	500× ×500× ×4	800× ×800× ×45
Диаметр резьбы основного крепежа	M16	M16	M20	M20	M20	M20	M20
Диаметр фиксирующих отверстий, мм	10H7	10H7	12H7	12H7	12H7	12H7	12H7
Расстояние между смежными резьбовыми или смежными фиксирующими отверстиями, мм	30	30	40	40	40	40	40
Число приспособлений, собираемых одновременно	2	2	2	3	2	20	15

Вопросы и задания для самоконтроля

1. По каким схемам выполняют установку заготовок на станках с ЧПУ фрезерной группы?
2. Для обработки каких деталей рекомендуется применять механизированные приспособления системы УСП?
3. Перечислите функциональные элементы наборов сборно-разборных приспособлений для многоцелевых станков.
4. К каким функциональным элементам наборов сборно-разборных приспособлений относятся универсальные регулируемые опоры и регулируемые подводимые опоры?
5. Для чего предназначены сборно-разборные приспособления?
6. Перечислите основные детали и сборочные единицы комплектов универсально-сборных приспособлений, исходя из конструктивных данных и назначения.

Лекция 7. Приспособления для гибких производственных модулей и систем

В конструкциях приспособлений для установки изделий в ГПМ и на станках ГПС необходимо обеспечивать совмещение времени, затрачиваемого на смену изделий, со временем работы станка, для того чтобы основное (технологическое) время T_0 в балансе штучно-калькуляционного времени увеличилось в 1,5–2 раза.

При фрезеровании изделий небольших габаритных размеров указанное требование выполняется в случае установки нескольких приспособлений на столе станка. При установке двух различных приспособлений (рис. 7.1) в первом изделии 4 обрабатывается группа поверхностей 3 по одной программе, затем фреза 2 перемещается по траектории 1 и фрезерует поверхности 5 второго изделия 6 по второй программе.

Два приспособления могут быть одной и той же конструкции. В этом случае в каждом из них устанавливают одинаковые изделия, которые обрабатывают по одной и той же программе.

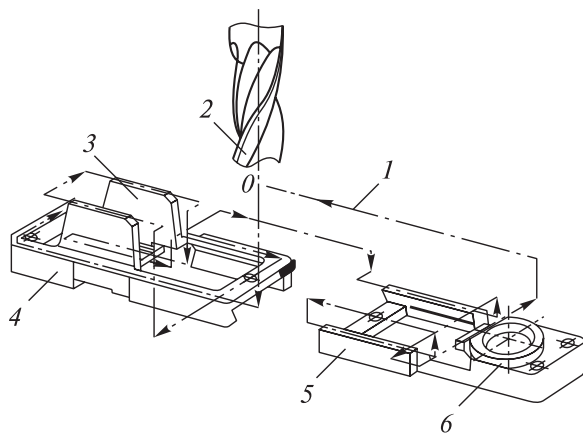


Рис. 7.1. Схема обработки двух разных изделий, установленных в двух приспособлениях:
1 — траектория движения фрезы; 2 — фреза; 3, 5 — обрабатываемые поверхности; 4 — первое изделие; 6 — второе изделие

Для совмещения времени смены изделий со временем работы станка применяют двух- или четырехпозиционные приспособления, устанавливаемые на поворотных столах станков с ЧПУ с горизонтальным шпинделем (см. рис. 6.6).

Наиболее эффективным способом сокращения времени установки (базирования и закрепления) изделия T_y при условии, что T_y существенно превышает основное время T_o , является смена изделий вне ГПМ во время его работы.

Кроме того, можно сократить подготовительно-заключительное время $T_{п-з}$ при переналадке ГПМ на новую партию изделий.

Для установки изделий вне станка применяют вспомогательный стол с двух- или трехместным устройством автоматической смены приспособлений. Основой таких приспособлений служат специальные базовые плиты, которые называют спутниками.

Спутники выполняют с Т-образными пазами или с сеткой КФО на поверхности для установки изделий с помощью сменных установочных и зажимных элементов.

В двухместном устройстве, когда плита-спутник 1 установлена на столе 6 станка 2, на вспомогательном столе 3 размещают плиту-спутник 4 с очередным изделием (рис. 7.2). По окончании обработки плита-спутник 1 перемещается в направлении оси X на свободную позицию вспомогательного стола, с помощью привода 5 поворачивается на 180° , и плита-спутник 4 перемещается на стол станка 6. Обработанное изделие раскрепляют на плите-спут-

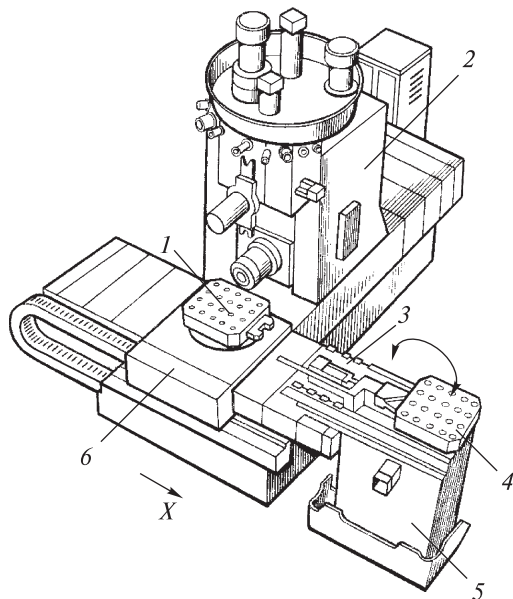


Рис. 7.2. Двухместное устройство автоматической смены приспособлений:

1, 4 — плиты-спутники; 2 — станок; 3 — вспомогательный стол; 5 — привод поворота вспомогательного стола; 6 — стол станка

нике 1 и снимают с нее, а затем устанавливают и закрепляют следующее изделие. Далее цикл повторяется.

Конструкция трехместного устройства для автоматической смены плит-спутников показана на рис. 7.3.

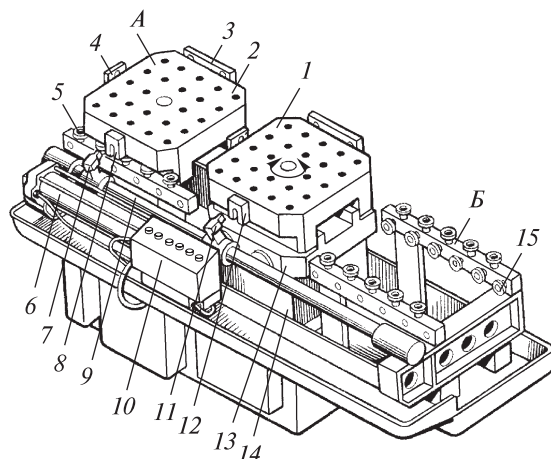


Рис. 7.3. Трехместное устройство для автоматической смены плит-спутников:

1, 2 — плиты-спутники; 3, 4 — планки; 5, 15 — ролики; 6 — гидроцилиндр; 7, 11 — захваты; 8, 12 — замки; 9 — каретка; 10 — пульт; 13 — поворотный стол; 14 — станина станка; А, Б — позиции поворотного стола

Трехместное устройство автоматической смены плит-спутников работает следующим образом. На поворотном столе 13 и расположенном слева от него вспомогательном столе в позиции А находятся плиты-спутники 1 и 2 с планками 3 и 4. Справа от поворотного стола станка находится позиция Б для второго вспомогательного стола.

В процессе обработки первого изделия, закрепленного на плите-спутнике 1, установленном на поворотном столе 13, второе изделие находится на плите-спутнике 2 в позиции А ожидания обработки. Стол станка установлен на станине 14 и не имеет поперечных перемещений, так как их выполняет стойка станка со шпиндельной бабкой.

По окончании обработки изделия плита-спутник 1 автоматически перемещается в позицию Б, а плита-спутник 2 — из позиции А на поворотный стол станка. Для перемещения спутников с позиций А и Б на стол станка на вспомогательных столах установлены направляющие ролики 5 и поддерживающие ролики 15.

Силовой привод устройства — гидроцилиндр 6 связан с кареткой 9, на концах которой располагаются захваты 7 и 11, входящие в зацепление с замками 8 и 12 плит-спутников после поворота каретки вокруг горизонтальной оси. Для поворота плиты-спутника вокруг вертикальной оси, когда он находится на столе станка, захваты отводятся, как показано на рис. 7.3.

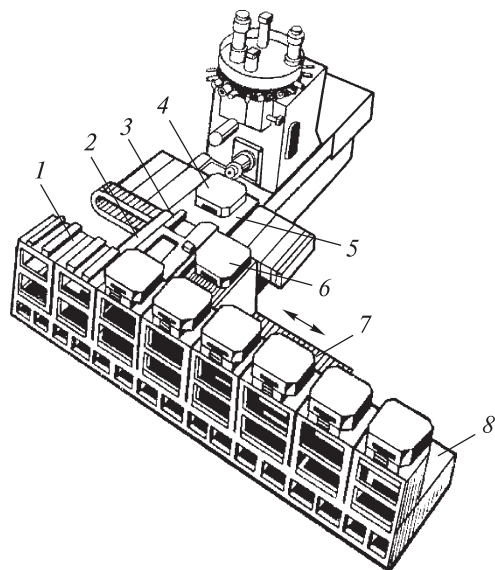


Рис. 7.4. Магазин-накопитель плит-спутников:

1 — свободная позиция магазина; 2 — транспортный робот; 3 — гидрофицированный модуль робота; 4 — плита-спутник с обработанным изделием; 5 — поворотный стол станка; 6 — плита-спутник с изделием для обработки; 7 — направляющие робота; 8 — стыковочная платформа магазина

Контроль за работой устройства смены спутников с помощью пульта 10 осуществляет оператор станка. Раскрепление и съем обработанного изделия, установку и закрепление следующего изделия выполняет поочередно на столах А и Б другой оператор.

Для работы без вмешательства операторов применяют неподвижные магазины-накопители универсальных плит-спутников с установленными на них изделиями массой 300...800 кг (рис. 7.4). Для перемещения плит-спутников используется транспортный робот, управляемый от ЭВМ.

Транспортный робот 2 перемещается в пространстве между станком и магазином по направляющим 7. В соответствии с программой робот останавливается напротив плиты-спутника 4 с обработанным изделием, которая освобождается от закрепления на поворотный стол станка 5. Робот стыкуется с платформой магазина 8, и гидрофицированный модуль 3 захватывает плиту-спутник 4. Робот перемещается влево к свободной позиции 1 магазина, для того

чтобы установленная на втором гидрофицированном модуле робота плита-спутник 6 с изделием, подлежащим обработке, могла переместиться на поворотный стол станка. Плита-спутник 4 с обработанным изделием перемещается роботом на свободную позицию магазина, а робот отправляется за следующей плитой-спутником, чтобы загрузить ее на освободившийся гидрофицированный модуль.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Выберите тип приспособления для сокращения вспомогательного времени, затрачиваемого на смену изделий, если длительность цикла обработки одной детали превышает вспомогательное время.
2. Какие магазины-накопители сменных приспособлений (спутников) применяют для работы станков по безлюдной (трудосберегающей) технологии?
3. Какие магазины-накопители сменных приспособлений (спутников) используют для перемещения тяжелых корпусных изделий массой более 800 кг?
4. Какая составляющая штучно-калькуляционного времени сокращается при использовании двух- или четырехпозиционных приспособлений, устанавливаемых на поворотных столах станков с ЧПУ с горизонтальным шпинделем?

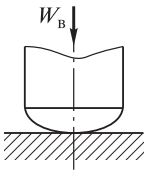
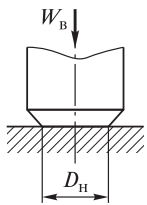
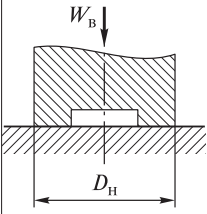
Лекция 8. Зажимные устройства приспособлений

К зажимным устройствам относятся простейшие механизмы, используемые для закрепления заготовок или выполняющие роль промежуточных звеньев в сложных зажимных системах. При конструировании приспособлений по требуемой силе закрепления заготовки устанавливают основные размеры зажимного устройства и определяют исходную силу (момент) на рукоятке или силовом узле привода приспособления.

Винтовые механизмы. Усилие W_B , развиваемое винтовым механизмом, зависит от приложенного момента $M_{кр}$, формы рабочего торца винта и вида резьбы. В зависимости от формы рабочего торца винта усилие зажима определяется по формулам, приведенным в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Расчетные усилия винтовых механизмов

Форма конца винта	Схема	Усилие зажима W_B , Н	Индекс самоторможения $I_{с.т}$
Сферическая		$\frac{M_{кр}}{0,5d \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{пр})}$	$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{пр})}$
Цилиндрическая		$\frac{M_{кр}}{0,5d \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{пр}) + \frac{f_{тр} D_H}{3}}$	$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{пр}) + \frac{2D_H}{3d}}$
Кольцевая		$\frac{M_{кр}}{0,5d \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{пр}) + f_{тр} R \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}}$	$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{пр}) + \frac{2R}{d} f_{тр} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}}$

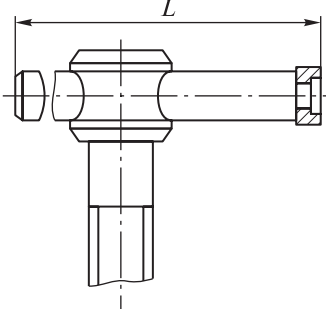
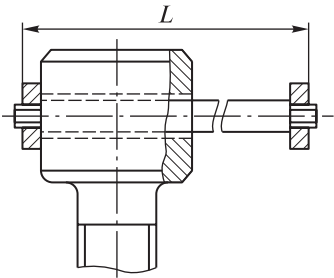
Примечания. $M_{кр}$ — крутящий момент, который приложен к винту, Н·м; d — диаметр резьбы, мм; α — угол подъема резьбы, $\alpha = 1,5 \dots 4^\circ$; $\varphi_{пр}$ — приведенный угол трения, $\varphi_{пр} = 6 \dots 16^\circ$; $f_{тр}$ — коэффициент трения, для стали $f_{тр} = 0,1$; $R = 0,8$; $\beta = 120^\circ$; D_H — диаметр конца винта

Самоторможение винтового механизма обеспечивается при условии, что $\alpha < \varphi_{\text{пр}}$ (α — угол подъема резьбы; $\varphi_{\text{пр}}$ — приведенный угол трения в резьбе). Для крепежных резьб $\alpha = 1,5 \dots 4^\circ$, а приведенный угол трения $\varphi_{\text{пр}}$ изменяется в зависимости от значения коэффициента трения в пределах $6 \dots 16^\circ$, поэтому все крепежные резьбы являются самотормозящими.

Надежность винтового механизма определяется его индексом самоторможения $I_{\text{с.т.}}$, который рассчитывают по формулам, приведенным в табл. 8.1. Если индекс самоторможения больше 0,4, следует выбрать резьбу с более мелким шагом. По моменту $M_{\text{кр}}$ выбирают форму рукоятки с учетом требований эргономики (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Крутящий момент $M_{\text{кр}}$ для двух конструкций головок нажимных винтов

Номинальный диаметр резьбы	Головка винта с рукояткой		Головка винта с отверстием под рукоятку	
				
	L , мм	$M_{\text{кр}}$, Н·м	L , мм	$M_{\text{кр}}$, Н·м
M12	100	14,70	60–100	8,8–14,7
M16	120	17,6	80–140	13,6–20,60
M20	160	23,5	100–180	14,7–26,5
M24	160	23,5	125–220 140–280	18,4–32,4 20,6–41,0

При откреплении детали крутящий момент следует увеличить примерно на 20 % по сравнению с крутящим моментом при закреплении.

Номинальный диаметр резьбы, мм, определяют по формуле

$$d = c \sqrt{\frac{W_{\text{в}}}{[\sigma_{\text{р}}]}}, \quad (8.1)$$

где c — коэффициент для основных метрических резьб, $c \approx 1,4$; $[\sigma_{\text{р}}]$ — допускаемые напряжения материала, МПа.

Допускаемые напряжения различных материалов приведены в табл. 8.3.

Рычажные механизмы. Эти устройства обеспечивают постоянство усилия зажима, имеют несложную конструкцию, просты и надежны в эксплуатации.

Таблица 8.3

Допускаемые напряжения материалов, применяемых для изготовления резьбовых изделий

Марка стали	Термообработка	Допускаемые напряжения при растяжении $[\sigma_p]$, МПа	
		при статической нагрузке	при переменной нагрузке
10	—	60–70	30–40
Ст3	—	70–80	30–40
A12	—	80–90	40–50
35	—	100–110	50–60
45	Отжиг	100–120	50–60
45	Нормализация	120–140	60–70
45	Улучшение	150–170	70–80
45	Закалка	190–210	80–90
40X	Отжиг	140–160	70–80
40X	Улучшение	170–190	85–95
40X	Закалка	280–300	110–120

Их недостаток — отсутствие самоторможения. К рычажным механизмам относятся Г-образные прихваты и рычажно-шарнирные механизмы.

Для расчета хода рычажного механизма в точке приложения усилия зажима к закрепленному изделию следует определить его минимально необходимое значение

$$S_{\min} = \delta + \frac{W}{J} + \Delta S, \quad (8.2)$$

где δ — допуск на размер закрепленного изделия, мм; W — усилие зажима, кН; J — жесткость рычажного механизма, принимается равной 14...25 кН/мм; ΔS — гарантированный запас хода, принимается равным 0,4...0,8 мм.

Общий ход $S_{o.x}$ складывается из свободного хода S_c , необходимого для установки на сьем детали ($S_c = 3...4$ мм), и минимального хода $S_{\min}$:

$$S_{o.x} = S_c + S_{\min}.$$

Г-образные прихваты (рис. 8.1) широко применяют для крепления изделий в приспособлениях-спутниках в условиях автоматизированного производства. Закрепление может быть осуществлено от электромеханического ключа, гидроцилиндра, реечной передачи.

Перед закреплением изделия 1 вращением гайки 3 по резьбе неподвижного винта 4 регулируют общий ход прихвата 2 путем изменения расстояния H . При завинчивании гайки пружина 5 сжимается, и направляющая 7 с прихватом опускаются в наладке 6, а при отвинчивании пружина выталкивает направляющую вверх.

Усилие, создаваемое Г-образным прихватом на изделии, рассчитывают по формуле

$$W = (W_b - q) \left(1 - \frac{3f_{тр}l}{H} \right), \quad (8.3)$$

где W_B — усилие, приложенное к прихвату, Н; q — усилие возвратной пружины, Н; $f_{тр}$ — коэффициент трения в направляющей прихвата, принимается равным 0,05...0,1; l — плечо приложения усилия прихвата, мм; H — длина опорной поверхности направляющей прихвата, мм.

Рычажно-шарнирные механизмы просты по конструкции, обеспечивают большое передаточное отношение и являются быстродействующими.

По конструкции рычажно-шарнирные механизмы делятся на однорычажные, двухрычажные одностороннего действия и двухрычажные двустороннего действия.

Рассмотрим двухрычажный шарнирный механизм с роликом (рис. 8.2).

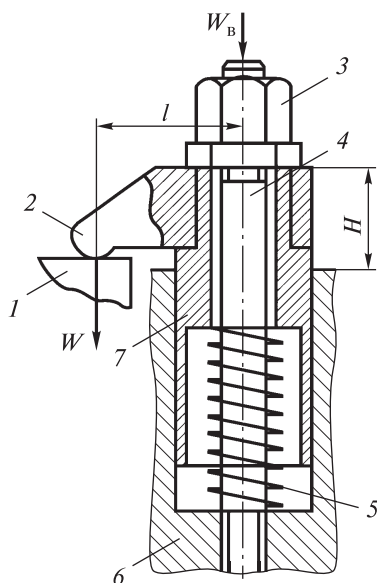


Рис. 8.1. Схема действия сил в Г-образном прихвате:

1 — изделие; 2 — прихват; 3 — гайка; 4 — винт; 5 — пружина; 6 — наладка; 7 — направляющая

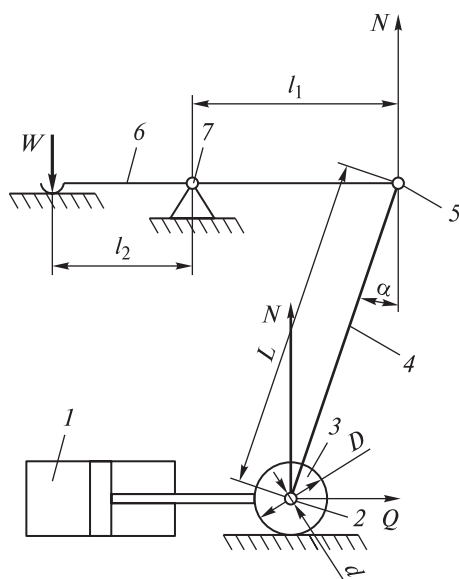


Рис. 8.2. Расчетная схема двухрычажного шарнирного механизма с роликом:

1 — привод; 2 — цапфа; 3 — ролик; 4, 6 — рычаги; 5 — шарнир; 7 — опора

Для создания усилия зажима W с помощью привода 1 создается усилие Q , прикладываемое к цапфе 2 диаметром d ролика 3. В результате качения ролика цапфа с прикрепленным к ней нижним концом рычагом 4 перемещается по горизонтали. Рычаг поворачивается на угол α и толкает шарнир 5 вверх силой N , поворачивая рычаг 6 относительно опоры 7.

Из соотношения плеч рычага 6 усилие зажима изделия

$$W = N \frac{l_1}{l_2}. \quad (8.4)$$

Силу N определяют по формуле:

$$N = \frac{Q}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta) + \operatorname{tg} \varphi_{\text{лп}}}, \quad (8.5)$$

где Q — усилие, приложенное к рычажно-шарнирному механизму, Н; α — угол наклона, град; β — дополнительный угол к углу α , учитывающий потери на трение в шарнирах, $\beta = \arcsin fd/L$; $f_{\text{тр}}$ — коэффициент трения скольжения в шарнирах и на оси ролика; d — диаметр цапф шарниров и ролика, мм; L — длина рычага, мм; $\operatorname{tg} \varphi_{\text{лп}}$ — приведенный коэффициент трения, учитывающий потери на трение в роликовой опоре, $\operatorname{tg} \varphi_{\text{лп}} = \frac{d}{D} \operatorname{tg} \varphi_1$ (D — наружный диаметр ролика, мм; $\operatorname{tg} \varphi_1$ — коэффициент трения скольжения в соединении цапфы с роликом).

Гарантированный запас хода двухрычажного шарнирного механизма:

$$\Delta S = L(1 - \cos \alpha).$$

Клиновые механизмы. Такие механизмы обеспечивают постоянство сил закрепления и самоторможения, однако требуют хорошей защиты от загрязнения и попадания стружки. Клиновые механизмы в станочных приспособлениях бывают с односкосым клином без роликов и с роликами, которые обычно применяются в качестве усилителей пневмо- и гидроприводов, и многоклиновые самоцентрирующие, их используют в конструкциях патронов и оправок.

Исходя из условия равновесия клинового механизма с односкосым клином с трением на обеих поверхностях клина (рис. 8.3), усилие зажима можно рассчитать по формуле

$$W = \frac{Q}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \operatorname{tg} \varphi_1}, \quad (8.6)$$

где Q — усилие, приложенное к клину, Н; α — угол скоса клина, град; φ — угол трения на наклонной плоскости клина; φ_1 — угол трения на горизонтальной плоскости клина.

При том же условии равновесия для клинового механизма с односкосым клином и с роликом усилие зажима

$$W = \frac{Q}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \operatorname{tg} \varphi_{\text{лп}}}, \quad (8.7)$$

где $\varphi_{\text{лп}}$ — приведенный угол трения качения на горизонтальной поверхности клина.

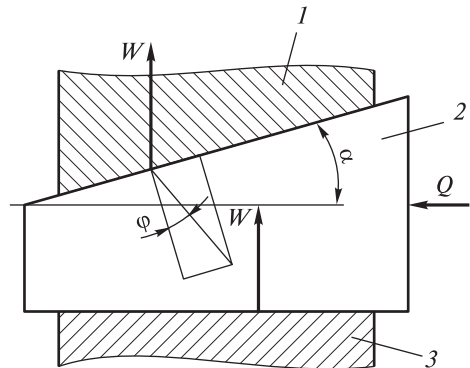


Рис. 8.3. Расчетная схема клинового механизма:

1 — изделие; 2 — клин; 3 — приспособление

Для гарантированного приложения усилия зажима клиновым механизмом к закрепляемому изделию следует определить минимально необходимое значение хода клина по формуле

$$S_{\min} = \delta + \frac{W}{J} + \Delta S + \Delta_{\text{гар}}, \quad (8.8)$$

где δ — допуск на размер изделия, мм; J — жесткость механизма, принимается равной 1...2,5 кН/мм; ΔS — запас хода штока привода, принимается равным 0,2...0,4 мм; $\Delta_{\text{гар}}$ — гарантированный зазор для установки изделия, принимается равным 0,2...0,4 мм.

В механизмах без роликов для обеспечения самоторможения рекомендуется делать угол скоса клина $\alpha < 5^\circ 30'$.

Клиновые механизмы с роликами обычно используются в качестве усилителей и являются несамотормозящими, в механизмах с роликами угол скоса клина $\alpha > 10^\circ$.

Эксцентрикковые механизмы. В этих механизмах используют круговые и криволинейные эксцентрики.

Круговые эксцентрики представляют собой диск или вал со смещенной осью вращения относительно его геометрической оси. Преимущество круговых эксцентриков — простота изготовления, недостаток — непостоянство угла подъема эксцентрика и, следовательно, усилий зажима.

Угол подъема кругового эксцентрика достигает максимального значения при угле поворота 90° . Изменение угла подъема сказывается на зажимном усилии. В связи с этим для обеспечения незначительного изменения зажимного усилия выбирают рабочий участок профиля кругового эксцентрика в пределах $30...45^\circ$ влево и вправо от расчетной точки контакта детали с эксцентриком. На рис. 8.4. представлена расчетная схема кругового эксцентрика.

Усилие зажима круговым эксцентриком

$$W = \frac{M_{\text{кр}}}{l_e [\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \operatorname{tg} \varphi_1]}, \quad (8.9)$$

где $M_{\text{кр}}$ — момент, приложенный к эксцентрику, Н·мм; l_e — расстояние от оси вращения эксцентрика до точки соприкосновения его с изделием, мм; α — угол подъема кривой эксцентрика; φ — угол трения между эксцентриком и изделием; φ_1 — угол трения на цапфе.

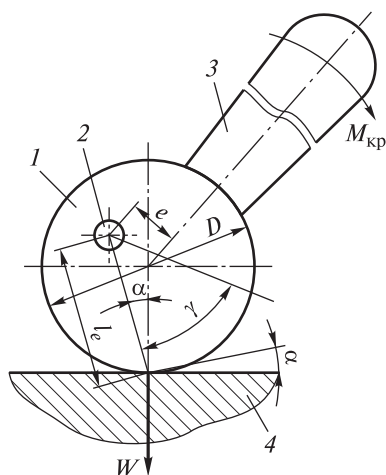


Рис. 8.4. Расчетная схема кругового эксцентрика:

1 — диск эксцентрика; 2 — цапфа;
3 — рукоятка; 4 — изделие

Условием самоторможения кругового эксцентрика является соотношение $\frac{D}{e} > 14$, что соответствует углу $\alpha \leq 8^\circ 30'$.

Для расчета эксцентриситета кругового эксцентрика используют формулу

$$e = \frac{\Delta_{\text{гар}} + \delta + \Delta h + \frac{W}{J}}{1 - \cos \gamma}, \quad (8.10)$$

где $\Delta_{\text{гар}}$ — гарантированный зазор для установки изделия, принимается равным 0,2...0,4 мм; δ — допуск на размер изделия в месте приложения усилия зажима, мм; Δh — запас хода эксцентрика, принимается равным 0,2...0,4 мм; J — жесткость механизма, принимается равной 1...2 кН/мм; γ — угол поворота эксцентрика, $\gamma = 30...45^\circ$.

У криволинейных эксцентриков рабочий профиль обычно очерчен по архимедовой спирали, вследствие чего они имеют постоянный угол подъема кривой и постоянное усилие зажима, а также одинаковое тормозящее свойство на всей рабочей зоне.

Для обеспечения самоторможения угол подъема архимедовой спирали α обычно принимают равным $8^\circ 30'$.

Усилие зажима криволинейным эксцентриком рассчитывают по формуле

$$W = \frac{M_{\text{кр}}}{r_{\text{cp}} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \operatorname{tg} \varphi_1}, \quad (8.11)$$

где r_{cp} — средний радиус эксцентрика.

Сравнение рассмотренных зажимных устройств показывает, что они подразделяются на два вида:

1) ручные, требующие применения физической силы рабочего. Их используют в единичном и мелкосерийном производстве на универсальных фрезерных и сверлильных станках;

2) механизированные, управляемые силовым приводом. Их применение целесообразно в условиях серийного и массового производства на автоматизированном оборудовании.

К зажимным устройствам первого вида относятся винтовые и эксцентрик-овые механизмы, второго — Г-образные прихваты, шарнирно-рычажные и клиновые механизмы.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие простейшие механизмы используются для закрепления изделий или выполняют роль промежуточных звеньев в сложных зажимных системах?
2. Что представляют собой круговые эксцентриковые механизмы?
3. При каких условиях возникает эффект самоторможения винтового механизма?
4. Рассчитайте усилие зажима W винтовым механизмом со сферической формой конца винта с диаметром резьбы М12, углами $\varphi_{\text{пр}} = 6^\circ 40'$ и $\alpha = 2^\circ 30'$ при условии, что крутящий момент $M_{\text{кр}}$ создается рукояткой с длиной $L = 100$ мм.
5. Рассчитайте усилие зажима W для клинового механизма с односкосым клином с трением на обеих поверхностях клина для следующих условий: усилие, приложенное к клину, $Q = 10$ кН, угол скоса клина $\alpha = 12^\circ$, угол трения на наклонной плоскости клина $\varphi = 6^\circ$, угол трения на горизонтальной плоскости клина $\varphi_1 = 4^\circ$.
6. Рассчитайте эксцентриситет кругового эксцентрика, если допуск на размер изделия в месте приложения усилия зажима $\delta = 0,5$ мм, гарантированный зазор для установки детали $\Delta_{\text{гар}} = 0,3$ мм, запас хода эксцентрика $\Delta h = 0,3$ мм, а жесткость механизма $J = 1,5$ кН/мм.

Лекция 9. Приводы приспособлений: пневматические, гидравлические, вакуумные и магнитные

В механизированных, полуавтоматических и автоматических приспособлениях применяют разные конструкции приводов.

Приводы приспособлений должны обеспечивать: короткое время зажима-разжима изделия; регулирование силы зажима для черновой и чистовой обработки; достаточную силу зажима для предотвращения изменения положения изделия; постоянство положения изделия в случае аварийного отключения источника энергии (давления) в сети.

Для надежного закрепления и безопасной обработки изделий операторами станков необходимо выполнять следующие требования:

- включать вращение шпинделя станка только после подачи давления в цилиндр привода;
- включать шпиндель токарного станка при перемещении кулачков только в заданном диапазоне и после закрытия рабочей зоны станка;
- открывать доступ в рабочую зону станка только при невращающемся шпинделе;
- раскреплять заготовку только после остановки шпинделя.

Пневматический привод. На токарных станках применяют пневматический привод, в котором используют поршневые пневмоцилиндры и диафрагменные пневмокамеры. Пневматический привод экономически целесообразен при наличии пневмолиний, которыми располагают большинство предприятий машиностроения (рис. 9.1).

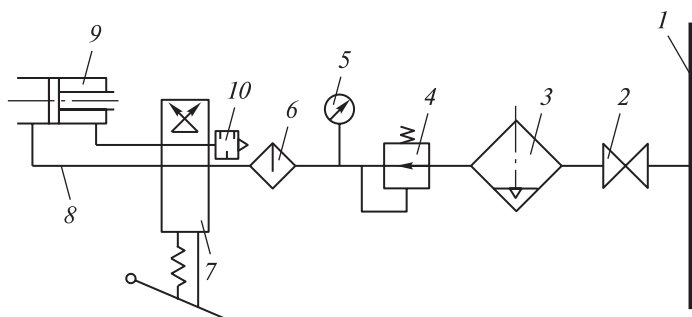


Рис. 9.1. Схема подключения пневмопривода к пневмолинии:
1 — пневмолиния; 2 — вентиль; 3 — фильтр-влажнотделитель; 4 — редукционный клапан; 5 — манометр; 6 — маслораспылитель; 7 — пневмораспределитель; 8 — трубопровод; 9 — пневмопривод; 10 — глушитель

Через пневмолинию подается сжатый воздух под давлением $0,4...1,0$ МПа. Преимущества пневмопривода: быстродействие, экономичность, надежность, высокий уровень унификации и стандартизации. Недостатки: увеличенные габаритные размеры, потребность в механизмах-усилителях.

В качестве примера на рис. 9.2 показаны пневмолиния и подключенный к ней вращающийся пневмоцилиндр 1, устанавливаемый на заднем конце шпинделя станка. Для присоединения тяги 4 патрона 3 предусмотрено резьбовое отверстие на выступающем конце штока 8. Воздухоподводящая муфта 5 присоединяется к корпусу 6 винтами. Сжатый воздух подается через ниппель 11, центральное отверстие в стержне 9 и отверстия А в штоке 8 в правую полость цилиндра. Под действием давления воздуха равного $0,4...0,6$ МПа, поршень 7 перемещается влево, создавая на штоке 8 тянущую силу зажима.

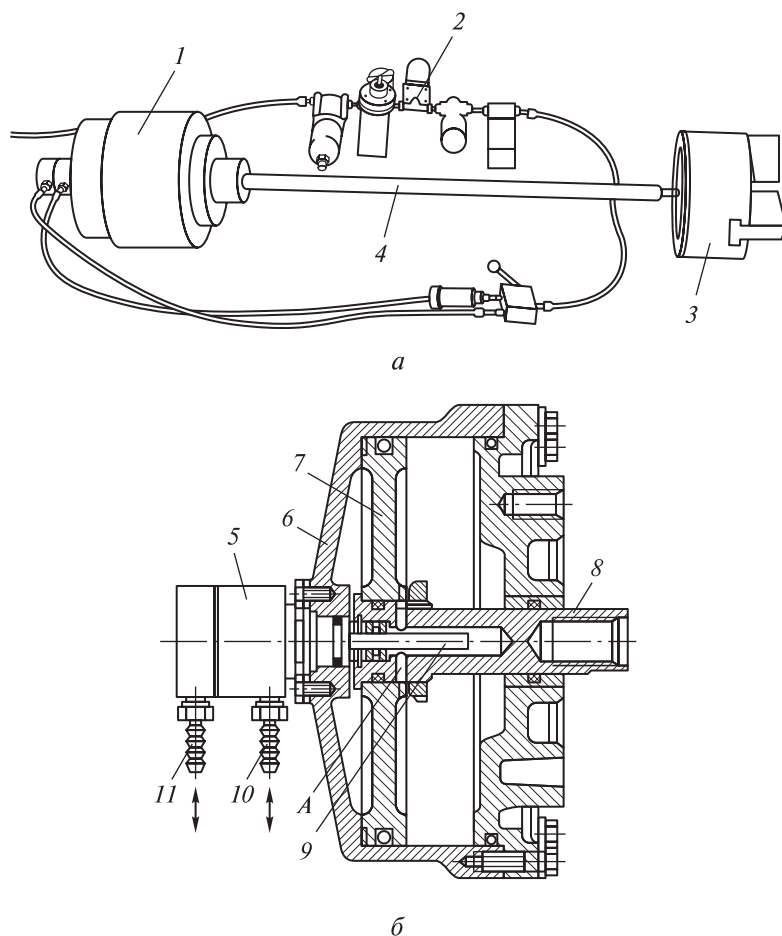


Рис. 9.2. Пневмолиния (а) и вращающийся пневмоцилиндр (б):
1 — пневмоцилиндр; 2 — пневмоаппаратура; 3 — патрон; 4 — тяга патрона;
5 — муфта; 6 — корпус; 7 — поршень; 8 — шток; 9 — стержень; 10, 11 — ниппели

Через ниппель *10*, радиальные отверстия и скосы в стержне *9* сжатый воздух подается в левую полость цилиндра, поршень перемещается вправо, создавая на штоке толкающую силу. Соединение патрона *3* со штоком *8* пневмоцилиндра осуществляется тягой *4*. Пневмоаппаратура *2* вынесены на отдельную панель станка.

Различают поршневые пневмоцилиндры одностороннего и двустороннего действия (рис. 9.3).

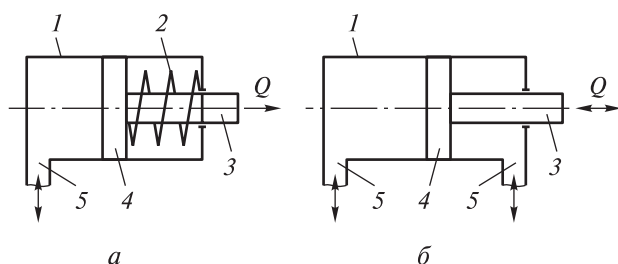


Рис. 9.3. Схемы поршневых пневмоцилиндров:
а — одностороннего действия с пружиной возврата; *б* — двустороннего действия; *1* — корпус; *2* — пружина; *3* — шток; *4* — поршень; *5* — канал впуска-выпуска сжатого воздуха

Конструктивно пневмоцилиндры подразделяют на стационарные и встроенные (рис. 9.4).

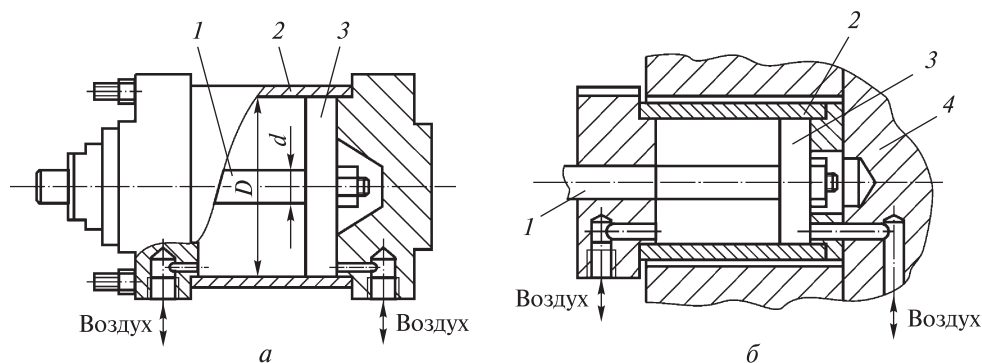


Рис. 9.4. Схемы стационарного (*а*) и встроенного (*б*) поршневых пневмоцилиндров:
1 — шток; *2* — корпус; *3* — поршень; *4* — приспособление; D — диаметр поршня; d — диаметр штока

Основные параметры стационарных пневмоцилиндров приведены в табл. 9.1.

Вращающиеся пневмоцилиндры применяют преимущественно для привода токарных патронов и цанг прутковых автоматов, их основные параметры даны в табл. 9.2.

Таблица 9.1

Основные параметры поршневых стационарных пневмоцилиндров

Диаметр, мм		Сила Q^* , кН, на штоке при давлении сжатого воздуха, МПа	
цилиндра D	штока d	0,4	1,0
80	25	1,68 / 1,52	4,30 / 3,90
100		2,63 / 2,48	6,75 / 6,35
125	32	4,13 / 3,86	10,60 / 9,90
160	40	7,05 / 6,63	18,10 / 17,00
200		11,08 / 10,60	28,40 / 27,20
250	63	17,20 / 16,10	44,20 / 41,40
320	80	29,20 / 27,30	74,80 / 70,10

Примечания. 1. Приведена выборка предпочтительных типоразмеров.
 2. Не распространяется на двохвостные пневмоцилиндры.
 3. Давление 0,4 МПа рекомендуется применять в расчетах закрепления изделий, 1,0 МПа — в расчетах деформаций и контактных воздействий на изделия.
 4. Ход поршня — 10 мм.
 5. Скорость перемещения штока цилиндров диаметром $D \geq 200$ мм — не более 0,5 м/с, меньших — не более 1,0 м/с.
 6. Цилиндры работоспособны в температурном диапазоне $-45...+75$ °С.

*В числителе — толкающая сила, в знаменателе — тянущая.

Таблица 9.2

Основные параметры поршневых вращающихся пневмоцилиндров двустороннего действия со сплошным штоком

Параметр	Диаметр поршня пневмоцилиндра D , мм	
	200	250
Ход поршня L , мм, не более	32	45
Сила Q^* , кН, на штоке при давлении, МПа:		
1,00	29,0 / 58,0 (30,6)	46,0 / 92,0 (47,6)
0,39	1,3 / 22,6 (11,9)	17,9 / 35,9 (18,6)

Примечание. Максимальная частота вращения 300 рад/с.

* В числителе — тянущая сила для одинарного цилиндра, в знаменателе — для двохвостного, в скобках — толкающая сила.

Для поршневого цилиндра одностороннего действия (см. рис. 9.3) диаметр D поршня определяют исходя из величины требуемой силы тяги Q на штоке:

$$D = 1,3 \sqrt{(Q + P_{\text{пр}}) J L / p}, \quad (9.1)$$

где Q — требуемая сила на штоке, Н; $P_{\text{пр}}$ — сила натяжения пружины возвратов; J — жесткость пружины, Н/мм; L — ход поршня, мм; p — давление сжатого воздуха, МПа.

У диафрагменных пневмокамер сила на штоке резко снижается с увеличением хода поршня L (рис. 9.5).

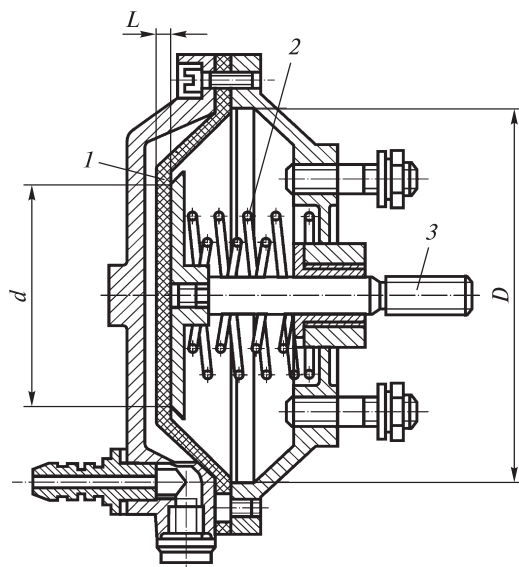


Рис. 9.5. Пневмокамера диафрагменная:

1 — диафрагма; 2 — пружина возврата; 3 — шток;
 D — диаметр диафрагмы; d — диаметр поршня;
 L — ход штока

К преимуществам пневмокамер следует отнести быстроту действия (0,5...1,2 с), постоянство усилия зажима и возможность его регулировки, простоту конструкции и эксплуатации, независимость работоспособности от колебаний температуры окружающей среды. Оптимальная рабочая скорость исполнительного механизма при использовании диафрагмы составляет 0,1...2 м/с. При меньших скоростях возникают вибрации и неравномерность хода. Основные характеристики диафрагменных пневмокамер приведены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

Усилие, Н, на штоке диафрагменных пневмокамер при давлении 0,4 МПа

Диаметр диафрагмы D , мм	Диафрагма	
	резинотканевая*	резиновая**
125	3 500 / 2 700	4 750 / 3 750
160	5 700 / 4 350	7 200 / 6 150
200	9 000 / 6 800	11 000 / 8 750
250	14 000 / 11 000	17 300 / 15 500
320	23 000 / 17 500	29 000 / 25 000
400	36 000 / 27 000	46 500 / 42 000

Примечание. Усилия на штоке даны без учета усилия возвратной пружины.

* В числителе — в положении штока, близком к исходному, в знаменателе — при ходе штока $0,3D$ для тарельчатых пружин и $0,07D$ — для плоских.

** В числителе — в положении штока, близком к исходному, в знаменателе — при ходе штока $0,22D$.

Экономически целесообразно применение пневмокамер в механизмах с усилием до 30 кН и с максимальным диаметром диафрагмы 250 мм.

Гидравлический привод. Такой привод обладает рядом преимуществ: возможность получения больших сил (и их точного контроля) при ограниченных размерах гидродвигателей, быстродействие, широкий диапазон регулирования, способность аккумулирования энергии, надежность и долговечность. Это позволяет создавать высокоэффективные приводы для перемещения массивных заготовок, а также приводы зажимных устройств станочных приспособлений, особенно при повышенных силах резания и многоточечных зажимах.

Типовой гидропривод состоит из насосной установки, гидроаппаратов управления, гидродвигателей и соединительных гидролиний. В качестве гидродвигателей обычно используют стандартные гидроцилиндры одностороннего (с пружинным возвратом) или двустороннего действия, а также специальные цилиндры, встроенные в зажимные механизмы; возможно также применение поворотных двигателей.

В основном используют пружинно-гидравлические механизмы, в которых зажим обеспечивается силовыми пружинами (например, тарельчатыми), а разжим — гидравликой. Это позволяет размещать их в приспособлениях, соединяемых с гидросистемой только в позициях загрузки-выгрузки деталей. Пружинно-гидравлический привод (рис. 9.6) представляет собой гидравлический односторонний цилиндр.

В табл. 9.4 приведены основные параметры гидроцилиндров одностороннего и двустороннего действия.

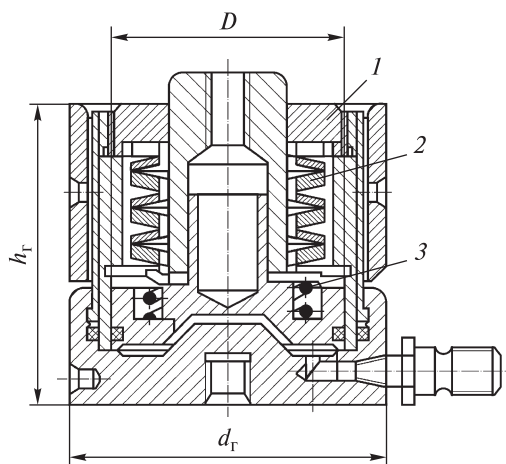


Рис. 9.6. Пружинно-гидравлический цилиндр:

1 — поршень; 2 — тарельчатые пружины; 3 — пружина; h_r , d_r — габаритные размеры

Таблица 9.4

Основные параметры гидроцилиндров

Диаметр цилиндра, мм	Ход поршня, мм	Сила на штоке, кН
Одностороннего действия*		
40	12	11,7 / 9,9
50	16	18,1 / 11,7
63	16	29,2 / 23,1
80	16	47,0 / 37,5
Двустороннего действия**		
40	80	12,3 / 8,6
50	80	19,2 / 14,4
63	80	30,5 / 22,6
80	80	49,2 / 39,2
100	80	76,9 / 61,3

Примечание. Давление масла принято равным 10 МПа.

* В числителе указана сила для цилиндров со сплошным штоком, в знаменателе — с полым.

** В числителе указана толкающая сила на штоке, в знаменателе — тянущая.

В зависимости от назначения пружинно-гидравлические цилиндры могут быть толкающего или тянущего исполнения. Технические данные тянущих пружинно-гидравлических цилиндров приведены в табл. 9.5.

Таблица 9.5

Технические характеристики тянущих пружинно-гидравлических цилиндров

Диаметр поршня D , мм	Ход поршня L , мм	Номинальное давление масла p_m , МПа	Усилие зажима Q , Н	Габаритные размеры, мм	
				диаметр d_r	высота h_r
60	8	9,8	17 168	110	150
100	8	9,8	53 955	155	185
120	8	38	92 204	175	200

Недостатком пружинно-гидравлических цилиндров является изменение усилия зажима в зависимости от хода поршня. В гидроцилиндры масло под давлением подается из общей гидросистемы станка.

Вакуумный привод. В вакуумном приводе силу прижима W обеспечивает атмосферное давление. Такой привод применяют в вакуумных столах для установки плоских изделий толщиной 2...8 мм, которые при других способах закрепления могут деформироваться под действием усилий зажима.

Изделие 1 (рис. 9.7, а) устанавливают на вакуумном столе на резиновую прокладку 2, выступающую из специальной канавки в корпусе 3 стола. Для закрепления изделия (рис. 9.7, б) с помощью вакуумного насоса через штуцер 5 в полости 4 создается технический вакуум порядка 70...80 мм рт. ст.

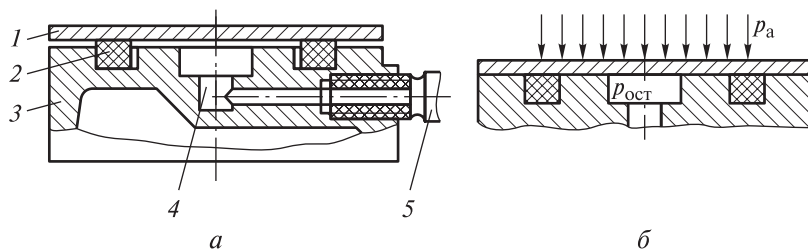


Рис. 9.7. Схемы вакуумного привода в исходном состоянии (а) и давлений, действующих при закреплении (б):

1 — изделие; 2 — прокладка; 3 — корпус стола; 4 — полость; 5 — штуцер

Из-за низкого давления $p_{\text{ост}}$ в полости и соответствующего перепада давлений снизу и снаружи изделия возникает прижимающее усилие p_a , создаваемое атмосферным давлением, которое составляет примерно 0,1 МПа. В результате прокладка деформируется, и изделие плотно поджимается к поверхности стола.

Усилие прижима изделия определяют по формуле

$$W = 0,8(p_a - p_{\text{ост}})F_a, \quad (9.2)$$

где 0,8 — коэффициент герметичности вакуумной системы; p_a — атмосферное давление, $p_a = 0,1$ МПа; $p_{\text{ост}}$ — давление после откачки воздуха из полости, $p_{\text{ост}} = 0,01 \dots 0,015$ МПа; F_a — активная площадь изделия, ограниченная прокладкой, м^2 .

Для установки плоских изделий с поверхностями большой площади используют вакуумные плиты с сеткой близко расположенных отверстий, соединенных с вакуумной полостью.

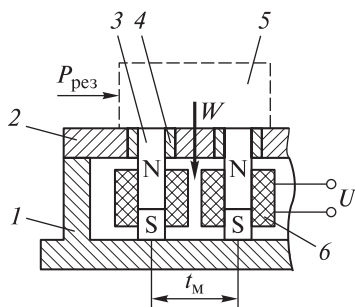


Рис. 9.8. Схема электромагнитной плиты:

1 — основание; 2 — опорная пластина; 3 — сердечник электромагнита; 4 — изоляция; 5 — изделие; 6 — катушка

Преимущества вакуумного привода заключаются в том, что он позволяет закреплять изделия малой толщины и со сложными контурами, а также обрабатывать поверхность изделия без переустановок, поскольку не требуются дополнительные зажимные устройства и упоры.

К недостаткам относится ограниченная сила прижима при обработке группы изделий либо изделий, имеющих неровности, деформации или большие отклонения плоскостности поверхностей, прилегающих к плите.

Магнитный привод. В качестве силового магнитный привод применяют в электромагнитных плитах для закрепления изделий при шлифовании (рис. 9.8).

Электромагнитная плита состоит из стальных сердечников 3 с электромагнитными ка-

тушками 6, установленными на стальном основании 1 с шагом t_m . Опорная пластина 2 служит для установки изделия 5. В пазах пластины смонтированы стальные магнитопроводы, которые отделены от нее изоляцией 4 из немагнитного материала (например, латуни).

При прохождении через катушки постоянного тока U возникает электромагнитное поле, магнитный поток проходит через изделие, намагничивает его, и оно притягивается к стальной пластине с усилием W . При отключении тока происходит раскрепление детали.

Электромагнитные плиты применяют для закрепления изделий из ферромагнитных материалов с высокой магнитной проницаемостью μ_0 , к которым относятся незакаленные стали. Меньшее значение μ_0 имеют чугуны и совсем незначительное — закаленные, быстрорежущие и легированные стали. Из-за малой магнитной проницаемости воздуха необходимо исключать зазоры между изделием и пластиной для достижения достаточной силы прижима (400...650 Н на 1 см² площади контакта с опорной пластиной).

Сила прижима W изделия к опорной пластине электромагнитной плиты зависит от магнитной индукции и площади опорной поверхности изделия, через которую проходит магнитный поток (рис. 9.9). В свою очередь, магнитная индукция зависит от напряженности магнитного поля, являющейся характеристикой электромагнита, от магнитной проницаемости среды и длины магнитопровода.

Длина магнитопровода зависит от шага t_m между сердечниками и от высоты закрепляемого изделия H . Это означает, что при увеличении высоты изделия возрастает длина магнитопровода, уменьшается индукция B и, соответственно, сила прижима W .

Сила $P_{рез}$, сдвигающая заготовку на магнитной плите (см. рис. 9.8), должна быть как минимум равна силе трения между изделием и опорной пластиной. Отсюда минимально необходимая сила прижима

$$W = \frac{P_{рез}}{f_{тр}}, \quad (9.3)$$

где $f_{тр}$ — коэффициент трения, $f_{тр} = 0,1...0,16$.

Преимуществами магнитного привода являются быстрота действия, возможность закрепления деталей без повреждения окончательно обработанных поверхностей, одновременное крепление нескольких мелких деталей.

Недостатки магнитного привода — невозможность закрепления деталей из немагнитных материалов, наличие остаточного магнетизма в деталях из ферромагнитных материалов, вероятность аварий при перерыве в подаче электроэнергии для электромагнитного привода.

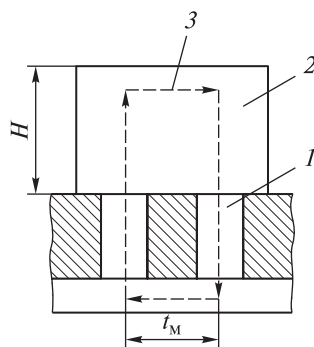


Рис. 9.9. Схема магнитного потока:

1 — сердечник электромагнита; 2 — изделие; 3 — магнитный поток

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие основные виды приводов применяют для механизации приспособлений?

2. По каким характеристикам пневмопривода оценивают целесообразность его применения?

3. Какими преимуществами обладает гидравлический привод?

4. Определите диаметр пневмоцилиндра D для создания силы тяги $Q = 25$ кН при следующих параметрах: сила натяжения пружины возврата $P_{\text{пр}} = 1,2$ кН; жесткость пружины $J = 800$ Н/мм; ход поршня $L = 25$ мм; давление сжатого воздуха $p = 0,6$ МПа.

5. Рассчитайте усилие прижима обрабатываемой плоской заготовки в вакуумном приспособлении из условий: атмосферное давление $p_a = 0,1$ МПа; остаточное давление в камере после разрежения $p_{\text{ост}} = 0,01$ МПа; активная площадь $F_a = 0,8$ м².

Лекция 10. Силовые параметры процесса резания. Расчет сил закрепления изделий при фрезеровании и точении

При частой смене объектов производства выбор силовых параметров приспособлений осуществляется с учетом характеристик всех материалов обрабатываемых заготовок, которые качественно и количественно влияют на уровень практических режимов. Это позволяет рассчитывать силы, возникающие в процессе обработки режущими инструментами.

Силы, действующие на изделие. Для переходов точения и фрезерования силы, действующие на изделие, можно рассчитать, используя понятие обрабатываемости материалов резанием, под которым понимается свойство конструкционных материалов подвергаться обработке резанием. Имеющихся в справочниках сведений о силах резания и крутящих моментах, как правило, достаточно для большинства обрабатываемых материалов.

Под силой резания обычно подразумевают ее главную составляющую P_z , определяющую эффективную мощность N_e , расходуемую на резание и крутящий момент на шпинделе станка. Силовые зависимости рассчитывают по эмпирическим формулам, которые приведены в справочной литературе для различных видов обработки.

При расчете сил закрепления изделия, помимо сил резания, учитывают силы веса, центробежные и инерционные, возникающие при условиях с высокой частотой вращения заготовки.

Силу зажима W рассчитывают исходя из условия равновесия всех перечисленных сил при полном сохранении контакта базовых поверхностей обрабатываемого изделия с установочными элементами приспособления и при исключении возможности сдвига в процессе обработки. Требуемую силу зажима W следует определять с учетом коэффициента запаса k , предусматривающего возможное увеличение силы резания из-за износа режущего инструмента, неоднородности обрабатываемого металла, неравномерности припуска, непостоянства установки, ненадлежащего закрепления изделия и т. д. Минимальный коэффициент запаса, который может быть принят, равен 1,5.

Расчет сил закрепления изделий в приспособлениях сводится к задаче статики на равновесие заготовки под действием приложенных к ней внешних сил.

Помимо расчета сил закрепления, в основные расчеты приспособлений включают следующее:

- определение параметров силового привода;
- расчеты точности установки изделия;
- расчеты прочности зажимных и базовых деталей;

- расчеты экономической эффективности от применения разрабатываемого приспособления.

Расчет сил при фрезеровании. На принципиальной схеме приспособления для установки изделий корпусного типа (рис. 10.1) видно, что изделие базируется по плоскости стола 3, цилиндрическому пальцу 5 и ромбическому пальцу 2. Прижим изделия к установочной базе осуществляется силами W с помощью двух рычагов, на которые передается сила от толкающего гидроцилиндра 4.

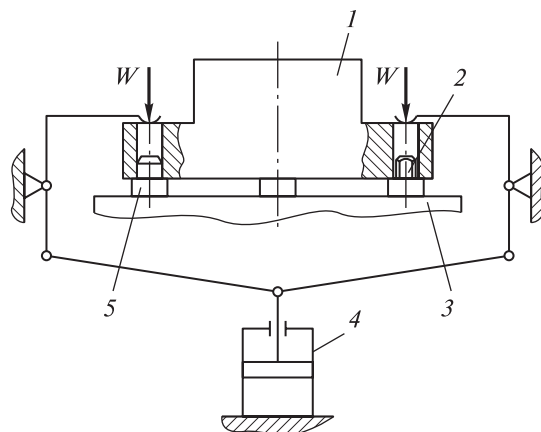


Рис. 10.1. Принципиальная схема приспособления для установки изделия корпусного типа:

1 — изделие; 2 — ромбический палец; 3 — стол; 4 — гидроцилиндр; 5 — цилиндрический палец

После выявления точек расположения установочных элементов и сил закрепления определяют кинематическую схему передачи усилия от силового привода к зажимным элементам. В результате получают принципиальную схему приспособления.

Для расчета сил зажима W и параметров силового привода необходимо рассчитать силы резания и моменты для данного перехода обработки, действующие на объект во время технологического процесса.

Например, при несимметричном встречном фрезеровании торцевой фрезой 1 (рис. 10.2) на изделие 2 действует сила P_z , которая стремится повернуть его на установочной базе. Составляющая P_y двигает изделие вдоль установочной базы, а составляющая P_x прижимает его к установочной базе. Перечисленные силы для заданного материала рассчитывают по формулам теории резания.

Из схемы, приведенной на рис. 10.2, следует, что окружная сила

$$P_{yz} = \sqrt{P_y^2 + P_z^2}. \quad (10.1)$$

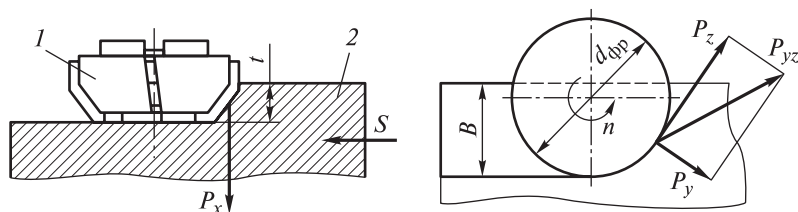


Рис. 10.2. Составляющие силы резания при торцовом несимметричном встречном фрезеровании:

1 — фреза; 2 — изделие; t — глубина резания; S — подача; B — ширина фрезерования; $d_{\text{фр}}$ — диаметр фрезы

На рис. 10.3 показаны силы, действующие на изделие во время торцового фрезерования, и силы закрепления W , передаваемые рычажно-шарнирным механизмом от гидроцилиндра.

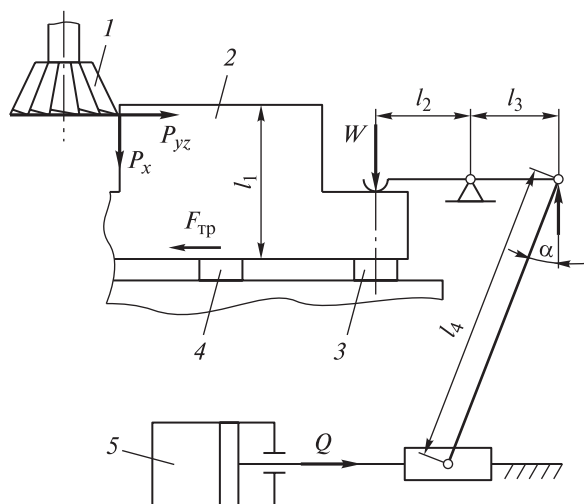


Рис. 10.3. Схема сил, действующих на изделие во время фрезерования:

1 — фреза; 2 — изделие; 3, 4 — установочные элементы; 5 — гидроцилиндр

Изделие находится в равновесии вследствие действия сил, возникающих в процессе обработки, сил закрепления и сил реакции опор. Действие силы P_{yz} воспринимают установочные элементы, обеспечивающие требуемое положение изделия на приспособлении.

Сила P_{yz} , которая стремится сдвинуть изделие по установочной плоскости, должна быть уравновешена силами трения $F_{\text{тр}}$. Для этого действующая

сила P_{yz} должна быть компенсирована силой зажима W , которая обеспечивает постоянство положения изделия. Минимальная сила зажима W с учетом силы трения и динамики фрезерования:

$$W = \frac{F_{тр}}{k f_{тр}}, \quad (10.2)$$

где k — коэффициент запаса, $k = 1,5$; $f_{тр}$ — коэффициент трения.

Используя формулу (10.2) и рис. 8.2, рассчитывают толкающую силу Q на штоке гидроцилиндра. По значению силы Q и удельного давления масла в гидроцилиндре определяют расчетный диаметр поршня, на основании которого выбирают стандартный ближайший больший диаметр цилиндра привода. Далее, уже исходя из стандартного диаметра цилиндра привода, рассчитывают фактическое значение силы зажима W .

При использовании двух прижимов, как на рис. 10.1, расчет суммарной силы зажима W_{Σ} выполняют по формуле

$$W_{\Sigma} = 2WP_{yz} \frac{k}{f_{тр}}.$$

Соответственно, в этом случае уменьшают в 2 раза расчетный диаметр поршня гидроцилиндра.

Расчет сил при точении. На рис. 10.4 приведена схема закрепления изделия 1 кулачками 2 в токарном трехкулачковом патроне 3. Для противодействия моменту сил резания $M_{рез}$ каждый кулачок должен действовать на изделие с силой зажима W_k , которая с учетом коэффициента трения в месте контакта кулачка с поверхностью изделия создает необходимую силу трения.

Крутящий момент $M_{кр}$, передаваемый кулачками, должен быть больше момента $M_{рез}$ составляющей силы резания P_z :

$$M_{рез} = P_z \frac{D_k}{2}, \quad (10.3)$$

где P_z — главная составляющая силы резания при точении, Н; D_k — диаметр изделия в контакте с кулачком, мм.

Для определения момента $M_{кр}$ необходимо рассчитать потребляемую мощность N_e , кВт, необходимую для выполнения перехода продольного точения изделия из материала заданной обрабатываемости:

$$N_e = \frac{VtS_o k_c}{60} \cdot 10^3,$$

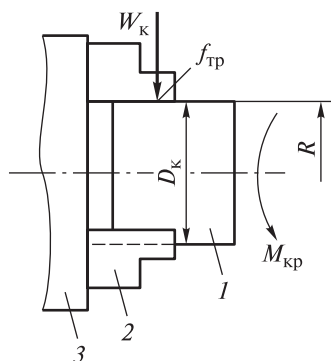


Рис. 10.4. Схема закрепления изделия в токарном трехкулачковом патроне:

1 — изделие; 2 — кулачки; 3 — патрон; R — радиус изделия в месте зажима

где V — скорость резания, $V = \pi D n / 1000$, м/мин; t — глубина резания, мм; S_o — подача, мм/об; n — частота вращения изделия, мин^{-1} ; k_c — коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала, $k_c = k_{c1.1} t^{-m_c}$, Н/мм² ($k_{c1.1}$ — характеристика материала обрабатываемого изделия, которая представляет собой силу резания, необходимую для срезания стружки толщиной 1 мм, m_c — показатель степени).

Крутящий момент, Н·м, передаваемый от шпинделя станка через патрон на изделие в процессе обработки, рассчитывают по формуле

$$M_{\text{кр}} = \frac{30 N_e 10^3}{\pi n},$$

силу зажима одним кулачком W_k — по формуле

$$W_k = \frac{k M_{\text{кр}}}{3 f_{\text{тр}} R}, \quad (10.4)$$

где k — коэффициент запаса, $k = 1,5$; $f_{\text{тр}}$ — коэффициент трения на рабочих поверхностях кулачков, $f_{\text{тр}} = 0,45$ для кулачков с крестообразной насечкой; R — радиус изделия в месте зажима, $R = 0,71 D_k$ в трехкулачковом токарном патроне, мм.

Для закрепления изделия используется самоцентрирующий клиновой быстропереналаживаемый патрон (см. рис. 5.4). Для исключения ручного закрепления в условиях серийного производства применяют вращающийся пневмоцилиндр (см. рис. 9.2), устанавливаемый на заднем конце шпинделя токарного станка. Основные параметры вращающихся пневмоцилиндров приведены на рис. 9.5 и в табл. 9.2.

Схема клинового механизма, передающего силу Q от штока пневмоцилиндра на сменный кулачок 3, показана на рис. 10.5. Рассчитывают силу по формуле

$$Q = n_k k_{\text{кл}} \left(1 + \frac{3 l_k}{l_n} f_k \right) \text{tg}(\alpha + \varphi) W_k \frac{D_c}{D_k}, \quad (10.5)$$

где n_k — число кулачков, шт.; $k_{\text{кл}}$ — коэффициент, учитывающий силы трения в клиновом механизме; l_k — вылет сменного кулачка из опоры до точки приложения силы W_k , мм; l_n — длина направляющей опоры, мм; f_k — коэффициент трения в направляющих кулачков, $f_k = 0,15$; α — угол скоса клина, град; φ — угол трения на наклонной поверхности клина, град, $\varphi = 5,7$; D_c — диаметр обработанной поверхности; D_k — диаметр кулачка, мм.

По рассчитанной силе Q на штоке пневмоцилиндра из табл. 9.2 выбирают диаметр и ход поршня пневмоцилиндра. Далее, уже исходя из стандартного диаметра цилиндра привода, определяют фактическое значение силы зажима W_k .

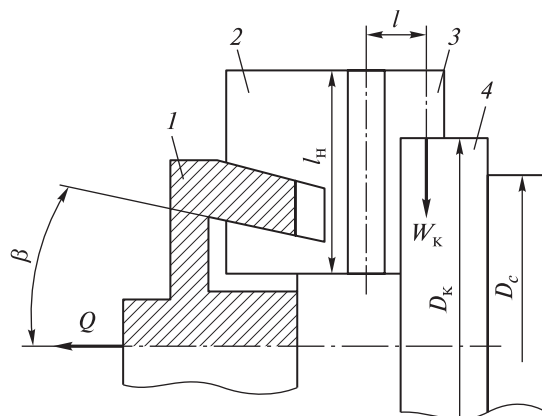


Рис. 10.5. Схема клинового механизма самоцентрирующего клинового быстропереналаживаемого патрона:

1 — клин; 2 — ползун; 3 — сменный кулачок; 4 — изделие

Более подробно сведения для расчетов сил зажима W изделий в типовых приспособлениях, применяемых для переходов точения, фрезерования и сверления, даны в приложении 1.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие механические свойства обрабатываемых материалов необходимо учитывать при определении сил, возникающих в процессе резания?

2. Рассчитайте толкающую силу P на штоке гидроцилиндра по схеме, показанной на рис. 10.3, если $l_1 = 80$ мм; $l_2 = 60$ мм; $l_3 = 40$ мм. Усилие зажима W примите равным 8 кН.

3. Выполните расчет окружной силы P_{yz} при фрезеровании уступа в изделии из стали 45 концевой фрезой из стали Р6М5 диаметром 12 мм с числом зубьев $z = 3$ на следующих режимах резания: $t = 4$ мм; $B = 24$ мм; $S_o = 0,16$ мм/об; $n = 600$ мин⁻¹.

4. Определите крутящий момент $M_{кр}$, который действует на изделие диаметром 125 мм из серого чугуна с НВ 200 при его точении резцом, оснащенным твердосплавной пластиной из сплава ВК8, на следующих режимах резания: $t = 2$ мм; $S_o = 0,1$ мм/об; $n = 800$ мин⁻¹.

5. Вычислите силу зажима W_k изделия диаметром 80 мм из инструментальной стали ХВГ при точении на режимах резания $t = 1,5$ мм; $S_o = 0,05$ мм/об; $n = 300$ мин⁻¹ и закреплении в токарном трехкулачковом патроне.

6. Рассчитайте силу зажима для клинового механизма быстропереналаживаемого токарного патрона с максимальным диаметром изделий, закрепляемых в кулачках, 250 мм (см. рис. 5.4, табл. 5.1).

Лекция 11. Методика проектирования приспособлений

Конструирование приспособлений — творческий процесс, целью которого является технико-экономический эффект, т. е. создание приспособления, в полной мере отвечающего эксплуатационным требованиям и при этом вполне экономичного.

Основные требования к конструированию приспособлений. Для различных видов производства (массового, серийного, индивидуального) к конструкциям приспособлений и их приводам предъявляются различные требования. В частности, степень специализации приспособлений определяет уровень их механизации и автоматизации.

В *крупносерийном и массовом производствах* экономически оправдывается применение специальных приспособлений со встроенным или прикрепляемым силовым приводом в целях максимальной механизации и автоматизации труда рабочих, обслуживающих оборудование.

В *серийном и единичном производствах* задача облегчения труда рабочих также является актуальной, и приспособления должны быть оснащены механизированными силовыми приводами.

Кроме того, в единичном производстве к конструкциям приспособлений предъявляется такое требование, как сокращение сроков и стоимости подготовки производства, что в условиях большой номенклатуры выпускаемых изделий и их частой смены имеет решающее значение. В наибольшей степени данному требованию отвечают приспособления систем УСП.

Независимо от серийности выпуска изделий, конструктор должен учитывать следующие общие требования:

- предусматривать возможность удобной очистки установочных поверхностей от стружки, а также смазочных и охлаждающих жидкостей (СОЖ);
- обеспечивать удобство при установке и снятии изделий;
- придавать внешним поверхностям конструкции простую и гладкую форму, что облегчает уборку приспособления;
- максимально использовать в конструкции стандартные, нормализованные, унифицированные детали и узлы, а также покупные изделия;
- при наличии резьбовых соединений в приспособлении предохранять их от самоотвинчивания;
- предусматривать защиту рабочих поверхностей от коррозии;
- обеспечивать долговечность и износостойкость приспособления с возможностью без затруднений выполнять его контроль, регулировку и ремонт.

Исходные данные для проектирования приспособлений для серийного и единичного производства. Конструктор приспособления должен располагать исходными материалами:

1) рабочим чертежом изделия с техническими условиями его изготовления;
2) операционными эскизами обрабатываемого изделия (с размерами и допусками) на предшествующую и выполняемую операции со схемами базирования и закрепления;

3) картой (или описанием) технологического процесса обработки изделия со всеми необходимыми данными (станок, параметры режима резания, нормы времени и другие данные);

4) годовой программой выпуска изделия на участке цеха;

5) указаниями, для какого конкретно станка проектируется данное приспособление.

Кроме исходных данных, в распоряжении конструктора должно быть следующее:

- альбом нормализованных и стандартизованных деталей и узлов приспособлений (в частности, стандартных корпусов);

- альбом типовых узлов и механизмов приспособлений;

- альбом конструкций силовых приводов и их элементов;

- альбомы конструкций универсальных, групповых и специальных приспособлений для типовых деталей;

- сведения о форме и размерах посадочных мест станков, на которых устанавливаются и закрепляются приспособления (головки шпинделей токарных станков, форма и размеры пазов на столах фрезерных станков и другие элементы станков);

- сведения об имеющихся на складах запасах деталей и узлов приспособлений, а также их силовых приводов, в частности, о запасах заготовок стандартных корпусов.

При оснащении станка новым приспособлением технолог предоставляет конструктору необходимую информацию:

- тип изделия и схему его установки;

- маршрут обработки;

- содержание технологических операций с разработкой эскиза обработки, которые дают представление об установке изделия на данной операции;

- промежуточные размеры по всем переходам и допуски на эти размеры;

- штучное время на операцию по ее элементам;

- тип и модель станка для обработки изделия.

Задачи конструктора. Конструктор приспособления решает следующие задачи:

- конкретизирует принятую технологом схему установки изделия;

- выбирает конструкцию и размеры базовых, установочных и прижимных элементов приспособления;

- рассчитывает необходимые силы зажима, размеры зажимных устройства и конструкции приводов;

- определяет размеры узлов для установки изделий в приспособление и необходимого для этого пространства;

- разрабатывает компоновку приспособления и схему установки его на станке;

- разрабатывает требования к компоновке приспособления, связанные с качеством изготовления деталей приспособления и последующей сборкой приспособления.

В своей работе конструктор должен руководствоваться следующими правилами:

- 1) использовать линейные размеры рядов $Ra5$, $Ra10$ по ГОСТ 6636–69 «Нормальные линейные размеры»;

- 2) соблюдать принципы стандартизации, типизации и унификации в разрабатываемых конструкциях в соответствии с ГОСТ 31.0000.01–90 «Система стандартов технологической оснастки. Основные требования»;

- 3) использовать информационно-поисковые системы;

- 4) осуществлять поиск опробованных на практике приспособлений аналогичного назначения для установки сходных по типу изделий;

- 5) разрабатывать специальные приспособления только в строго обоснованных случаях и применять оригинальные узлы и детали только в порядке исключения, с обязательным обоснованием их применения;

При проектировании приспособлений на предприятии с конкретным составом станочного парка конструктор дополнительно должен изучить:

- способ подвода СОЖ к режущему инструменту;
- средства обеспечения установки изделий;
- средства удаления стружки;
- расположение станочника относительно проектируемого приспособления и станка.

Конструктор выполняет следующие расчеты:

- а) потребных сил закрепления W ;

- б) основных характеристик и конструктивных параметров силовых приводов;

- в) проверочный расчет жесткости особо нагруженных деталей.

Основные этапы конструирования приспособлений в единичном производстве. Процесс конструирования приспособления для механической обработки изделий на металлорежущих станках в условиях единичного производства целесообразно разделить на два этапа.

Первый этап (подготовительный) связан со сбором и анализом сведений конструктивно-технологического характера, касающихся изделий, для обработки которых проектируется приспособление. На этом этапе процесса проектирования задача состоит в том, чтобы выбрать оптимальный вариант конструкции приспособления с максимальным использованием уже имеющихся конструкторских решений.

Второй этап включает выполнение конкретных задач и схем.

1. Принять решение о типах, размерах, пространственном положении и точности установочных элементов приспособления.

2. Определить конструкцию зажимных элементов в зажимных устройствах приспособления с учетом размеров и формы поверхностей изделия.

3. Обеспечить достаточную жесткость корпуса в целом и всех функциональных деталей приспособления.

4. Согласовать конструкцию базисной плиты с установочными элементами по размерам Т-образных пазов или КФО.

5. Изобразить на чертеже общего вида, помимо приспособления, схемы узлов станков (например, стола с Т-образными пазами для закрепления приспособления) тонкими сплошными линиями. Схематично изобразить тонкими линиями стандартные силовые приводы в случае их использования.

6. Указать в технических требованиях на сборочном чертеже разработанного приспособления следующее:

- размер замыкающего звена сборочной размерной цепи;
- условия регулировки замыкающего звена;
- методы проверки точности установки приспособления на станке;
- поверхности трения и способы их смазки;
- входное давление в системе силового привода;
- вид антикоррозийного покрытия.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие исходные данные необходимы при проектировании станочных приспособлений?

2. Что определяет конструктор станочных приспособлений в процессе анализа исходных данных при проектировании?

3. По каким данным конструктор станочного приспособления определяет действующие нагрузки, которые будет воспринимать приспособление, во время операции?

4. Для чего конструктору станочного приспособления для установки изделия необходимы сведения о нормативе штучного времени на операцию, о типе производства и программе выпуска обработанных изделий.

5. Что представляет собой принципиальная схема станочного приспособления и какие требования к установочным элементам в ней рассматриваются?

Модуль 2

Инструментальная оснастка

В инструментальную оснастку входит вспомогательный инструмент, служащий для установки режущего инструмента.

Точность изготовления изделий на металлорежущих станках, на которых используют вспомогательный инструмент, зависит от конструкции вспомогательного инструмента и точности изготовления входящих в него деталей.

Лекция 12. Зажимные устройства инструментальной оснастки

Зажимные устройства инструментальной оснастки входят в конструкции вспомогательного инструмента, который необходим в тех случаях, когда режущий инструмент не может быть установлен непосредственно на суппорт или в шпиндель станка.

В конкретных производственных условиях при выборе вспомогательного инструмента следует руководствоваться следующими основными критериями:

- затраты времени на обслуживание;
- момент усилия сборки;
- габаритные размеры;
- начальный дисбаланс;
- биение закрепленного инструмента;
- податливость;
- затраты на оборудование для сборки и разборки компоновок инструмента;
- количество типоразмеров режущего инструмента, закрепляемых одним видом патрона.

Самыми распространенными в современной обработке резанием являются патроны для установки режущего инструмента с цилиндрическим хвостовиком, в первую очередь – концевых фрез. К ним относятся цанговый патрон, патрон с прижимным винтом, гидравлический патрон и термopatрон.

Этот вид вспомогательного инструмента должен отвечать требованию

$$M_{\text{п}} \geq M_{\text{кр}},$$

где $M_{\text{п}}$ — момент, передаваемый патроном режущему инструменту, Н·м; $M_{\text{кр}}$ — крутящий момент сил резания, действующих на режущий инструмент и передаваемый от шпинделя станка в процессе обработки.

Цанговый патрон. Основная деталь такого устройства — цанга, представляющая собой точно изготовленную закаленную втулку с продольными прорезями. Цанга обладает пружинящими свойствами и обеспечивает точное центрирование инструмента.

Схема цангового патрона с одноугловой цангой, разрезанной с двух сторон, представлена на рис. 12.1. При вращении гайки 3 по резьбе корпуса 1 цанга 2 зажимает хвостовик 4 режущего инструмента.

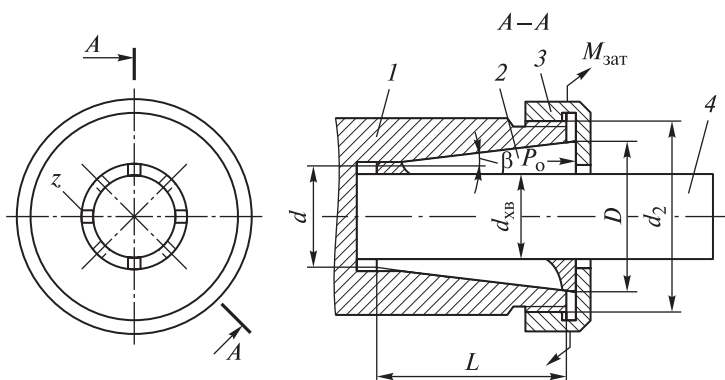


Рис. 12.1. Схема крепления инструмента в цанговом патроне:

1 — корпус; 2 — цанга; 3 — гайка; 4 — хвостовик режущего инструмента; D — диаметр переднего торца цанги; d — диаметр заднего торца цанги; d_{xb} — диаметр хвостовика режущего инструмента; β — угол уклона конуса цанги; P_o — осевая сила затяжки цанги; $M_{зат}$ — момент затяжки гайки; L — длина цанги; z — число разрезов в цанге

Осевая сила затяжки цанги P_o , кН, в цанговом патроне:

$$P_o = \frac{M_{зат}}{\frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{пр}) + f_{пр} D}, \quad (12.1)$$

где $M_{зат}$ — момент затяжки гайки, кН·мм; d_2 — средний диаметр резьбы, мм; α — угол подъема винтовой линии, град; $\varphi_{пр}$ — приведенный угол трения резьбы; $f_{пр}$ — приведенный коэффициент трения в паре цанга — гайка; D — диаметр переднего торца цанги, мм.

Сила, направленная по нормали к конической поверхности (рис. 12.2), определяется из соотношения

$$W = \frac{P_o}{\operatorname{tg}(\beta + \varphi_{пр}) + \operatorname{tg} \lambda}, \quad (12.2)$$

где λ — угол трения между коническими поверхностями цанги и корпуса.

Силу W , сжимающую лепестки цанги, нельзя считать силой, зажимающей хвостовик инструмента. Необходимо учесть жесткость лепестков цанги и характер распределения сил по лепесткам.

Цанга после разрезки представляет собой кольцевую пружину, образованную упругими лепестками длиной l_n (см. рис. 12.2).

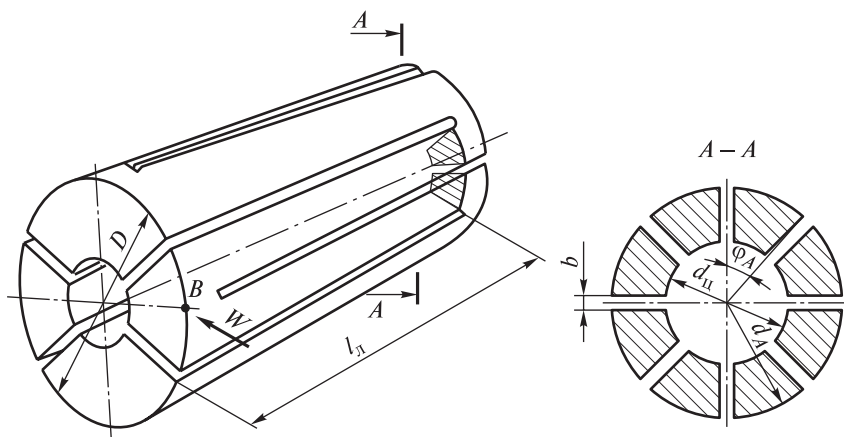


Рис. 12.2. Схема одноугловой цанги:

$d_{\text{ц}}$ — диаметр отверстия в цанге; b — ширина разреза

Для крепления хвостовика инструмента необходимо, чтобы лепесток цанги переместился на величину

$$\frac{\Delta}{2} = \frac{d_{\text{ц}} - d_{\text{хв}}}{2}, \quad (12.3)$$

где $d_{\text{ц}}$ — диаметр отверстия в цанге, мм; $d_{\text{хв}}$ — диаметр хвостовика инструмента.

Силу, вызывающую перемещение $\frac{\Delta}{2}$, рассчитывают по формуле

$$W = \frac{NEI_z \Delta}{L_{\text{к}}^3}, \quad (12.4)$$

где N — коэффициент линейной зависимости упругости лепестка; E — модуль продольной упругости материала цанги, кН/мм²; I — осевой момент инерции сечения лепестка цанги; z — число разрезов цанги; $L_{\text{к}}$ — длина контакта цанги с корпусом, мм.

Рассмотрим отдельный лепесток, как балку на упругом основании, считая, что зависимость перемещения лепестка от нагрузки имеет линейный характер. Тогда

$$\Delta = \frac{W l_{\text{л}}^3}{NEI}, \quad (12.5)$$

где $l_{\text{л}}$ — длина лепестка цанги, мм.

Значения коэффициента N определяют по номограмме (рис. 12.3).

Осевой момент инерции в сечении А-А (см. рис. 12.2) также определяют по номограмме (рис. 12.4).

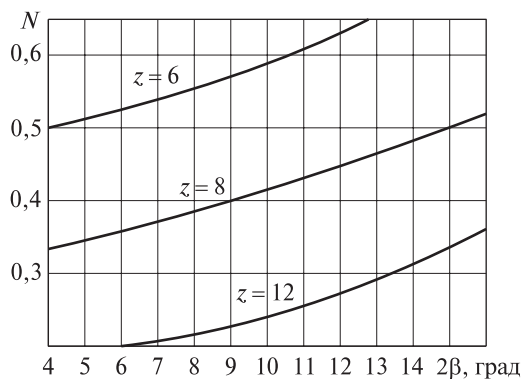


Рис. 12.3. Зависимость коэффициента N от угла конуса цанги 2β с разным числом разрезів z

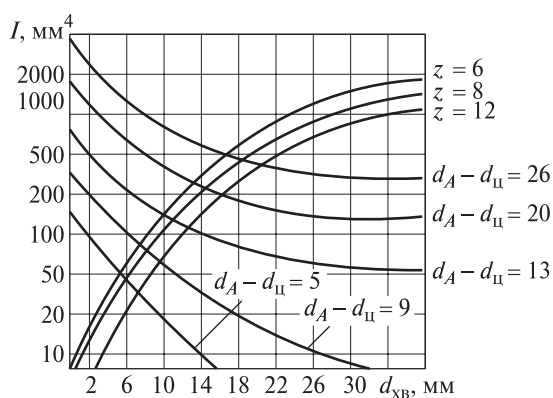


Рис. 12.4. Зависимости осевого момента инерции I в сечении лепестка одноугловой цанги от диаметра хвостовика для разного числа разрезів z и разности диаметров ($d_A - d_{ш}$)

Для угловых зазоров $\Delta\beta$, образующихся в конических соединениях, выполненных со степенью точности АТ8, длина контакта L_k цанги с корпусом цангового патрона составляет $0,3L$. Для этих условий сила Q , действующая на хвостовик инструмента, определяется выражением

$$Q = W - \frac{1,5NEI\Delta z}{L_k^3}. \quad (12.6)$$

Удельное давление $p_{уд}$ в стыке хвостовик инструмента — отверстие цанги рассчитывают по формуле

$$p_{уд} = \frac{3Q}{(\pi d_{хв} - bz)L_k}, \quad (12.7)$$

где b — ширина разреза цанги.

Если рассматривать такой стык как цилиндрическое соединение с натягом, то момент $M_{п}$, передаваемый цанговым патроном,

$$M_{п} = \frac{p_{уд} \pi d_{хв}^2 L \mu}{2}, \quad (12.8)$$

где μ — коэффициент сцепления для гладких цилиндрических соединений, $\mu = 0,6 \dots 0,7$.

Силу $P_{п}$, удерживающую режущий инструмент в цанге вдоль ее оси, определяют по формуле

$$P_{п} = p_{уд} \pi d_{хв} L \mu. \quad (12.9)$$

На рис. 12.5 приведены значения $M_{п}$, полученные для цанговых патронов с одноугловыми цангами с одинаковыми размерами, но с различной конусностью.

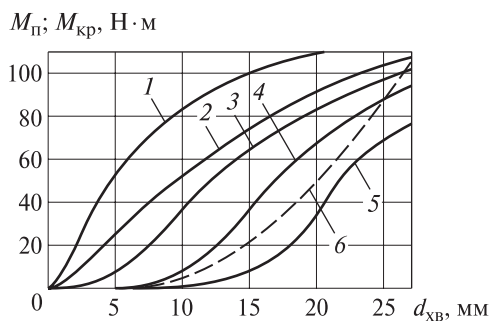


Рис. 12.5. Зависимости передаваемого момента $M_{п}$ для цанг с различной конусностью (1 — 1:10; 2 — 1:7; 3 — 1:5; 4 — 1:3; 5 — 1:1,86) и момента сил резания $M_{кр}$ при фрезеровании (6) от диаметра $d_{хв}$

В расчетах приняты следующие параметры: диаметр переднего торца цанги, $D = 40$ мм; диаметр резьбы d_2 зажимной гайки — М48×2 мм со средним диаметром 46,7 мм; приведенный коэффициент трения, $f_{пр} = 0,25$; число разрезов в цанге $z = 8$ с шириной $b = 1,5$ мм; момент, приложенный к гайке механизма, $M_{зат} = 80$ Н·м.

Из приведенных на рис. 12.5 зависимостей следует, что требованиям надежного закрепления инструмента с цилиндрическим хвостовиком удовлет-

воряют цанги с конусностью 1:7. Примером может служить показанная на рис. 12.6 цанга, предназначенная для закрепления концевых фрез. Для цанг с диаметром $d_{ц} < 5$ мм число разрезов $z = 4$, для остальных $z = 8$. Рекомендованные размеры такой цанги даны в табл. 12.1.

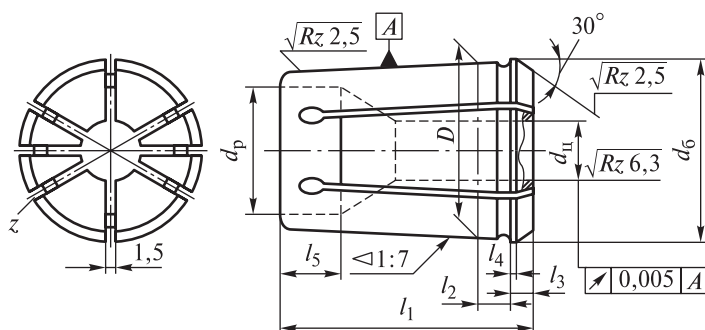


Рис. 12.6. Конструкция одноугловой цанги: основные размеры и технические требования

Таблица 12.1

Размеры одноугловой цанги, мм

Цанга	$d_{ц}$	D	d_6	$d_п$	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5
16	3–16	22,65	25,50	16,1	40	5,5	5,5	1,20	10,0
20	4–20	27,40	29,80	20,3	45	6,0	6,0	1,35	10,0
25	5–25	32,90	35,05	25,1	52	6,0	6,0	1,40	11,0
32	6–32	41,30	43,70	32,1	60	7,0	6,0	1,45	12,0

Цанги данной конструкции отличаются высокой технологичностью, могут быть изготовлены в инструментальных цехах предприятий.

Патрон с прижимом винтом. Патроны таких конструкций применяют для закрепления концевых фрез, а также как базисные агрегаты станочных приспособлений типа УНП.

Схема соединения патрона с хвостовиком фрезы показана на рис. 12.7. С помощью винта 3 цилиндрический хвостовик 2 прижимается усилием W к одной стороне отверстия диаметром $d_{п}$ в корпусе 1. Для надежного контакта с винтом хвостовик имеет лыску глубиной h .

С учетом колебаний нагрузки момент $M_{п}$, передаваемый таким соединением с винтом из стали с $[\sigma_{в}] = 600$ МПа, равен

$$M_{п} = 0,12 d_{хв} d_1 h, \quad (12.10)$$

где $d_{хв}$ — диаметр хвостовика режущего инструмента, мм; d_1 — диаметр винта, мм; h — высота лыски на хвостовике, мм.

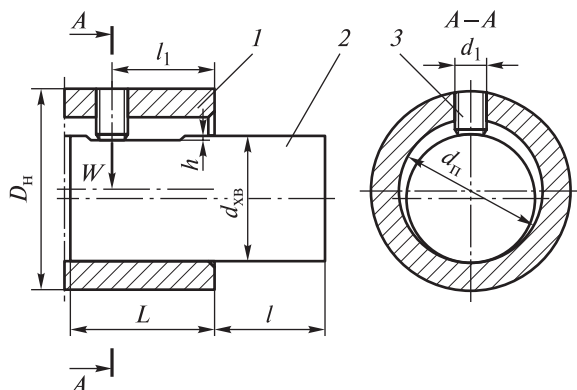


Рис. 12.7. Схема соединения хвостовика фрезы с патроном с прижимом винтом:

1 — корпус; 2 — хвостовик; 3 — винт

Силу W , приложенную к хвостовику инструмента винтом с цилиндрической формой конца, рассчитывают по зависимости, приведенной в табл. 8.1.

Диаметр d_1 винта зависит от требуемой силы W и материала винта (рис. 12.8).

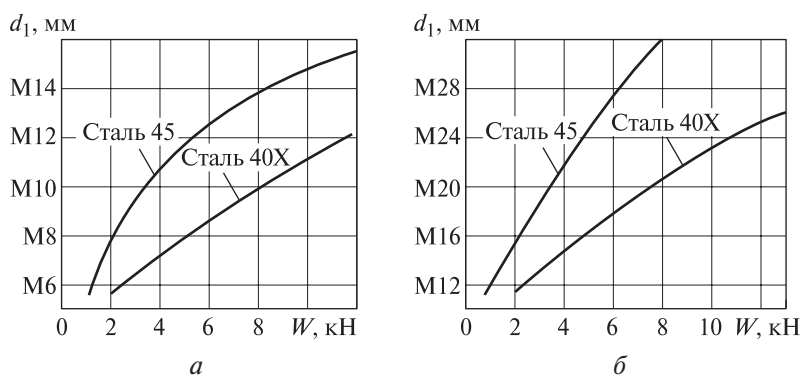


Рис. 12.8. Зависимости диаметра d_1 винта от силы W и материала винта:

а — для М6–М14; б — для М12–М28

Примером может служить конструкция патрона, показанная на рис. 12.9. Рекомендуемые размеры и параметры патронов с конусом 7:24 для установки фрез и закрепления их одним винтом приведены в табл. 12.2.

Недостатком патронов с прижимом винтом является относительно большое биение закрепляемого инструмента.

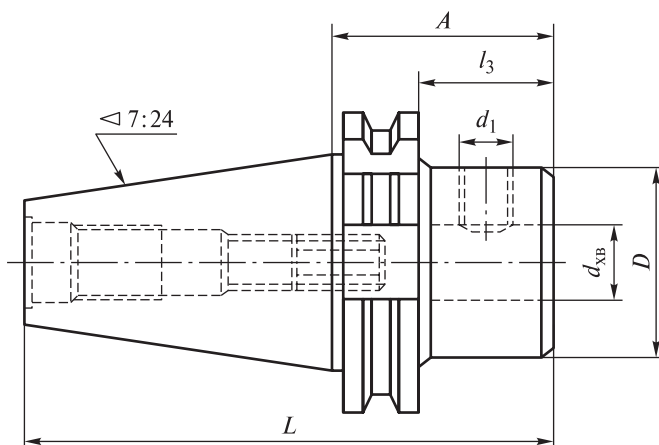


Рис. 12.9. Основные размеры патрона с прижимом винтом

Таблица 12.2

Основные размеры патронов с конусом 50 конусностью 7:24 и момент затяжки винта

d_{XB} , мм	A , мм	l_3 , мм	D , мм	L , мм	d_1 , мм	$M_{зат}$, Н·м
6	63	30	25	165	M6	5
8			28		M8	12
10		39	35		M10	16
12			42			
14		44	44		M12	23
16			48			
18		47	50		M14	30
20		49	52		M16	
25	80	54	65	182	M18	35
32		58	72		M20	40

Примечание. Указано рекомендуемое значение момента затяжки винта динамометрическим ключом.

Гидравлический патрон. Схема такого патрона показана на рис. 12.10. В корпусе 1 патрона выполнены полости 6 и каналы 4, которые заполнены специальной гидравлической жидкостью. Плунжер 2, управляемый винтом 8, создает гидравлическое давление, которое деформирует мембрану 5, в результате чего происходит закрепление цилиндрического хвостовика инструмента, положение которого предварительно регулируется винтом 3, перемещаемым от поворота винта 7.

Передаваемый гидравлическим патроном крутящий момент M_n значительно меньше, чем у патрона с прижимом винтом (рис. 12.11).

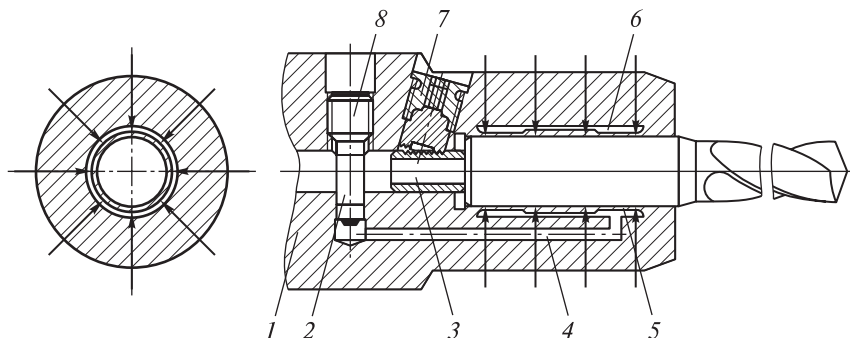


Рис. 12.10. Схема гидравлического патрона:

1 — корпус; 2 — плунжер; 3, 7, 8 — винты; 4 — канал; 5 — мембрана; 6 — полость

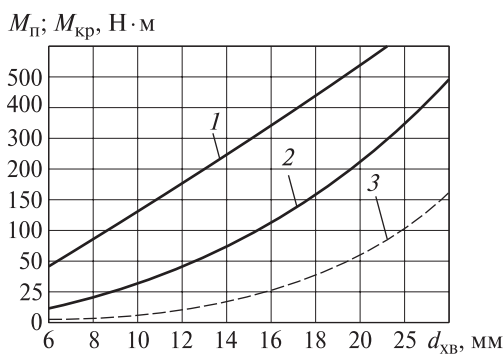


Рис. 12.11. Зависимости передаваемого момента M_p для патрона с прижимом винтом (1) и гидравлического патрона (2), а также момента сил резания $M_{кр}$ при фрезеровании (3) от диаметра закрепляемого хвостовика $d_{хв}$

Термопатрон. Такие патроны представляют собой установленную в шпинделе станка 3 втулку 1, в которой закреплен цилиндрический хвостовик твердосплавной фрезы 2 диаметром $d_{хв}$ (рис. 12.12).

Действие термопатрона основано на том, что после нагревания втулки и расширения его посадочного отверстия в него вставляется хвостовик.

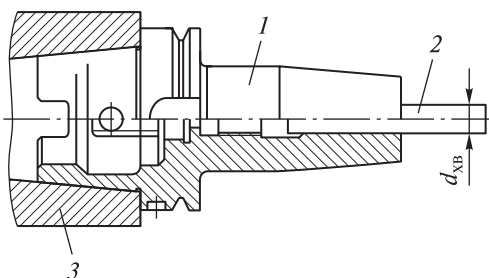


Рис. 12.12. Термопатрон для высокоскоростной обработки:

1 — втулка; 2 — фреза; 3 — шпиндель

После охлаждения отверстие диаметром d_1 сжимается до исходного размера, который меньше диаметра хвостовика инструмента, в результате чего создается посадка с натягом в 20...30 мкм (рис. 12.13). Рекомендованные размеры термопатронов приведены в табл. 12.3.

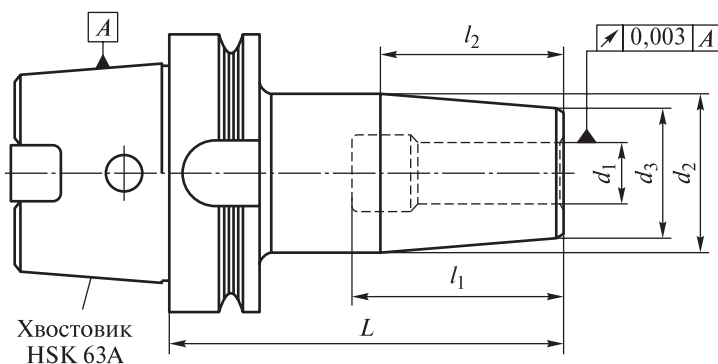


Рис. 12.13. Основные размеры и параметры термопатрона

Таблица 12.3

Основные размеры термопатрона с хвостовиком HSR 63A, мм

d_1 (H5), мм		d_2	d_3	l_1	l_2	L
Исходный	После нагрева					
5,95	6,047	27	20	36	55	80
7,92	8,049				70	
9,90	10,062	34	24	42	75	85
11,88	12,074			47	85	90
13,86	14,086	48	27	50	95	100
15,84	16,099				100	
17,82	18,111	68	33	52	110	120
19,80	20,124					
24,75	25,154	85	44	58	110	120
31,69	32,208				120	

Для увеличения диаметра d_1 посадочного отверстия термопатрона его нагревают токами высокой частоты (ТВЧ) с помощью индукционной катушки (рис. 12.14).

Устройство для нагрева используется для закрепления хвостовиков диаметром 3...32 мм. Время разогрева до температуры 350 °С составляет 3...5 с, цикл охлаждения при специальном охлаждении — 30 с.

Если закрепление осуществляется в диапазоне упругих деформаций материала термопатрона, то оно может быть повторено до 5000 раз.

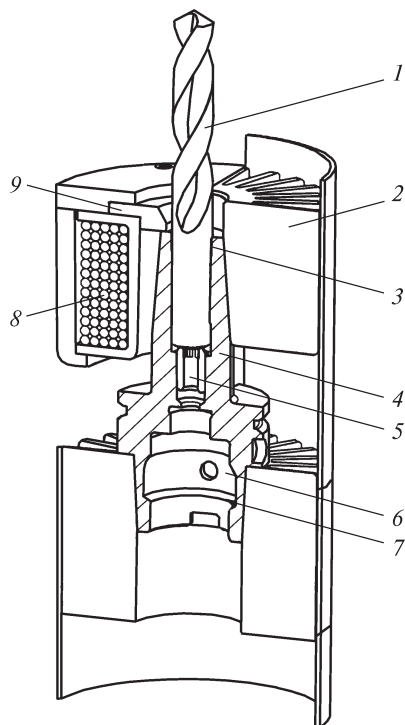


Рис. 12.14. Схема устройства для нагрева термопатрона:

1 — закрепляемый инструмент; 2 — радиатор воздушного охлаждения; 3 — расточка для снятия «краевого» эффекта; 4 — термопатрон; 5 — регулировочный винт; 6 — хвостовик термопатрона типа HSK; 7 — поверхность для закрепления на станке; 8 — индукционная катушка

Критерии выбора патронов для установки концевых фрез диаметром 3...25 мм, рассчитанные для условий единичного многономенклатурного производства изделий на одном универсальном фрезерном станке с ЧПУ, приведены в табл. 12.4. В таблице показаны абсолютные значения каждого критерия и приведенные, рассчитанные в процентах относительно патрона с прижимом винтом.

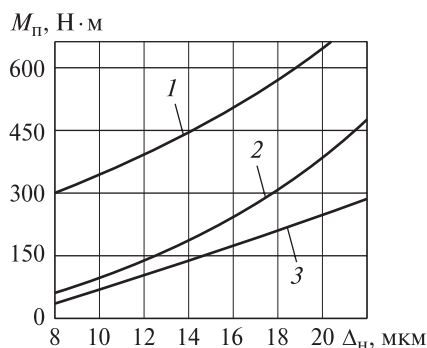


Рис. 12.15. Зависимость передаваемого момента M_n от натяга Δ_n для фрезы диаметром $d_{фр} = 16$ мм при длине соединения 40 мм (1), 25 мм (2), 20 мм (3)

Передаваемый момент M_n зависит от натяга Δ_n в соединении термопатрон — хвостовик фрезы, возникающего в результате охлаждения патрона, а также от длины соединения хвостовика с патроном. Зависимость для фрезы диаметром $d_{фр} = 16$ мм показана на рис. 12.15.

Критерии выбора патронов для фрезерования. Каждый из рассмотренных патронов имеет свои преимущества и недостатки. Поэтому патроны выбирают в соответствии с конкретными производственными условиями.

Таблица 12.4

Критерии оценки и выбор патронов

Критерий	Патрон с при- жимом винтом	Цанговый патрон	Гидравличе- ский патрон	Термо- патрон
Время обслуживания, мин	8	5	8	12
%	100	63	100	150
Момент усилия разборки, кН·м	0,4	0,8	0,4	0
%	100	200	100	0
Наружный диаметр, мм	80	63	75	50
%	100	78	94	63
Дисбаланс, г·мм	8	2,5	8,0	1,6
%	100	31	100	20
Биение контрольных оправок, мм	0,03	0,02	0,01	0,005
%	100	67	33	17
Податливость, мкм/Н	112	84	100	40
%	100	75	89	36
Стоимость вспомогательного оборудования, тыс. руб.	5	10	40	400
%	100	200	800	8000
Сумма показателей, %	700	714	1216	8286
Место	1	2	3	4

Очевидно, что для специализированного участка крупносерийного производства из большого количества однотипных фрезерных станков, на которых используются 2-3 типоразмера концевых фрез, будет целесообразным применить термopatроны, так как затраты на их обслуживание будут равномерно распределены между всеми станками.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. В каких случаях необходимы зажимные устройства инструментальной оснастки (также называемые вспомогательным инструментом)?

2. Что представляет собой конструкция термopatрона? Инструменты из каких инструментальных материалов целесообразно закреплять в термopatроне?

3. Какие изменения следует внести в конструкцию цанги, чтобы снизить жесткость ее лепестков?

4. На каких станках и для чего применяют конструкции зажимных устройств с односторонним прижимом винтами?

5. Рассчитайте осевую силу P_o , действующую на цангу цангового патрона со следующими параметрами: средний диаметр резьбы гайки $d_2 = 46,7$ мм; угол подъема винтовой линии резьбы $\alpha = 1^\circ 36'$; приведенный угол трения резьбы $\varphi_{пр} = 5^\circ 43'$; момент затяжки гайки $M_{зат} = 8$ кН·мм; приведенный коэффициент трения в паре гайка – корпус патрона $f_{пр} = 0,25$; диаметр переднего торца цанги $D = 40$ мм.

6. Рассчитайте передаваемый цанговым патроном момент M_n и осевую силу P_n при закреплении режущего инструмента с цилиндрическим хвостовиком диаметром $d_{хв} = 12$ мм в цанге на длине контакта $L_k = 50$ мм, рассматривая такой стык как цилиндрическое соединение с натягом. Примите коэффициент сцепления μ для внутренней поверхности цанги без насечек равным 0,65.

7. Определите силу закрепления W , приложенную к хвостовику инструмента, установленному в патроне с односторонним прижимом винтом со следующими размерами: диаметр резьбы зажимного винта $M16 \times 1,5$ мм; крутящий момент, приложенный к винту для закрепления инструмента $M_{зат} = 15$ Н·м; коэффициент трения по опорной поверхности винта $f_{тр} = 0,25$; угол подъема резьбы $\alpha = 2^\circ 30'$; приведенный угол трения в подвижных соединениях $\varphi_{пр} = 6^\circ 40'$.

Лекция 13. Системы модульной инструментальной оснастки

Все существующие системы модульной инструментальной оснастки, в том числе и для обработки резанием, включают следующие типы модулей:

- резцовые вставки, содержащие узлы крепления режущих пластин или резцов;
- модули регулировки, предназначенные для обеспечения требуемого вылета и диаметра инструмента;
- переходники, которые служат для взаимосвязи модулей;
- базисные агрегаты.

Эффективность модульной инструментальной оснастки возрастает при унификации используемых технических решений. Это позволяет повысить интенсивность эксплуатации технологических систем, а также снизить затраты на изготовление специальных модулей в условиях инструментальных цехов машиностроительных предприятий.

На рис. 13.1 приведен пример модульной инструментальной оснастки для растачивания отверстий в диапазоне диаметров 8...120 мм.



Рис. 13.1. Пример модульной инструментальной оснастки:

1 — резцовые вставки; 2 — модуль регулирования; 3 — переходник;
4 — базисный агрегат

Вспомогательный инструмент также выполняют модульным (агрегатированным) и унифицируют для разных типов оборудования, используя стандартные присоединительные поверхности для крепления в узлах станков.

Для изготовления деталей без пробных проходов и повторных наладок в конструкции вспомогательного инструмента включают регулировочные

устройства, обеспечивающие требуемое положение режущих кромок инструмента.

Для крепления в соответствующем узле станка и для автоматической смены инструмента из отдельного магазина хвостовики вспомогательного инструмента стандартизованы.

Разделение на взаимозаменяемые модули изменяет свойства инструментальной оснастки, что вызывает необходимость научного обоснования требований к качеству присоединительных поверхностей модулей и области эффективного применения модульной инструментальной оснастки.

Особенно важно учитывать влияние тепловых деформаций модулей, возникающих в процессе резания, а также роль силовой нагрузки (крутящих, изгибающих, растягивающих и сжимающих напряжений и их совокупности), которую воспринимает крепежная часть инструментальной оснастки.

Под влиянием этих параметров изменяется траектория движения режущего инструмента во время обработки, что приводит к снижению точности размеров и формы, к росту шероховатости поверхностей обрабатываемых деталей. Поэтому при проектировании рациональных систем модульной инструментальной оснастки используют методики моделирования и расчетов точности и жесткости по критериям эффективной эксплуатации автоматизированных производств.

Для расчета размерных цепей, содержащих звенья-зазоры и звенья-биения, применяют методики, по которым размерные цепи связывают между собой все детали модульной инструментальной оснастки, влияющие на точность взаимного положения базовых поверхностей. Это позволяет проанализировать влияние погрешностей размеров и формы базовых поверхностей на точность замыкающего звена.

Контактные деформации в цилиндрических и конических соединениях модулей инструментов в значительной степени определяют жесткость технологической системы. Поэтому модульную инструментальную оснастку рассматривают как состоящую из отдельных балок на упругих основаниях, которыми служат поверхностные слои сопрягаемых модулей.

Перемещения в сечении приложения нагрузки в результате контактных деформаций в стыке определяются как сумма упругих перемещений и перемещений вследствие поворота в стыке, приведенных к сечению приложения нагрузки. Жесткость соединения может быть повышена как уменьшением зазоров, так и увеличением давления в стыках.

Точность установки инструмента зависит от качества изготовления и состояния наружных конусов инструмента и внутренних конусов шпинделей станков.

В конических соединениях вследствие разности углов наружного конуса инструмента и внутреннего конуса в шпинделе диаметром D_a контакт осуществляется не по всей длине соединения L , а на ограниченной длине L_k , определяемой деформациями стыка в результате возникающего давления (рис. 13.2).

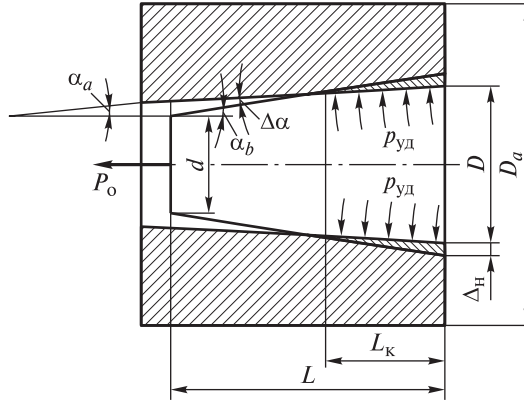


Рис. 13.2. Длина контакта L_k в затянутом коническом стыке:

α_a — половина угла внутреннего конуса в шпинделе; α_b — половина угла наружного конуса инструмента

Удельное давление $p_{уд}$ в коническом соединении, зависящее от длины контакта, определяется по формуле

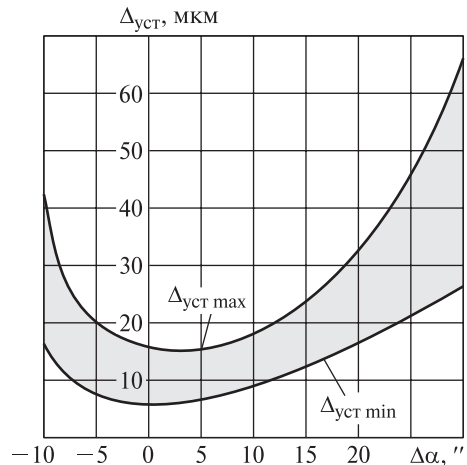
$$p_{уд} = \frac{2P_o \cos 2\alpha_b}{\pi(D + \Delta_n)L_k \sin(2\alpha_a + \varphi)}, \quad (13.1)$$

где P_o — осевая сила закрепления; D — номинальный диаметр конуса; Δ_n — радиальный натяг в коническом соединении; φ — угол трения в коническом соединении.

На рис. 13.3 представлена экспериментальная зависимость точности установки $\Delta_{уст}$ от погрешности изготовления конусов (по углу уклона $\Delta\alpha$) с учетом биения шпинделя.

В сумму погрешностей установки входят следующие элементы: биение отверстия шпинделя; перекос оправки в коническом соединении; перекос оправки вследствие смещения осевой силы закрепления.

Рис. 13.3. Зависимость точности установки $\Delta_{уст}$ инструмента от погрешности изготовления хвостовиков конусностью 7:24 ($\Delta_{уст \max}$ и $\Delta_{уст \min}$ — максимальное и минимальное значения точности установки $\Delta_{уст}$)



Величину $\Delta_{\text{уст}}$, мм, рассчитывают по формуле:

$$\Delta_{\text{уст}} = \frac{2}{K_{\Sigma}} \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2 K_i^2 e_i^2}, \quad (13.2)$$

где K_{Σ} — коэффициент относительного рассеяния замыкающего звена; n — число элементов инструментального блока, влияющих на точность позиционирования, включая погрешности шпинделя станка и перекося в коническом соединении 7:24; e_i — половина величины биения; A_i — передаточное отношение; K_i — коэффициент относительного рассеяния размеров присоединительных поверхностей вспомогательного инструмента.

Значения биения $2e_i$ для основных конических соединений определяют из табл. 13.1. Значение K_{Σ} рассчитывают по формуле

$$K_{\Sigma} = 1 + \frac{0,55}{\sum_{i=1}^n e_i} \left[\sqrt{\sum_{i=1}^n (e_i K_i)^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2} \right]. \quad (13.3)$$

Таблица 13.1

Биение инструмента $2e$, мкм, на вылете 100 мм в зависимости от погрешности изготовления конусов хвостовиков

Конусность хвостовика	Степень точности конусов							
	AT3	AT4	AT5	AT6	AT7	AT8	AT9	AT10
7:24	1,0	1,2	1,3	2,6	5,0	12,0	—	—
1:20 (конус Морзе)	—	—	9,5	10,5	15,0	18,0	20,0	24,5
1:10	1,5	4,0	8,0	9,0	10,0	12,0	13,0	17,0

Предполагается, что если биение контрольной оправки длиной 100 мм в цилиндрическом соединении, выполненном по 5-му качеству точности, составляет 3,2 мкм, то биение инструмента с вылетом 150 мм относительно соединения будет в 1,5 раза больше, и для данного элемента конструкции блока передаточное отношение $A = 150/100 = 1,5$.

Контактная жесткость, влияющая на деформацию модульной конструкции в месте приложения силы, зависит от точности изготовления сопряженных поверхностей и т. д.

Упругие объемные деформации деталей сборки и контактные деформации в их стыках оценивают по суммарному перемещению $\Delta_{\text{упр}}$ в заданной точке инструмента: $\Delta_{\text{упр}} = P_y \delta_B$, где P_y — радиальная сила; δ_B — податливость сборки. Для расчета податливости используют формулу

$$\delta_B = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\sum l_i^3}{3E_i I_i} + \theta_i \sum_{i=1}^n l_i^2 \right], \quad (13.4)$$

где l_i — расстояние от сечения приложения силы P_y до начала i -го стыка; E — модуль упругости материала i -й детали сборки; I_i — момент инерции сечения i -й детали сборки; θ_i — угол поворота в i -м стыке деталей, зависящий от конструкции соединения.

Формула (13.4) справедлива, когда присоединительные поверхности модулей имеют параметр шероховатости $Ra \leq 0,32$ и твердость более HRC 45.

В расчетах учитывают качество изготовления присоединительных поверхностей соединений модулей (табл. 13.2).

Таблица 13.2

Значения угла поворота θ , $(H \cdot m)^{-1}$, в хвостовиках конусностью 7:24

Конус	Точность изготовления			
	AT5	AT6	AT7	AT8
40	0,00121	0,00133	0,00142	0,00191
50	0,00020	0,00027	0,00035	—

В модульную инструментальную оснастку входят системы модульного вспомогательного инструмента, в которые включают конструкции для установки наиболее часто применяемого режущего инструмента. Пример такой системы приведен на рис. 13.4.

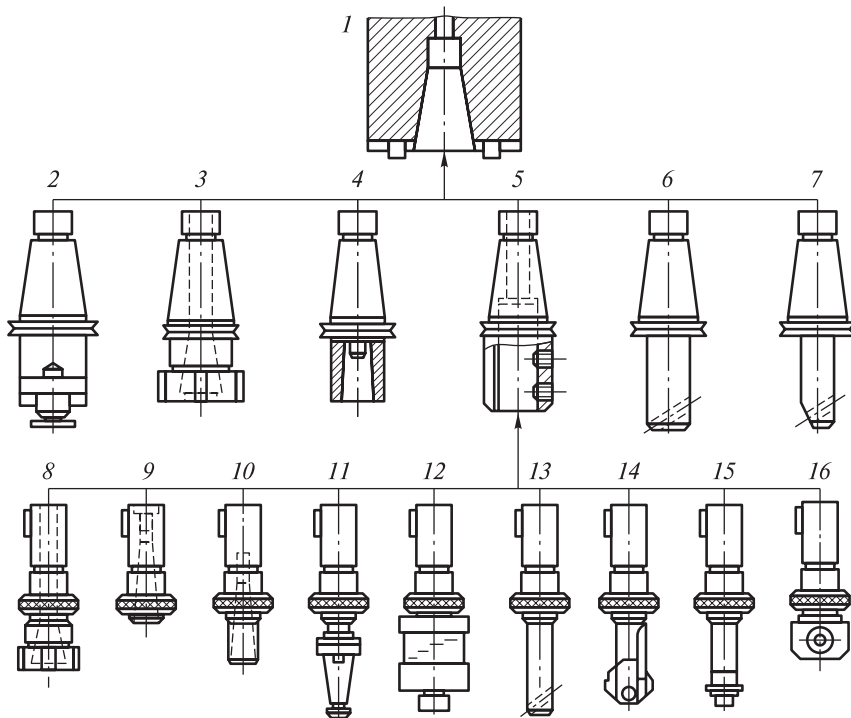


Рис. 13.4. Система модульного вспомогательного инструмента:

1 — конец шпинделя многоцелевого станка; 2–7 — цельный инструмент; 8–16 — модули

Для обработки корпусных деталей применяют цельный инструмент с конусом конусностью 7:24, который закрепляют в шпинделе 1 (см. рис. 13.4). К нему относятся: 2 — оправка для насадных фрез с поперечной шпонкой; 3 — патрон цанговый с диапазоном зажима 20...40 мм; 4 — втулка переходная для концевых фрез с конусом Морзе с резьбовым отверстием; 5 — базисный агрегат (модуль) «Державка»; 6 — оправка расточная для чернового растачивания отверстий; 7 — оправка расточная для чистового растачивания.

Конструкция и размеры соединения цилиндрических хвостовиков модулей с державками 5 (см. рис. 13.4) приведены на рис. 13.5 и в табл. 13.3.

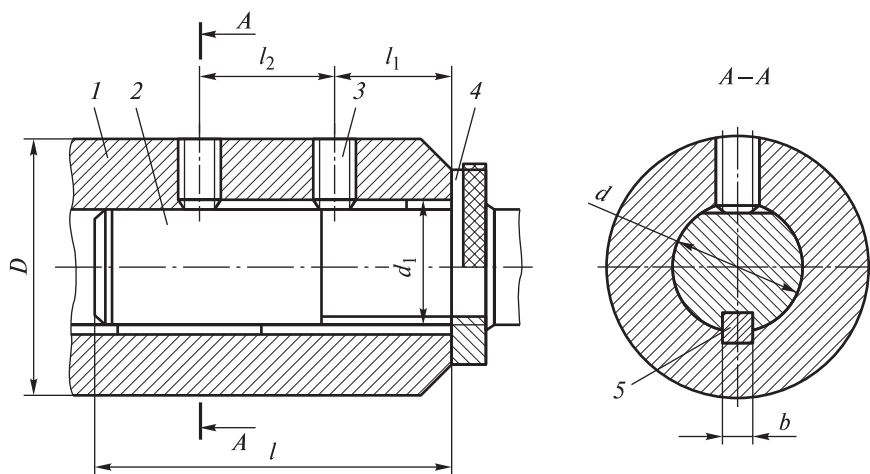


Рис. 13.5. Унифицированное цилиндрическое соединение сменных модулей и державки:

1 — державка; 2 — хвостовик сменного модуля; 3 — зажимной винт; 4 — регулировочная гайка; 5 — шпонка

Таблица 13.3

Размеры цилиндрического соединения (см. рис. 13.5), мм

$d \frac{H6}{g5}$	d_1	D	l	l_1	l_2	$b \frac{c11}{H9}$
36	36×3	63	106	20	30	8
48	48×3	100	126	20	37	10

Модули — цанговые патроны 8 (см. рис. 13.4) предназначены для установки инструмента с цилиндрическим хвостовиком диаметром 3...25 мм. К ним прилагается комплект цанг с отверстиями диаметром 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 6; 6,5; 8; 8,5; 10,5; 12; 16; 20 и 25 мм. Каждая цанга обеспечивает диапазон зажима 0...1 мм.

Сборка модулей «Державка» и «Цанговый патрон» представлена на рис. 13.6. Цанги имеют конусность 1:10, изготавливаются из стали 60С2А с термообработкой до твердости 49...53 HRC.

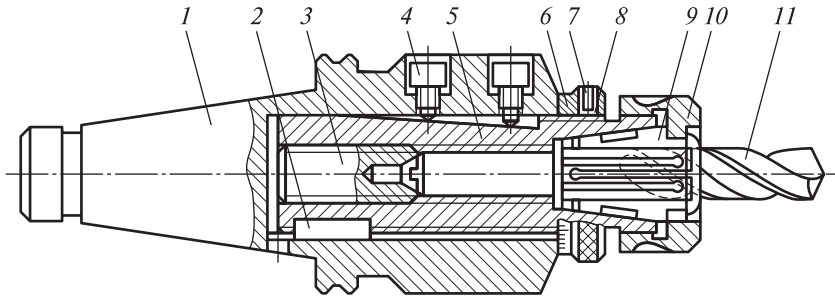


Рис. 13.6. Сборка модулей вспомогательного и режущего инструмента:

1 — модуль «Державка»; 2 — шпонка; 3 — упор; 4 — винт; 5 — хвостовик модуля «Патрон цанговый»; 6 — регулировочная гайка; 7 — стопорный винт; 8 — прокладка; 9 — модуль «Цанга»; 10 — гайка; 11 — сверло

Модули «Втулки переходные» (см. рис. 13.4) с диаметрами 36 и 48 мм короткие 9 и длинные 10 предназначены для закрепления инструмента с конусами Морзе 2, 3 и 4 с лапкой и образуют вместе с державками 5 сборные втулки для регулировки вылета режущих кромок от торца шпинделя положения режущих кромок осевого инструмента типа сверл (рис. 13.7).

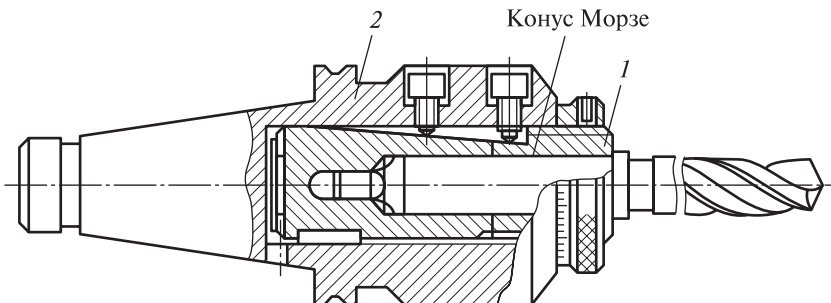


Рис. 13.7. Сборка модулей «Втулка переходная» (1) и «Державка» (2)

Модуль «Оправка регулируемая для насадных зенкеров и разверток» (см. рис. 13.4, 11) обеспечивает регулируемое крепление насадных разверток диаметром 28...50 мм с конусностью 1:30 присоединительной поверхности и торцовым поводком.

Модуль «Патрон резьбонарезной» (см. рис. 13.4, 12) с предохранительным устройством от поломок метчиков предназначен для нарезания резьбы М6...М16 машинными метчиками в сквозных и глухих отверстиях (рис. 13.8).

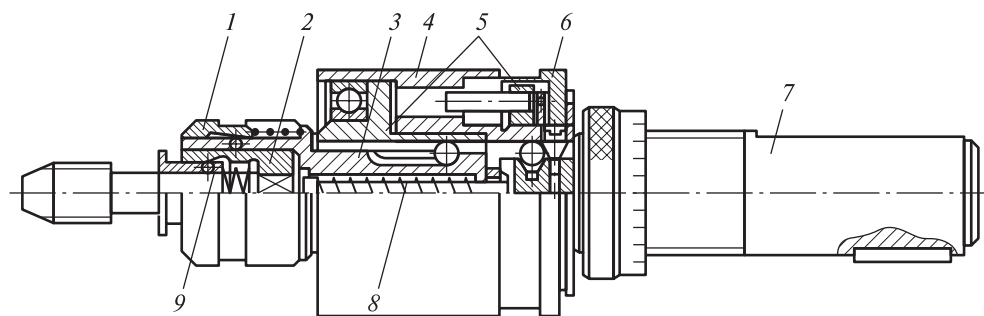


Рис. 13.8. Модуль «Патрон резьбонарезной» с предохранительным устройством:
 1 — втулка; 2 — вставка; 3 — метчикодержатель; 4 — корпус; 5 — муфта; 6 — гайка; 7 — хвостовик; 8 — пружина; 9 — шарик

Патрон состоит из корпуса 4, сменного хвостовика 7, предохранительной шариковой муфты 5, выдвижного метчикодержателя 3, быстросменных вставок 2 для метчиков. Крутящий момент регулируется гайкой 6. Метчикодержатель возвращается в исходное положение после нарезания резьбы и выхода метчика из нарезанного отверстия с помощью пружины 8. Нарезание резьбы происходит путем самозатягивания метчика благодаря выдвижению метчикодержателя. Замена вставки 2 производится нажатием вдоль оси на втулку 1 до совмещения оси канавки с осью шарика 9.

Модули «Оправка для чернового растачивания» 13 (см. рис. 13.4), «Оправка для пластин перовых сверл» 14 и «Оправка для дисковых фрез» 15 также входят в систему модульного вспомогательного инструмента.

Для микрометрической регулировки расточных резцов на диаметр растачивания служит модуль «Расточной патрон» (см. рис. 13.4, 16).

Конструкция расточного патрона показана на рис. 13.9. Регулировка положения резца, закрепляемого в цилиндрическом отверстии резцедержателя 3 через переходную втулку 6, осуществляется вращением микрометрического винта 2, установленного без осевого люфта в корпусе 4 с помощью крышки 7 и винтов 11.

Для устранения зазоров в резьбовом соединении предусмотрена пружина 8, которая через прокладку 7 создает постоянный поджим резцедержателя 3 вдоль оси винта 2. Сила поджима регулируется винтом 9. После установки положения резца резцедержатель фиксируется относительно корпуса винтом 5 через прокладку 10.

Цилиндрический хвостовик 13 с трапецидальной резьбой, шпонкой 14 и гайкой 12 позволяет регулировать расстояние от вершины резца до торца шпинделя станка.

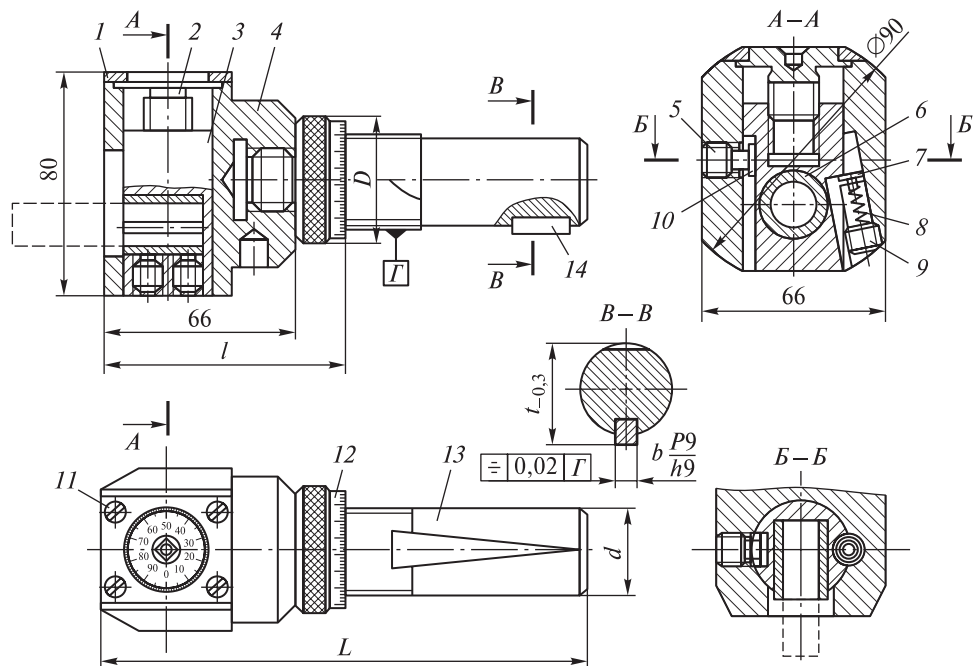


Рис. 13.9. Модуль «Расточной патрон»:

1 — крышка; 2 — винт; 3 — резцедержатель; 4 — корпус; 5, 9, 11 — винты; 6 — втулка; 7 — прокладка; 8 — пружина; 10 — прокладка; 12 — гайка; 13 — хвостовик; 14 — шпонка

На конусы 7:24 хвостовиков модулей инструментальной оснастки для станков классов точности Н и П установлена степень точности АТ5, а для станков классов точности В и А — степень точности АТ4 (ГОСТ 19860–93).

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие типы модулей включают существующие системы модульной инструментальной оснастки для обработки резанием?
2. Какую методику расчета размерных цепей применяют, если цепи содержат звенья-зазоры и звенья-биения?
3. От чего зависит контактная жесткость соединений и деформация модульной конструкции, если к ней приложена внешняя сила?
4. Рассчитайте удельное давление в коническом соединении хвостовика инструмента с конусом 50 конусностью 7:24 с допусками на коническое соединение по степени точности АТ6 по ГОСТ 19860–93 при затяжке его осевой силой 7 кН в конусе такой же точности шпинделя фрезерного станка.
5. По экспериментальной зависимости на рис. 13.3 определите диапазон погрешности установки режущего инструмента в шпинделе фрезерного станка с конусом 40 конусностью 7:24 с допусками на коническое соединение по степени точности АТ5 по ГОСТ 19860–93.

Лекция 14. Расчеты допускаемых отклонений модулей вспомогательного инструмента

Размеры модулей вспомогательного инструмента, предназначенных для закрепления режущего инструмента, назначают таким образом, чтобы получаемые сборки модулей и режущего инструмента удовлетворяли требованиям точности и жесткости. Для этого используют сведения о влиянии конструктивных и геометрических параметров вспомогательного инструмента на точность установки режущего инструмента, а также на деформации этих сборок в процессе обработки.

Схема образования отклонения положения режущей кромки инструмента диаметром d_1 и вылетом l_1 , установленного в сборке со вспомогательным инструментом, приведена на рис. 14.1.

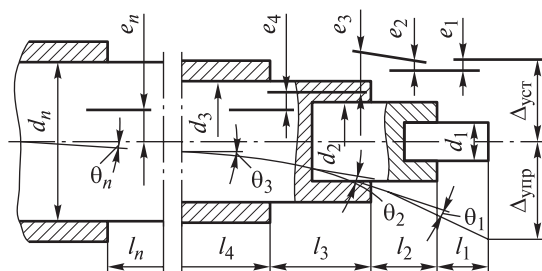


Рис. 14.1. Схема образования отклонений положения режущих кромок инструмента

Упругая деформация $\Delta_{упр}$, приведенная к вершине режущего инструмента, определяется объемными (изгибными) и контактными деформациями. Контактные деформации в каждом из стыков характеризует угол поворота θ_i .

Замыкающим звеном пространственной размерной цепи, образованной отклонениями линейных и угловых размеров e_i элементов системы станок — вспомогательный инструмент — режущий инструмент, является точность установки $\Delta_{уст}$. Угловые ошибки составляющих звеньев (перекосы осей) и векторные ошибки (параллельное смещение осей) суммируются путем приведения перекосов осей к векторному виду в плоскости замыкающего звена. Для расчета точности установки используют формулу (13.2).

В качестве примера рассмотрим сборку, изображенную на рис. 13.6, размерная цепь которой представлена на рис. 14.2.

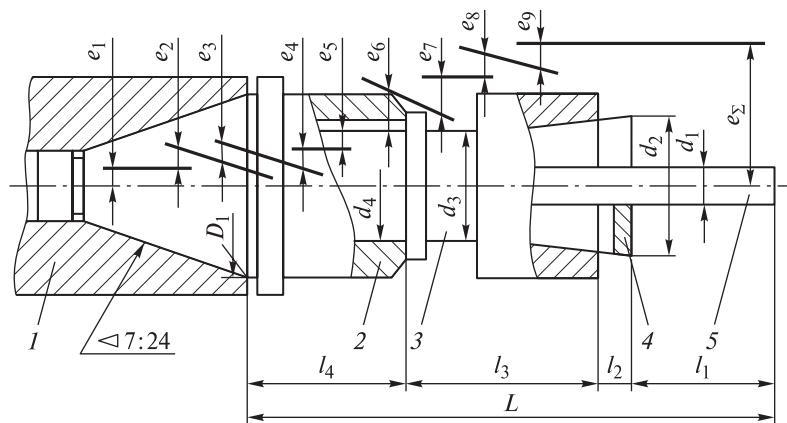


Рис. 14.2. Размерная цепь установленной на станке сборки вспомогательного и режущего инструмента:

1 — шпиндель станка; 2 — модуль «Державка»; 3 — модуль «Цанговый патрон»; 4 — модуль «Цанга»; 5 — сверло

В размерную цепь входят следующие звенья:

- e_{Σ} — замыкающее звено размерной цепи;
- e_1 — биение конического отверстия шпинделя;
- e_2 — биение шпинделя от перекоса осей;
- e_3 — биение модуля «Державка» от перекоса в коническом соединении;
- e_4 — биение модуля «Цанговый патрон» от зазора в цилиндрическом соединении;
- e_5 — биение модуля «Цанговый патрон» от перекоса в цилиндрическом отверстии модуля «Державка»;
- e_6 — биение конического отверстия в модуле «Цанговый патрон»;
- e_7 — биение от перекоса конического отверстия в модуле «Цанговый патрон»;
- e_8 — биение цилиндрического отверстия в модуле «Цанга»;
- e_9 — биение режущей части сверла относительно его хвостовика.

Запишем уравнение размерной цепи:

$$e_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{\sum_i^n A_i^2 K_i^2 e_i^2}, \quad (14.1)$$

где K_{Σ} — коэффициент относительного рассеивания замыкающего звена e_{Σ} ;
 A_i — передаточное отношение, $A_i = l_i / l_{ni}$ (l_i — вылет консоли i -го звена;
 l_{ni} — нормируемый вылет, на котором измеряют биение по стандартам);
 K_i — коэффициент относительного рассеивания i -го звена.

Значение коэффициента K_i выбирают в зависимости от способа получения присоединительной поверхности (табл. 14.1).

Таблица 14.1

Значение коэффициента K_i в зависимости от способа получения поверхности

Способ получения поверхности	Вид поверхности		
	Конус 7:24	Конус 1:5, 1:10, 1:30, Морзе	Цилиндр
Наружное шлифование в центрах	1,51	1,37	1,09
Внутреннее шлифование	1,17	1,21	1,09

Звенья e_2, e_3, e_5, e_7, e_9 являются векторами перекосов, которые необходимо учитывать при изменении вылетов модулей и сверла, а звенья e_1, e_4, e_6, e_8 — векторами биений, не зависящими от вылета.

Запишем уравнение размерной цепи (14.1) в развернутом виде:

$$e_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{(A_1 K_1 e_1)^2 + (A_2 K_2 e_2)^2 + (A_3 K_3 e_3)^2 + (A_4 K_4 e_4)^2 + \dots} \quad (14.2)$$

$$\dots + (A_5 K_5 e_5)^2 + (A_6 K_6 e_6)^2 + (A_7 K_7 e_7)^2 + (A_8 K_8 e_8)^2 + (A_9 K_9 e_9)^2.$$

Для определения размеров звеньев e_1, e_2, e_4, e_5, e_9 и вылета режущих инструментов используем государственные стандарты. Если в размерной цепи более семи звеньев, то принимают $K_{\Sigma} = 1$.

Исследования влияния основных геометрических и конструктивных параметров режущего инструмента на качество обработки выявили количественные зависимости, характеризующие взаимосвязь точности обработки с точностью установки $\Delta_{уст}$ инструмента. На основе этих зависимостей определены требования к биению $2e_{\Sigma}$ (максимально допустимые значения) режущего инструмента, установленного во вспомогательном инструменте, который, в свою очередь, установлен в шпинделе станка. Для основных типов закрепляемого инструмента ниже приведены максимально допустимые значения биения $2e_{\Sigma}$, мм:

Сверла с цилиндрическим хвостовиком диаметром, мм:	
6—10	0,035
10—20	0,055
Сверла с конусом Морзе диаметром 12—32 мм	0,055
Зенкеры и развертки диаметром до 20 мм	0,030
Зенкеры и развертки диаметром свыше 20 мм	0,060
Фрезы концевые диаметром 3—12 мм	0,010
Фрезы торцовые и дисковые (биение посадочной поверхности)	0,020
Оправки для полустачного растачивания и для перовых сверл (на вылете режущей части)	0,030
Оправки расточные для чистовой обработки отверстий	0,005

Для расчета размерных цепей необходимо определить размеры зазоров в цилиндрических и конических соединениях.

Средние значения зазоров в цилиндрических соединениях, полностью выбираемых в одну сторону, рассчитывают по формуле

$$\Delta_i = \frac{1}{4} K_i (\lambda_A + \lambda_B), \quad (14.3)$$

где K_i — коэффициент относительного рассеивания допуска при изготовлении цилиндрических деталей шлифованием; λ_A — поле допуска отверстия; λ_B — поле допуска вала.

Соотношения между зазорами (Δ_i и $\Delta\alpha_i$) и величинами e_i приведены в табл. 14.2. Угловые зазоры (в угловых секундах) $\Delta\alpha_i$ в конических соединениях соответствуют радиальным зазорам Δ_i (в мм) по эмпирической зависимости

$$\Delta_i = 0,005\Delta\alpha_i l_{\text{кон}}, \quad (14.4)$$

где $l_{\text{кон}}$ — длина конуса.

Таблица 14.2

Зависимости e_i от радиального Δ_i и углового $\Delta\alpha_i$ зазоров в соединениях модулей сборок

Соединение	Зазор		Размер звена e_i , мм (на вылете 100 мм)
	Δ_i , мм	$\Delta\alpha_i$, с	
Коническое патрона с цангой (для режущего инструмента диаметром 5–20 мм)	0–0,025	—	$0,0066 + 0,253\Delta_i$
	0,025–0,050	—	$0,013 + 0,080(\Delta_i - 0,025)$
Цилиндрическое диаметром 48 мм	0,010–0,025	—	$0,010 + 0,220(\Delta_i - 0,015)$
	0,025–0,045	—	$0,0032 + 0,056(\Delta_i - 0,025)$
	0,045–0,070	—	$0,042 + 0,056(\Delta_i - 0,045)$
	0,070–0,100	—	$0,0056 + 0,113(\Delta_i - 0,070)$
Цилиндрическое диаметром 36 мм	0,015–0,030	—	$0,0030 + 0,133(\Delta_i - 0,015)$
	0,030–0,050	—	$0,0026 + 0,085(\Delta_i - 0,030)$
	0,050–0,100	—	$0,033 + 0,086(\Delta_i - 0,050)$
Коническое конусностью 7:24, конус 40	—	0–10	$0,0625\Delta\alpha_i$
	—	10–15	$0,625 + 0,125(\Delta\alpha_i - 10)$
	—	15–30	$1,250 + 0,177(\Delta\alpha_i - 15)$
	—	30–60	$3,000 + 0,150(\Delta\alpha_i - 30)$
Коническое конусностью 7:24, конус 50	—	0–10	$0,0625\Delta\alpha_i$
	—	10–15	$0,625 + 0,125(\Delta\alpha_i - 10)$
	—	15–30	$1,250 + 0,177(\Delta\alpha_i - 15)$
	—	30–60	$3,000 + 0,150(\Delta\alpha_i - 30)$
С конусом Морзе 2	0–0,040	—	$0,0051 + 0,219\Delta_i$
С конусом Морзе 3	0–0,050	—	$0,0066 + 0,253\Delta_i$

В качестве примера рассчитаем замыкающее звено e_{Σ} сборки с закрепленным сверлом с цилиндрическим хвостовиком (рис. 14.3), размерная цепь которой представлена на рис. 14.2. Размеры сборки, мм: $d = 48$; $d_{\text{св}} = 17,5$; $l_1 = 105$; $l_2 = 18$; $l_3 = 37$; $l_4 = 90$.

В табл. 14.3 приведены данные о квалитетах, степенях точности и допускаемых отклонениях всех поверхностей, по которым соединяются модули сборки.

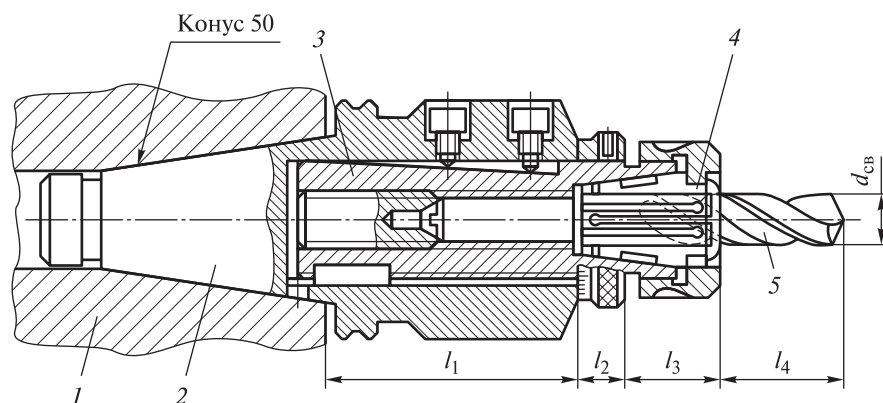


Рис. 14.3. Сборка со сверлом с цилиндрическим хвостовиком:

1 — шпиндель станка; 2 — модуль «Державка»; 3 — модуль «Цанговый патрон»; 4 — модуль «Цанга»; 5 — сверло

Таблица 14.3

Сведения о квалитетах, степенях точности и допускаемых отклонениях поверхностей модулей

Модуль	Поверхность					
	Наружная			Внутренняя		
	Вид	Квалитет или степень точности	Допускаемое отклонение	Вид	Квалитет или степень точности	Допускаемое отклонение
Державка	Конус 50	AT5	$2\alpha_1 = 6''$	Цилиндрическое отверстие $\varnothing 48$ мм	H7	0 +0,025
Цанговый патрон	Цилиндрический хвостовик $\varnothing 48$ мм	g6	-0,009 -0,025	Коническая конусностью 1:7	AT8	$2\alpha_2 = 30''$
Цанга	Коническая конусностью 1:7	AT8	$2\alpha_3 = 30''$	Цилиндрическое отверстие $\varnothing 18$ мм	H9	0 +0,062

Примечание. Угловое отклонение — на длине конуса $l_{\text{кон}} = 100$ мм.

Для определения векторов биения e_6 и e_8 необходимо рассчитать средние значения зазоров:

- в цилиндрическом соединении — по формуле (14.3):

$$\Delta_6 = 0,25 \cdot 1,09 [0,025 + (0,025 - 0,009)] = 0,011 \text{ мм};$$

- в коническом соединении — по формуле (14.4):

$$\Delta_8 = 0,005 \cdot 30 \cdot 100 = 0,015 \text{ мм}.$$

Размеры неизвестных звеньев e_3 , e_6 и e_8 размерной цепи рассчитаем по формулам, приведенным в табл. 14.2:

$$e_3 = 0,0625\Delta\alpha_3 = 0,002 \text{ мм};$$

$$e_6 = 0,010 + 0,220(\Delta_6 - 0,015) = 0,011 \text{ мм};$$

$$e_8 = 0,0066 + 0,253\Delta_8 = 0,008 \text{ мм}.$$

По формуле (14.2) определим замыкающее звено e_Σ .

Число звеньев размерной цепи больше семи ($n > 7$), поэтому принимаем коэффициент $K_\Sigma = 1$. Значения остальных параметров размерной цепи (см. рис. 14.2) приведены в табл. 14.4.

Таблица 14.4

Параметры размерной цепи

Звено	Характеристики звеньев	Вылет l_i , мм	Размер звена, мм	Нормируемый вылет l_{ni} , мм	Передаточное отношение A_i	Коэффициент K_i
e_1	Векторы биений, не зависящие от вылета	—	0,006	250	$A_1 = 1,00$	$K_1 = 1,10$
e_4		—	0,010	100	$A_4 = 1,00$	$K_4 = 1,09$
e_5		—	0,010	100	$A_5 = 1,00$	$K_5 = 1,09$
e_7		—	0,010	100	$A_7 = 1,00$	$K_7 = 1,17$
e_9		—	0,005	50	$A_9 = 1,00$	$K_9 = 1,09$
e_2	Векторы биений от перекосов осей, зависящие от вылета	$l_1 + l_2 + l_3 +$	0,001	150	$A_2 = 1,00$	$K_2 = 1,17$
e_3		$+ l_4 = 250$	0,002	100	$A_3 = 2,50$	$K_3 = 1,57$
e_6		$l_2 + l_3 + l_4 = 145$	0,011	100	$A_6 = 1,45$	$K_6 = 1,09$
e_8		$l_3 + l_4 = 127$	0,008	50	$A_8 = 2,54$	$K_8 = 1,37$

Подставив все значения в формулу (14.2), получим, что $e_\Sigma = 0,048$ мм.

Поскольку биение $2e_\Sigma$ сверла составляет 0,096 мм, что больше максимально допустимого значения 0,055 мм, рассматриваемая сборка не соответствует критерию точности установки закрепляемого сверла. Поэтому необходимо скорректировать допускаемые отклонения на поверхности модулей.

Тогда примем, что $e_3 = e_4 = e_5 = e_6 = e_7 = e_8 = e_9 = e_{\text{ср}}$ (где $e_{\text{ср}}$ — среднее значение допускаемого отклонения), а также $A_1 = A_4 = A_5 = A_7 = A_9 = 1$.

В результате формула (14.2) примет вид

$$e_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{(K_1 e_1)^2 + (A_2 K_2 e_2)^2 + e_{\text{ср}}^2 [(A_3 K_3)^2 + K_4^2 + K_5^2 + \dots + (A_6 K_6)^2 + K_7^2 (A_8 K_8)^2 + K_9^2]} \quad (14.5)$$

Преобразовав формулу (14.5), рассчитаем среднее значение допуска $e_{\text{ср}}$ и, учитывая сложность изготовления деталей сборки в условиях серийного производства, внесем поправки (табл. 14.5). Размеры звеньев e_1 , e_4 , e_5 , e_7 , e_9 приведены в табл. 14.4.

Таблица 14.5

Корректировка допусков на размеры поверхностей модулей

Модуль	Присоединительная поверхность	По расчету		Первая корректировка		Вторая корректировка	
		Среднее значение допуска, мкм	Степень или квалитет точности	Допуск, мкм	Степень или квалитет точности	Допуск, мкм	Степень или квалитет точности
Державка	Конус 7:24	13,39	AT8	2,6	AT6	2,6	AT6
	Отверстие Ø48 мм	13,39	H5	32	H6	38	H7
Цанговый патрон	Хвостовик Ø48 мм	13,39	b4	20	g5	15	g6
	Внутренний конус 1:5	13,39	AT7	10	AT7	32	AT9
Цанга	Наружный конус 1:5	13,39	AT7	10	AT7	20	AT8

Для данного примера принимаем в качестве окончательного варианта результаты второй корректировки.

Снизить биение до допустимого значения 0,055 можно также путем уменьшения вылета l_1 модуля «Державка» со 105 до 55 мм с заменой диаметра соединения с хвостовиком модуля «Цанговый патрон» с 48 на 36 мм.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие показатели надежности технологических систем определяют качество выпускаемой продукции?
2. Что позволяет выявить теория размерных цепей?
3. Что такое размерная цепь и что называют ее звеньями?
4. Дайте определение замыкающих и составляющих звеньев размерных цепей.
5. Рассчитайте коэффициент K_{Σ} относительного рассеивания замыкающего звена $\Delta_{уст}$ размерной цепи модульной инструментальной оснастки с числом звеньев более семи при установке режущего инструмента.
6. Определите максимальный радиальный зазор Δ_r (в мм) в коническом соединении с конусом 50 (ГОСТ 25827–2014) степени точности АТ7 по ГОСТ 19860–93.
7. К каким результатам приведет сокращение числа модулей с трех до двух в конструкции цангового патрона?

Лекция 15. Расчет размеров модулей вспомогательного инструмента

Упругие объемные и контактные деформации модулей вспомогательного инструмента рассчитывают с учетом допусков на размеры их поверхностей.

Податливость δ_B в заданной точке режущего инструмента рассчитывают как сумму упругих объемных деформаций деталей вспомогательного инструмента и контактных деформаций в их стыках. Податливость δ_B не должна превышать максимально допустимые значения, которые для основных типов закрепляемого инструмента приведены ниже:

Сверла с цилиндрическим хвостовиком диаметром 10–20 мм	0,18
Развертки диаметром до 10 мм	0,50
Фрезы концевые диаметром 3–10 мм	0,20
Фрезы дисковые диаметром 6–12 мм.....	0,10
Расточные оправки для полустиховой обработки.....	0,25
То же для чистовой обработки отверстий	0,17

Расчет проводят по формуле (13.4).

Рассмотрим пример расчета вылета l_3 модуля «Цанговый патрон» (см. рис. 14.2) при установке спирального сверла с цилиндрическим хвостовиком диаметром 18 мм с изменяемым вылетом l_1 (рис. 15.1).

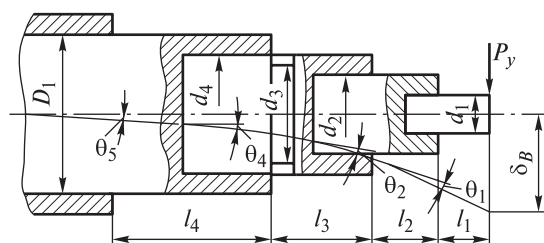


Рис. 15.1. Схема расчета предельного вылета l_1 спирального сверла

Запишем для данной сборки уравнение (13.4) в развернутом виде:

$$\Delta_{\text{упр}} < \frac{(l_1 + l_2 + l_3 + l_4)^3}{3EI_1} + \frac{(l_2 + l_3 + l_4)^3}{3EI_2} + \frac{(l_3 + l_4)^3}{3EI_3} + \frac{l_4^3}{3EI_4} + \theta_5(l_1 + l_2 + l_3 + l_4)^2 + \theta_4(l_2 + l_3 + l_4)^2 + \theta_2(l_3 + l_4)^2 + \theta_1 l_4^2. \quad (15.1)$$

Соотношения между зазорами ($\Delta\alpha_i$ и Δ_i) и углом поворота θ_i в соединениях приведены в табл. 15.1. Расчет зазоров выполняют по формулам (14.3) и (14.4).

Исходные данные для расчета сборки со сверлом диаметром 18 мм с цилиндрическим хвостовиком приведены в табл. 15.2.

Таблица 15.1

Зависимости θ_i от радиального Δ_i и углового $\Delta\alpha_i$ зазоров в соединениях модулей сборок

Соединение	Зазор		Угол поворота θ_i , $10^{-5}(\text{Н} \cdot \text{м})^{-1}$
	Δ_i , мм	$\Delta\alpha_i$, с	
Коническое патрона с цангой (для режущего инструмента диаметром 5–20 мм)	0–0,050	—	$0,023 + 15\Delta_i$
Цилиндрическое диаметром 48 мм	0,015–0,100	—	$0,0003 + 12,5\Delta_i$
Цилиндрическое диаметром 36 мм	0,015–0,100	—	$0,0009 + 25\Delta_i$
Коническое конусностью 7:24, конус 40	—	0–60	$0,0001 + 0,0525\Delta\alpha_i$
Коническое конусностью 7:24, конус 50	—	0–60	$0,0002 + 0,0125\Delta\alpha_i$
С конусом Морзе 2	0–0,040	—	$0,0052 + 15\Delta_i$
С конусом Морзе 3	0–0,050	—	$0,0014 + 15\Delta_i$

Таблица 15.2

Исходные данные

Параметр	Значение	
d , мм	18	
I_1 , мм	$5,25 \cdot 10^3$	
l_1 , мм	100–220	
θ_1 , $(\text{Н} \cdot \text{м})^{-1} \cdot 10^{-5}$	0,39	
d_2 , мм	40	
I_2 , мм	$12,8 \cdot 10^4$	
l_2 , мм	10	
θ_2 , $(\text{Н} \cdot \text{м})^{-1} \cdot 10^{-5}$	0,19	
d_3 , мм	32	44
I_3 , мм	$5,24 \cdot 10^4$	$18,74 \cdot 10^4$
d_4 , мм	36	48
θ_4 , $(\text{Н} \cdot \text{м})^{-1} \cdot 10^{-5}$	0,41	0,14
D_1 , мм	69,85	
I_5 , мм	$119,02 \cdot 10^4$	
θ_5 , $(\text{Н} \cdot \text{м})^{-1} \cdot 10^{-5}$	0,02	

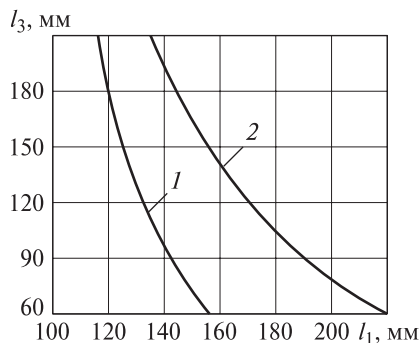


Рис. 15.2. Зависимость вылета модуля «Цанговый патрон» l_3 от вылета сверла l_1 при диаметре хвостовика модуля 36 мм (1) и 48 мм (2)

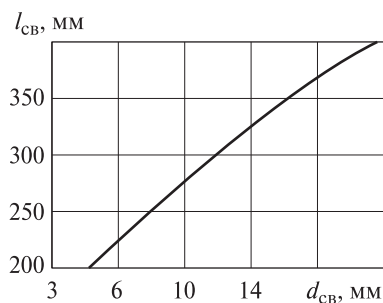


Рис. 15.3. Допускаемый вылет $l_{св}$ при закреплении сверл разного диаметра $d_{св}$

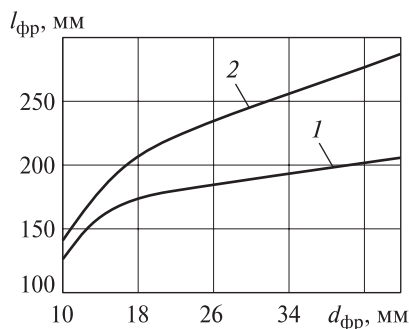


Рис. 15.4. Допускаемый вылет $l_{фр}$ при закреплении концевых фрез диаметром $d_{фр}$:

1 — в сборке из модулей «Державка» и «Цанговый патрон»; 2 — в цельном цанговом патроне

При расчете вылета l_3 должно соблюдаться требование к податливости: $\delta_B = 0,18$ мм/кН. Для разных значений вылета l_1 в заданном диапазоне решим уравнения (13.4) и (15.1) относительно l_3 и по полученным результатам построим зависимость (рис. 15.2). Требуемый вылет l_3 обеспечивается регулировочной гайкой 4 (см. рис. 13.5).

Аналогично решают задачи определения допускаемого вылета режущего инструмента при заданных размерах модулей вспомогательного инструмента.

Зависимость допускаемого вылета $l_{св}$ спиральных сверл с конусом Морзе от их диаметра $d_{св}$ для сборки модуля «Державка» с модулем «Втулка переходная» с цилиндрическим хвостовиком диаметром 36 мм (см. рис. 13.7) представлена на рис. 15.3.

На рис. 15.4 показаны зависимости допускаемого вылета $l_{фр}$ концевых фрез с цилиндрическим хвостовиком от их диаметра $d_{фр}$ для сборки модулей «Державка» и «Цанговый патрон» (см. рис. 13.6) с диаметром соединения 36 мм, а также для цельного цангового патрона. С точки зрения допускаемого вылета для концевых фрез с цилиндрическим хвостовиком очевидно преимущество цельного патрона перед модульным.

При определении размеров сборок вспомогательного и режущего инструмента необходимо учитывать их соответствие размерам рабочего пространства оборудования, на котором предполагается установка данных сборок.

Для автоматической замены сборки на станке с вертикальной компоновкой (рис. 15.5, а) ее длина не должна быть более $l_{и\max}$:

$$l_{и\max} = l_{\max} + l_{и\min} - (l_{хв} + 2\Delta), \quad (15.2)$$

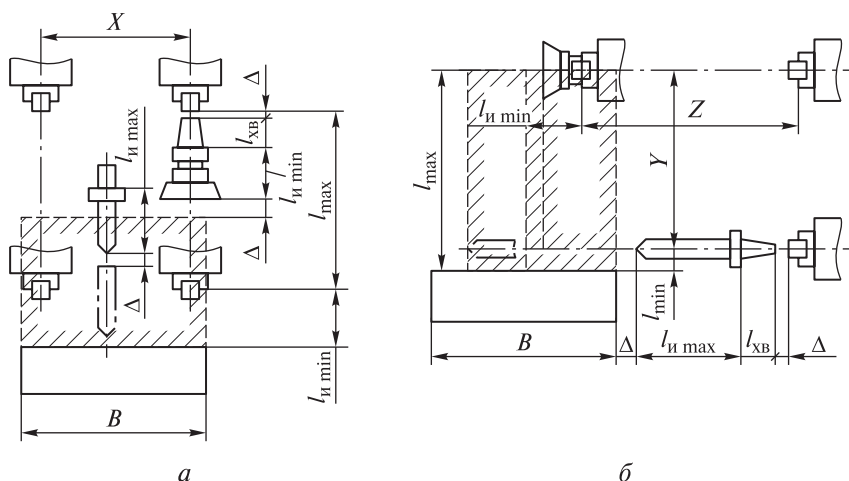


Рис. 15.5. Определение максимального и минимального вылета сборок для вертикальных (а) и горизонтальных (б) станков:

X , Y — перемещение шпиндельной бабки по горизонтали и вертикали; Z — перемещение стола с заготовкой

где $l_{\max}$ — максимальный ход шпиндельной бабки станка, мм; $l_{\min}$ — минимальный вылет режущего инструмента, мм; l_{xb} — длина хвостовика сборки для установки в шпиндель, мм; Δ — дополнительный зазор, $\Delta = 2 \dots 3$ мм.

Если выразить поперечные сечения рабочего пространства станка в долях ширины B рабочей поверхности стола и связать с размерами координатных перемещений исполнительных органов станка, то наибольшая длина устанавливаемых сборок для горизонтальных станков $l_{\max}$ (рис. 15.5, б) составит

$$l_{\max} = Z - 0,66B - (l_{\min} + l_{xb} + \Delta),$$

где Z — ход стола в направлении оси вращения шпинделя, мм.

При расчете размеров модулей сборок необходимо учитывать ограничение массы, перемещаемой устройством автоматической смены инструмента. Максимально допустимая масса сборок с конусом HSK63-A составляет 16 кг, с конусом 50 конусностью 7:24 — 25 кг.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какая задача решается при назначении размеров модулей инструментальной оснастки?
2. Для чего сопоставляют расчетные значения размеров сборок модульной инструментальной оснастки с размерами рабочего пространства оборудования, на котором предполагается установка этих сборок?
3. Рассчитайте максимальную длину сборки сверла диаметром 12 мм с вспомогательным инструментом при $l_{\min} = 80$ мм и $\Delta = 2$ мм для установки на вертикальном станке с $l_{\max} = 450$ мм.
4. Рассчитайте податливость δ_B сборки (см. рис. 15.1) вспомогательного инструмента со сверлом диаметром 18 мм для варианта, когда модуль «Державка» имеет посадочное отверстие диаметром 36 мм. Используйте исходные данные из табл. 15.2.
5. Рассчитайте с точностью до 1 кг массу для варианта сборки вспомогательного инструмента с концевой фрезой диаметром 16 мм с конусом Морзе 3, когда модуль «Державка» с конусом 50 имеет посадочное отверстие диаметром 48 мм.
6. Сопоставьте данные зависимостей, показанных на рис. 15.2, с требованием к длине сборок на вертикальных станках с автоматической сменой инструмента по формуле (15.2) и изложите последовательность принятия решения об ограничении длины сборок.
7. Составьте алгоритм расчета размеров модулей вспомогательного инструмента из условия ограничения податливости закрепляемого режущего инструмента.

Лекция 16. Тенденции развития модульной инструментальной настки

Основными тенденциями развития модульной инструментальной оснастки являются:

- разработка конструкций, унифицированных для токарно-фрезерных многоцелевых станков;
- улучшение эксплуатационных характеристик сборок для повышения производительности обработки резанием;
- создание специальной инструментальной оснастки для обработки резанием с ограниченной подачей смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС).

Унификация конструкций. Современные токарно-фрезерные многоцелевые станки позволяют, помимо обычного набора переходов, осуществлять комплексную обработку изделий, в том числе фрезерование сложных по контуру поверхностей, а также сверление отверстий и нарезание в них резьбы, включая те, оси которых расположены вне оси вращения главного шпинделя станка.

Такие станки оснащают револьверными головками с 6–12 отверстиями для установки резцедержателей и переходных втулок для осевого инструмента. Конструкция типичного резцедержателя с цилиндрическим хвостовиком диаметром 50 мм с рифлениями на лыске приведена на рис. 16.1.

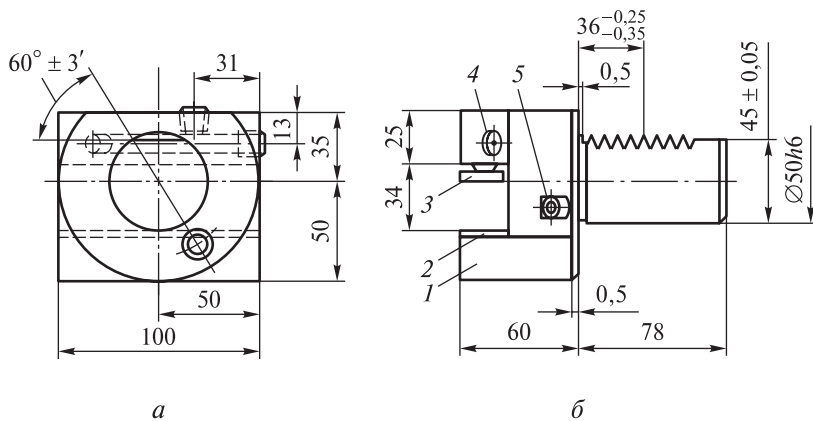


Рис. 16.1. Резцедержатель с перпендикулярным открытым пазом для установки резцов с сечением державки 25×25 мм:

1 — корпус резцедержателя; 2 — подкладка; 3 — прижимная планка; 4 — шарик; 5 — винт

Резец закрепляют в корпусе 1 с помощью винтов и прижимной планки 3. Для установки резца на высоте центров служит подкладка 2. В зону резания СОТС подают через шарик 4. Винт 5 служит для регулировки положения резца.

Закрепление резцедержателей в revolverной головке осуществляется клиновыми механизмами с рифлеными клиньями (рис. 16.2).

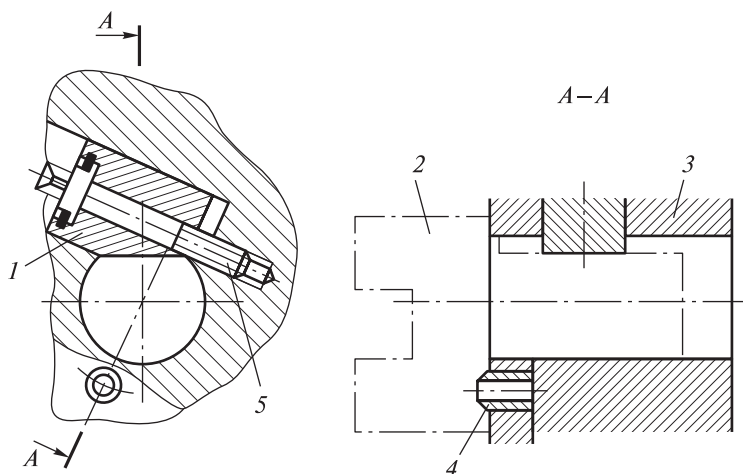


Рис. 16.2. Закрепление резцедержателя в revolverной головке:

1 — клин; 2 — резцедержатель; 3 — корпус revolverной головки; 4 — полый штифт; 5 — винт

Базирование резцедержателя 2 в корпусе 3 revolverной головки происходит по цилиндру хвостовика и полному штифту 4, обеспечивающему как точную установку вершины резца, так и подвод СОТС. Закрепление резцедержателя в revolverной головке выполняют с помощью клина 1, имеющего рифления, смещенные относительно рифлений хвостовика на 0,25 мм, за счет чего торец резцедержателя прижимается к revolverной головке станка усилием 5 кН.

Для передачи крутящего момента от главного привода токарно-фрезерного многоцелевого станка на вращающийся режущий инструмент при обработке поверхностей, расположенных на изделиях вне оси вращения главного шпинделя, применяют приводные головки с встроенными зубчатыми передачами.

Недостатком указанных выше резцедержателей и головок являются большие габаритные размеры, что не позволяет разместить в revolverной головке достаточное количество инструмента, необходимого для изготовления сложных деталей. В целях устранения этого недостатка разрабатывают инструментальную оснастку, в составе которой стандартные резцы заменяют на специальные конструкции с укороченным коническим хвостовиком (рис. 16.3), оснащенные сменными многогранными пластинами (СМП).

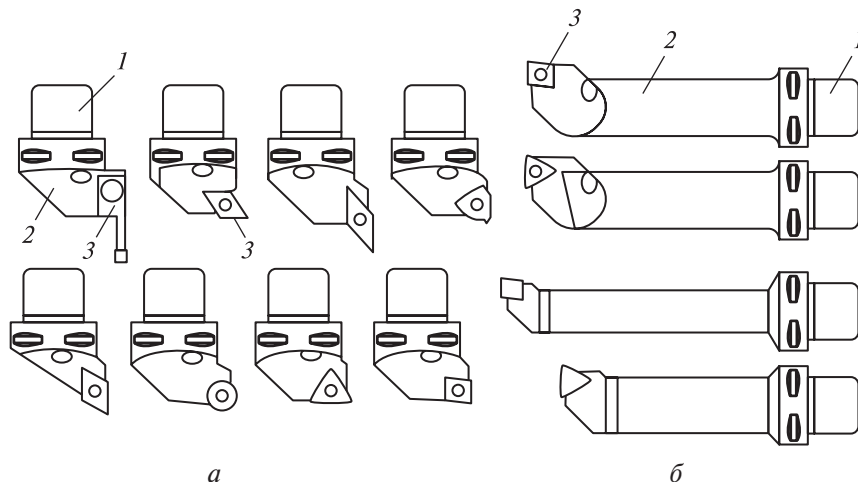


Рис. 16.3. Специальные конструкции проходных (а) и расточных (б) резцов:
1 — хвостовик; 2 — державка; 3 — сменная многогранная пластина

Пример проходного резца с укороченным специальным хвостовиком показан на рис. 16.4.

В большинстве конструкций такой оснастки применяют коническое соединение модулей конусностью 1:10 с углом конуса $5^{\circ}43'29,3''$. Для повышения надежности процесса резания фирма Sandvik Coromant (Швеция) придала коническому хвостовику трехгранную скругленную форму (рис. 16.5). Такая форма соединения, получившая название Capto, отличается от цилиндрического с прижимом винтом более высокой жесткостью при нагружении одинаковой силой P_y при сопоставимой массе сборок вследствие равномерности контактных напряжений 3 при одинаковом передаваемом моменте M_n .

На базе этого соединения разработана схема оснащения модульной инструментальной оснасткой производственного участка из фрезерных и токарных станков с различными конструкциями закрепления сборок (рис. 16.6).

Для полуавтоматического закрепления резцов с хвостовиком Capto в резцедержателях используют внешний гидравлический привод. В исходном состоянии после установки вручную резца 1 в резцедержатель 2 оператор станка с пульта включает подачу масла в гидроцилиндр двустороннего действия (рис. 16.7, а).

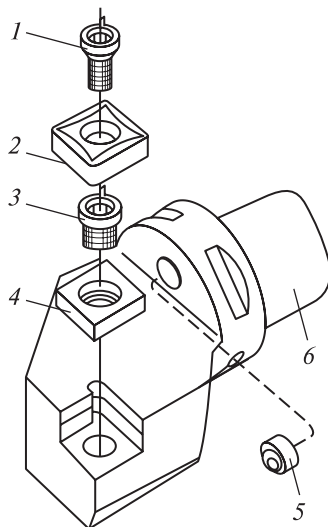


Рис. 16.4. Проходной резец с укороченным специальным хвостовиком:

1 — винт; 2 — втулка для подвода СОТС; 3 — подкладка; 4 — резьбовая втулка; 5 — шарик для подачи СОЖ; 6 — хвостовик

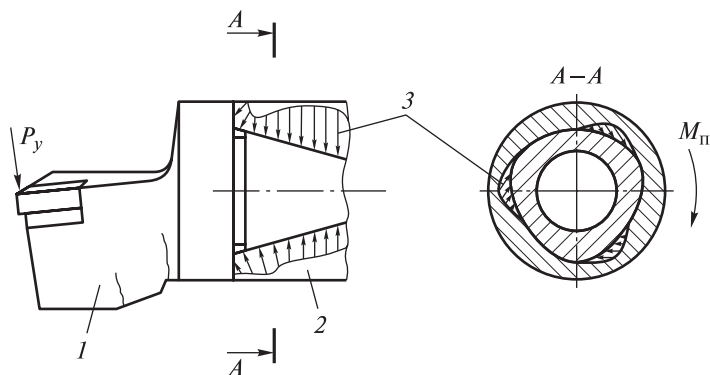


Рис. 16.5. Соединение Capto:

1 — резец; 2 — резцедержатель; 3 — контактные напряжения

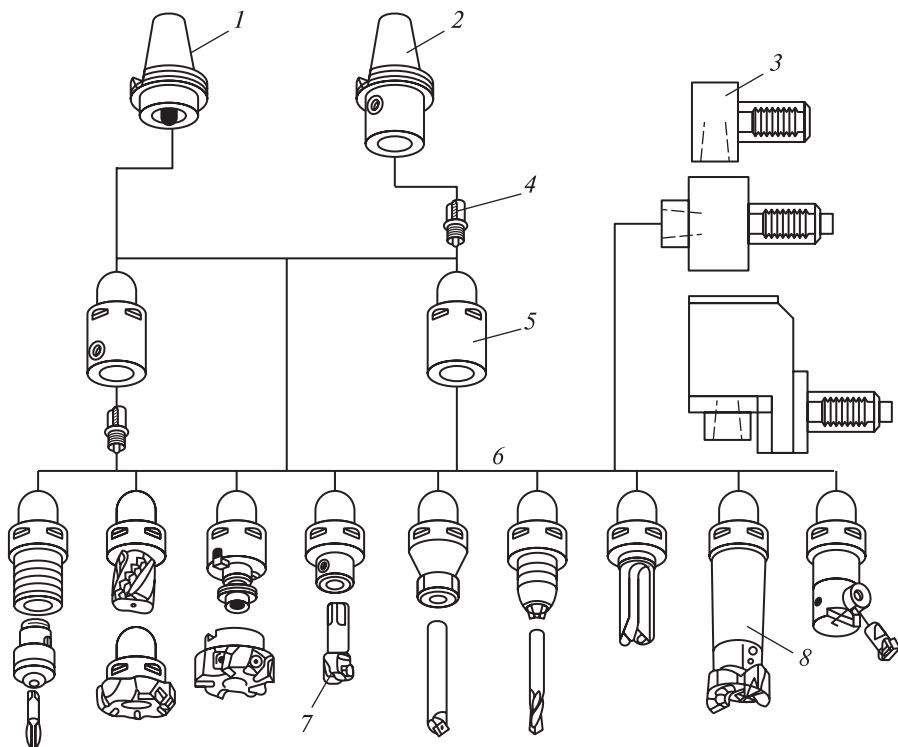


Рис. 16.6. Схема оснащения производственного участка инструментальной оснасткой на базе соединения Capto:

1 — державка с конусом HSK; 2 — державка с конусом 7:24; 3 — приводные головки с хвостовиками с рифлениями для закрепления в револьверных головках (см. рис. 16.2); 4 — зажимной винт; 5 — переходник; 6 — вспомогательный инструмент; 7 — стандартный режущий инструмент; 8 — специальный режущий инструмент

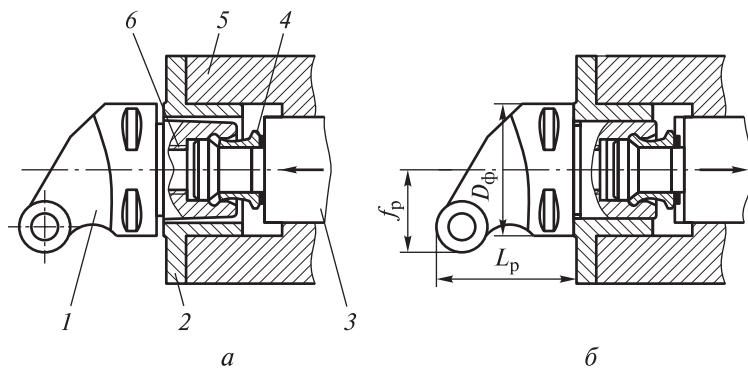


Рис. 16.7. Резец с хвостовиком Capto в исходном (а) и закреплённом состоянии (б):

1 — резец; 2 — резцедержатель; 3 — тяга; 4 — сегмент цанги; 5 — револьверная головка; 6 — резьба; f_p — расстояние до вершины резца; L_p — вылет резца; D_{ϕ} — диаметр фланца

Гидроцилиндр толкает тягу 3, и сегменты 4 цанги входят в кольцевую канавку внутри хвостовика резца. После выключения подачи масла в гидроцилиндр пакет тарельчатых пружин перемещает в обратном направлении тягу, которая своей тороидальной поверхностью раздвигает сегменты до их взаимодействия с расточкой в хвостовике.

Продолжающееся перемещение тяги приводит к затяжке соединения и контакту торца фланца хвостовика и торца резцедержателя с упругой деформацией хвостовика (рис. 16.7, б). При закреплении резцов вручную используется резьба 6, в которую вворачивается стягивающий винт.

Инструментальную оснастку с соединением Capto используют на многих серийных токарно-фрезерных многоцелевых станках. Также на ряде станков применяют хвостовики конструкции фирмы Kennametal (США) под маркой КМ (рис. 16.8). В исходном положении эксцентрик 4 поворачивают так, чтобы тяга 5 переместилась в направлении резца 1. Шарики 2, размещенные в толкателе 7, оказываются в углублениях тяги и не препятствуют размещению хвостовика резца 1, а пакет тарельчатых пружин 3 полностью сжат. После этого резец устанавливают в коническое отверстие корпуса резцедержателя 6.

Для закрепления резца поворотом эксцентрика частично освобождают пакет тарельчатых пружин, тяга скосами выталкивает шарики в наклонные отверстия в хвостовике, и толкатель соединяется с хвостовиком. За счет усилия полностью разжатых пружин происходит затяжка соединения до контакта торцов фланца хвостовика и резцедержателя с полным контактом по конической поверхности.

Эксплуатационные характеристики сборок. Резцы Capto (см. рис. 16.7) выполняют пять типоразмеров (табл. 16.1), что позволяет обрабатывать изделия в широком диапазоне размеров.

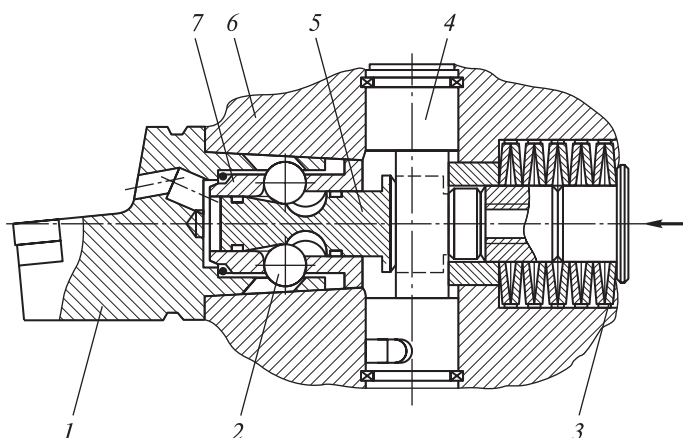


Рис. 16.8. Закрепление хвостовиков КМ:

1 — резец; 2 — шарик; 3 — пакет тарельчатых пружин; 4 — экс-
центрик; 5 — тяга; 6 — корпус резцедержателя; 7 — толкатель

Таблица 16.1

Основные размеры резцов Сарто, мм

Типоразмер	D_Φ	L_p	f_p
C32	32	40–120	22
C40	40	40–160	27
C50	50	40–280	35
C63	63	60–300	45
C80	80	200–300	55

Выбор вылета L_p определяется условиями наладки на операцию, например глубиной растачивания, но для устойчивого резания необходимо назначить режимы резания так, чтобы не превысить площадь F_c сечения срезаемого слоя, указанную на номограмме (рис. 16.9):

$$F_c = t S_o,$$

где t — глубина резания, мм; S_o — подача, мм/об.

Применение инструмента со специальными хвостовиками обеспечивает существенную экономию площадей, занимаемых станками. Высокая повторяемость положения режущих кромок позволяет сократить количество измерительных переходов, наладок и смен инструмента.

При высокоскоростном фрезеровании с частотой вращения шпинделя станка более $20\,000\text{ мин}^{-1}$ возникающие центробежные силы могут деформировать сборки большой массы. В результате увеличится первичный дисбаланс, произойдет лавинное возрастание центробежной силы и, как след-

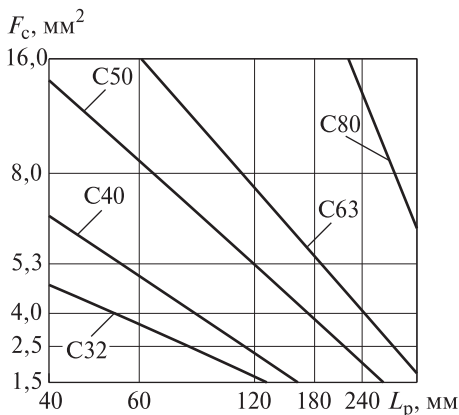


Рис. 16.9. Зависимость сечения среза от вылета L_p резцов Carpo разных типоразмеров

ствие, могут возникнуть аварийные ситуации. Для их исключения разработаны полые конические хвостовики инструментов HSK (Hohl Shaft Kegel).

Ограниченная подача СОТС. Обработка резанием с СОТС, подаваемой непосредственно к режущим кромкам инструмента, позволяет в значительной мере повысить его время наработки на отказ, а при использовании минимальных количеств СОТС — снизить ее расход.

Уменьшение расхода СОТС позволяет улучшить экологическую обстановку на предприятии, облегчить переработку стружки, сократить расход электроэнергии, снизить расходы на экологию.

При высокоскоростной обработке, когда смазочное вещество зачастую испаряется от высокой температуры, так что обрабатываемая деталь, инструмент и стружка остаются сухими, применяют метод подачи минимальных количеств СОТС, сокращенно называемый MQL (Minimal Quantity Lubrication). По методу MQL в зону резания СОТС обычно вводится в объеме от 5 до 120 см³/ч при режимах и параметрах обработки таких же, как в случае подачи СОТС поливом (рис. 16.10). В место отделения стружки она попадает в виде аэрозоля после смешивания с воздухом, который поступает от компрессора под давлением 0,5 МПа. Состав аэрозоля и его количество регулируются управляющим устройством с ЧПУ.

Для установки инструмента при использовании метода MQL применяют термопатроны, модернизированные путем изменения сечения отверстия, через которое подается СОТС (рис. 16.11). Для этого в имеющееся отверстие термопатрона 3 с хвостовиком HSK 1 устанавливают пластиковую переходную трубку 2, а в нее — тонкостенную стальную трубку 4.

Во избежание большого снижения давления аэрозоля в пространстве 7 за хвостовиком режущего инструмента 8 с конической фаской 6 размещают винт 5 для регулировки объема этого пространства.

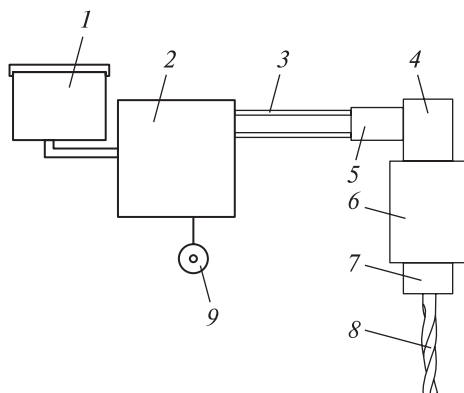


Рис. 16.10. Компоновка основных элементов для реализации метода MQL:

1 — резервуар для СОТС; 2 — управляющее устройство; 3 — трубки подвода СОТС и воздуха к станку; 4 — адаптер; 5 — камера для образования аэрозоля; 6 — шпиндель с каналом для аэрозоля; 7 — термопатрон; 8 — режущий инструмент; 9 — пульт оператора

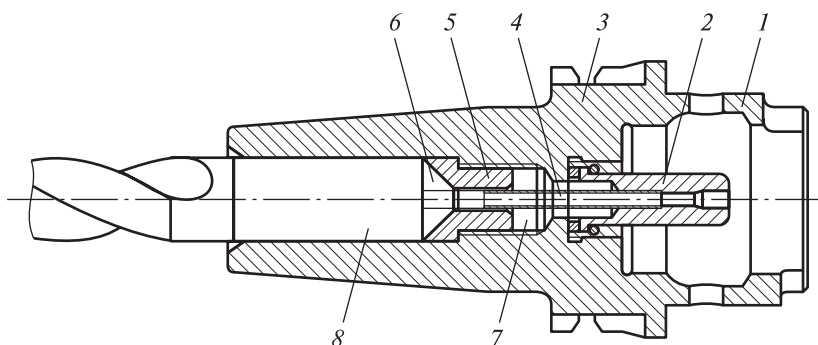


Рис. 16.11. Термопатрон для подачи СОТС по методу MQL:

1 — хвостовик HSK; 2 — переходная трубка; 3 — термопатрон; 4 — тонкостенная трубка; 5 — винт регулировки; 6 — коническая фаска; 7 — регулируемое пространство; 8 — режущий инструмент

Внутренний подвод СОТС по методу MQL значительно эффективнее внешнего подвода и используется в настоящее время на всех станках для высокоскоростного фрезерования.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие специальные конструкции хвостовиков разработаны для установки инструмента в шпинделях высокоскоростных станков?
2. Как осуществляется подача СОТС в системах с ее подводом непосредственно к режущим кромкам инструмента в минимальном количестве?
3. На каком вылете L_p резца Сarto типоразмера С50 можно выполнять точение изделия с сечением среза $F_c = 8 \text{ мм}^2$.
4. Какое количество СОТС в 1 час вводится в зону резания по методу Minimal Quantity Lubrication?
5. С каким усилием прижимается к револьверной головке торец резцедержателя с хвостовиком диаметром 50 мм, имеющим рифления, при его закреплении с помощью клина?
6. При каких частотах вращения шпинделя станка для высокоскоростного фрезерования сборкой инструментальной оснастки большой массы возникают центробежные силы, вызывающие отказы оборудования?

Заключение

Для выпуска машиностроительными предприятиями качественной и конкурентоспособной продукции его инженерно-технический персонал должен знать теоретические основы создания технологической оснастки, их систем и типовых конструкций, уметь анализировать соответствие применяемых конструкций требованиям производства и обладать необходимыми навыками проектирования и расчета вновь создаваемой оснастки.

При ускорении технического прогресса важным является прогноз направлений развития техники и, в частности, перспектив развития технологической оснастки. На ближайшие пять лет таковыми являются:

1) совершенствование конструкций специальных приспособлений. В настоящее время до 75 % применяемых в промышленности приспособлений выполняются как специальные (необратимые, т. е. не подлежащие повторному использованию): они предназначены для одной операции при изготовлении определенного изделия и в процессе эксплуатации не переналаживаются;

2) распространение метода создания обратимых приспособлений путем их расчленения на отдельные модули (узлы и элементы). Целью является создание комплекта унифицированных изделий и сборочных единиц, из которых можно в разных конструктивных вариантах собирать обратимые приспособления как для универсальных станков, так и для станков с ЧПУ;

3) автоматизация загрузки изделий в приспособления и приспособлений с установленными изделиями с помощью технических роботов в гибких производственных системах;

4) широкое внедрение компактной гидравлической оснастки с пружинно-гидравлическими зажимами, работающими от гидросистем с давлением рабочей среды 25 МПа, что позволит упростить конструкции приспособлений и уменьшить их габаритные размеры и массу;

5) расширение возможностей приспособлений системы УСП за счет создания групповых механизированных компоновок приспособлений для групповых технологических процессов;

6) создание конструкций переналаживаемых приспособлений с такими видами приводов, как электроимпульсные, диффузионно-вакуумные и электростатические;

7) применение деталей из композиционных материалов на основе углепластиков и стекловолокна для изготовления накладных кондукторов и установочных элементов, а также деталей, получаемых методами аддитивных технологий путем селективного лазерного спекания, для корпусных изделий;

8) оптимизация конструкций приспособлений путем моделирования с помощью ЭВМ на основе многофакторных зависимостей, устанавливающих связь точности установки изделий, жесткости технологической системы, включающей приспособление, и производительного режима обработки резанием изделия в приспособлении.

В настоящее время на предприятиях растет потребность в конструкторах, способных разрабатывать новые образцы технологической оснастки. В связи с этим курс лекций может служить основой для выполнения заданий по проектированию технологической оснастки на уровне современных требований.

Литература

Григорьев С.Н. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ: справочник / С.Н. Григорьев, М.В. Кохомский, А.Р. Маслов. М.: Машиностроение, 2006. 544 с.

Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1983. 227 с.

Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н. Оснастка для станков с ЧПУ: справочник. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1990. 510 с.

Левина З.М., Решетов Д.Н. Контактная жесткость машин. М.: Машиностроение, 1971. 264 с.

Маслов А.Р. Инструментальные системы машиностроительных производств: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2006. 335 с.

Маслов А.Р. Приспособления для металлообрабатывающего инструмента: справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2002. 251 с.

Маслов А.Р. Проектирование технологической оснастки: учебное пособие. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2021. 164 с.

Маслов А.Р. Резание материалов. Инструментальная оснастка: учебное пособие. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2021. 131 с.

Маслов А.Р., Тивирев Е.Г. Технологическая оснастка. Зажимные устройства: учеб. пособие. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2021. 60 с.

Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. 5-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001 г. Т. 1. 912 с.; т. 2. 944 с.

Приложение 1

Расчет сил зажима изделий, установленных в приспособлениях

Для выполнения основных операции по обработке резанием (точения, фрезерования и сверления) изделие устанавливают в предназначенное для этой цели приспособление, закрепляют с применением установочных элементов и, при необходимости, силовых приводов.

После начала операции обработки силы резания стремятся сдвинуть изделие по установочным поверхностям. Чтобы этого не произошло, действие сил резания на изделие должно быть компенсировано силами зажима W , которые обеспечивают постоянство положения обрабатываемого изделия.

Для расчета сил резания и их составляющих используют сведения о типовых материалах изделий для каждой группы резания по стандарту ИСО 513–2012 (табл. П1.1).

Таблица П1.1

Сведения о материалах изделий

Группа резания	Подгруппа	Материал	Пример	Характеристика	
				$k_{cl.1}$, Н/мм ²	m_e
Р Стали	P1	Углеродистые (нелегированные)	Сталь 45	1350	0,21
	P3	Легированные	18ХГТ	1800	0,24
	P4	Легированные инструментальные	ХВГ	1900	0,24
N Алюминиевые сплавы	N1	Деформируемые	B96	1100	0,22
	N2	С содержанием кремния менее 4 %	АМг2	850	0,24
	N3	С содержанием кремния более 12,2 %	АЛ30	700	0,25

На основе этих сведений рассчитывают потребляемую мощность N_e , необходимую для обработки изделия из материала заданной группы и подгруппы резания.

Например, мощность N_e , кВт, необходимая для выполнения перехода:
а) точения (рис. П1.1):

$$N_e = \frac{VtS_o k_c}{60 \cdot 10^3}, \quad (\text{П1.1})$$

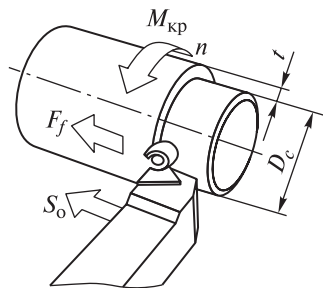


Рис. П1.1. Факторы и параметры перехода продольного точения

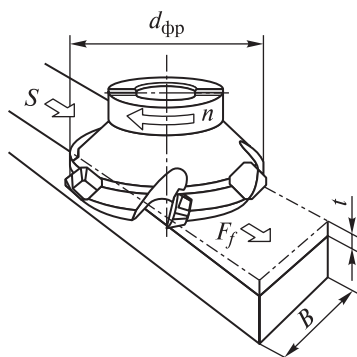


Рис. П1.2. Факторы и параметры перехода торцового фрезерования

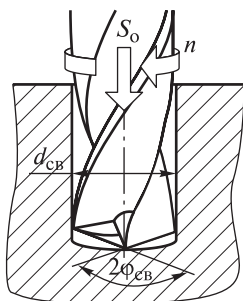


Рис. П1.3. Факторы и параметры перехода сверления

где V — скорость резания, м/мин, $V = \frac{\pi D_c n}{1000}$

(D_c — диаметр обработанной поверхности); t — глубина резания, мм; S_o — подача, мм/об; k — удельная сила резания, Н/мм²; $k_c = k_{c1.1} t^{-m_c}$ ($k_{c1.1}$ — коэффициент удельной силы резания, Н/мм²);

б) торцового фрезерования (рис. П1.2):

$$N_e = \frac{tBSk_{c1.1}}{60 \cdot 10^6}, \quad (\text{П1.2})$$

где t — глубина фрезерования, мм; B — ширина фрезерования, мм; S — подача, мм/мин;

в) сверления (рис. П1.3):

$$N_e = \frac{S_o d_{св} V k_{c1.1}}{240 \cdot 10^3}, \quad (\text{П1.3})$$

где $d_{св}$ — диаметр сверла, мм; V — скорость резания, $V = \frac{\pi d_{св} n}{1000}$; n — частота вращения сверла, мин⁻¹.

Крутящий момент $M_{кр}$, Н·м, передаваемый в процессе обработки от шпинделя станка изделию (при точении) или режущему инструменту (при фрезеровании и сверлении), рассчитывают по формуле

$$M_{кр} = \frac{30 N_e}{\pi n} \cdot 10^3. \quad (\text{П1.4})$$

Силу F_f , Н, действующую на изделие по направлению подачи, рассчитывают по формулам:

- при точении

$$F_f = k_c t S_o; \quad (\text{П1.5})$$

- при фрезеровании

$$F_f = \frac{k_c tBS}{\pi d_{фр}}, \quad (\text{П1.6})$$

где $d_{фр}$ — диаметр фрезы;

- при сверлении

$$F_f = 0,25 d_{св} k_c S_o \sin 2\phi_{св}, \quad (\text{П1.7})$$

где $2\varphi_{\text{св}}$ — угол при вершине спирального сверла, $2\varphi_{\text{св}} = 118^\circ$ при обработке материалов группы Р, $2\varphi_{\text{св}} = 110^\circ$ — группы N, $2\varphi_{\text{св}} = 90^\circ$ — для центровочных сверл.

Эскизы типовых приспособлений для установки изделий и расчетные формулы для них показаны в табл. П1.2–П1.4. На эскизах заданы места приложения внешних сил и их направления.

В качестве примера рассмотрим расчет силы зажима W при точении изделия, закрепленного в трехкулачковом токарном патроне.

Задание. 1. Рассчитать силу подачи F_f и момент $M_{\text{кр}}$, действующие на изделие при его закреплении в трехкулачковом токарном патроне (рис. П1.4). Материал изделия — легированная сталь 18 ХГТ, для которой $k_{\text{с1.1}} = 1800 \text{ Н/мм}^2$, $m_c = -0,24$.

2. Определить силу $W_{\text{к}}$ зажима изделия кулачками патрона.

Решение. 1. Определим потребляемую мощность N_e , кВт, необходимую для выполнения перехода точения, по формуле (П1.1):

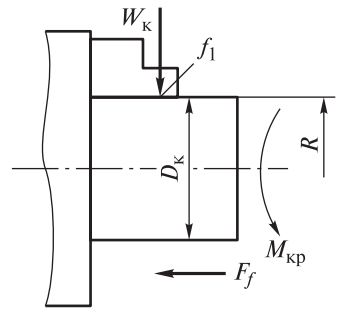


Рис. П1.4. Эскиз установки изделия в трехкулачковом патроне

Подгруппа материала изделия	$D_{\text{к}}$, мм	n , мин ⁻¹	S_0 , мм/об	t , мм
РЗ	80	300	0,6	6

$$N_e = \frac{VtS_0k_c}{60 \cdot 10^3}.$$

Рассчитаем коэффициент k_c :

$$k_c = k_{\text{с1.1}} t^{-m_c} = 1800 \cdot 6^{-0,24} = 1800 \cdot 0,650 = 1171 \text{ Н/мм}^2$$

и скорость резания V :

$$V = \frac{\pi D_{\text{к}} n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 300}{1000} = 75,4 \text{ м/мин.}$$

Тогда потребляемая мощность

$$N_e = \frac{75,4 \cdot 6 \cdot 0,6 \cdot 1171}{60 \cdot 10^3} = 5,3 \text{ кВт.}$$

Определим крутящий момент по формуле (П1.4):

$$M_{\text{кр}} = \frac{30 \cdot 5,3}{\pi \cdot 300} \cdot 10^3 = 168,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Вычислим силу подачи F_f при точении по формуле (П1.5):

$$F_f = 1171 \cdot 6 \cdot 0,6 = 4215 \text{ Н.}$$

2. Для расчета силы зажима W_k изделия каждым кулачком трехкулачкового токарного патрона используем формулу (см. табл. П1.2):

$$W_k = \frac{kM_{кр}}{3f_{тр}R} \cdot 10^3,$$

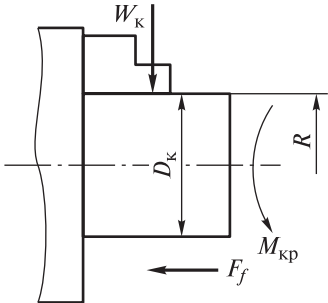
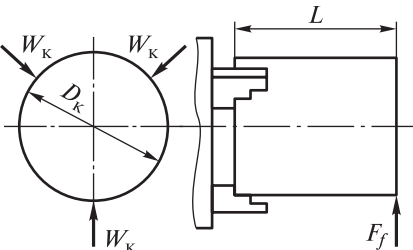
где k — коэффициент запаса, $k = 1,5$; $f_{тр}$ — коэффициент трения на гладких рабочих поверхностях кулачков, $f_{тр} = 0,25$; R — радиус поворота изделия в месте зажима в трехкулачковом токарном патроне, мм, $R = 0,71D_k$.

Подставив в эту формулу все значения, получим

$$W_k = \frac{1,5 \cdot 168,7}{3 \cdot 0,25 \cdot 0,71 \cdot 80} = 5940 \text{ Н.}$$

Таблица П1.2

Переходы в операциях токарной обработки

Вид перехода обработки резанием	Эскиз	Расчетная формула
Точение изделия, закрепленного в трехкулачковом токарном патроне		$W_k = \frac{kM_{кр}}{3f_{тр}R} \cdot 10^3$
Подрезка торца изделия, закрепленного в трехкулачковом токарном патроне		$W_k = \frac{1,33kLF_f}{f_{тр}D_k} \cdot 10^3$

Окончание табл. П1.2

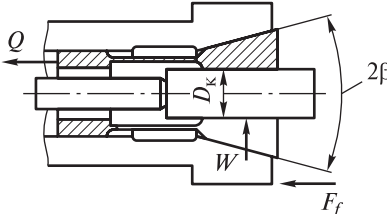
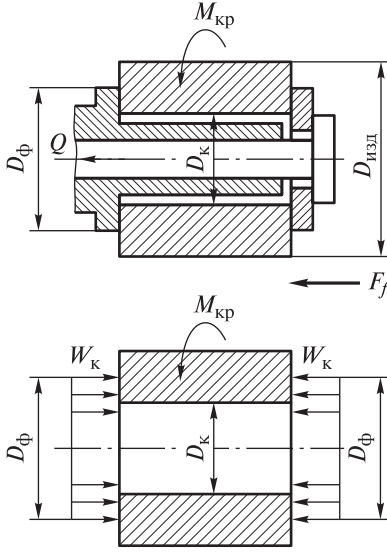
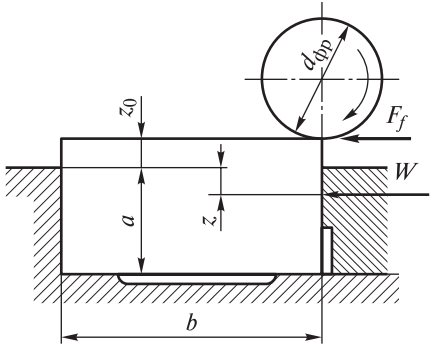
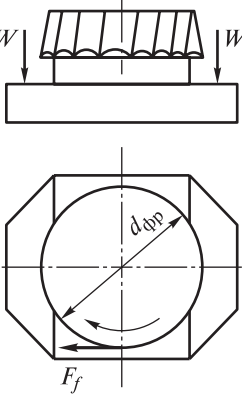
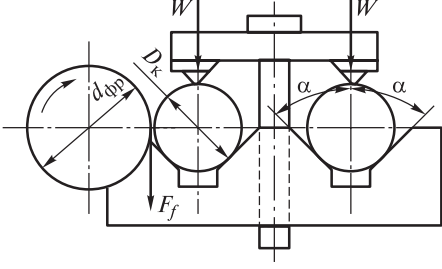
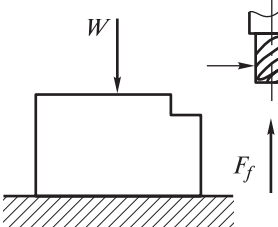
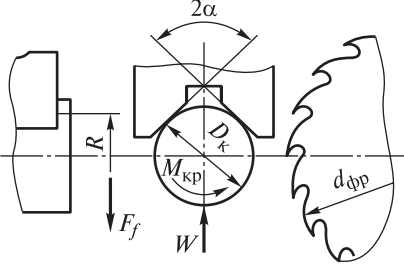
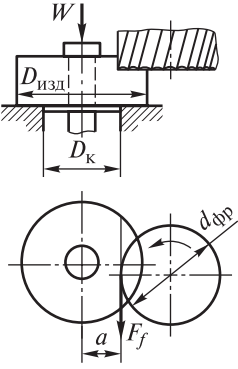
Вид перехода обработки резанием	Эскиз	Расчетная формула
Точение прутка, закрепленного в цанге шпинделя гидравлическим приводом с $Q = 25$ кН		$W = \frac{Q}{[\operatorname{tg}(\beta + \varphi_{\text{пр}}) + \operatorname{tg} \lambda]}$
Обтачивание втулок, закрепленных на оправке с зазором винтовым зажимным механизмом с резьбой М16×2		$W_k = \frac{3,8kM_{\text{кр}}(D_{\text{изд}}^2 - D_{\text{к}}^2)}{f_{\text{тр}}(D_{\text{ф}}^3 - D_{\text{к}}^3)} \cdot 10^3$
Примечания. $M_{\text{кр}}$ — крутящий момент, передаваемый в процессе обработки от шпинделя станка изделию; Q — сила тяги механизма привода; F_f — сила подачи; $D_{\text{изд}}$ — диаметр изделия; $D_{\text{ф}}$ — диаметр фланца; R — радиус поворота изделия в месте зажима в трехкулачковом токарном патроне, $R = 0,71D_{\text{к}}$; L — длина изделий; $D_{\text{к}}$ — диаметр зажимной поверхности изделия; β — угол уклона конуса конической поверхности цанги; $\varphi_{\text{пр}}$ — приведенный угол трения на поверхности конуса цанги, $\varphi_{\text{пр}} = 3^\circ$; λ — угол трения на поверхности прутка, $\lambda = 12^\circ$; k — коэффициент запаса, $k = 1,5$; $f_{\text{тр}}$ — коэффициент трения: для кулачков токарных патронов с гладкой поверхностью $f_{\text{тр}} = 0,25$, по торцам фланцев $f_{\text{тр}} = 0,10 \dots 0,15$.		

Таблица П1.3

Переходы в операциях фрезерования

Вид перехода обработки резанием	Эскиз	Расчетная формула
Фрезерование изделия, закрепленного в тисках, цилиндрической фрезой		$W = \frac{F_f (b + a f_{\text{тр}}) + F_f z_0}{a f_{\text{тр}}^2 + b f_{\text{тр}} + z}$
Фрезерование торцевой фрезой изделия, закрепленного рычажными механизмами с суммарным усилием W_{Σ}		$W = \frac{W_{\Sigma}}{m} = \frac{k}{m f_{\text{тр}}} F_f$
Фрезерование торцевой фрезой торцов прутков, закрепленных качающимся рычагом винтовым механизмом в призмах приспособления		$W = \frac{k}{f_{\text{тр}}} \sin \alpha F_f$
Фрезерование концевой фрезой изделий, закрепленных механизированным прихватом		$W = \frac{k F_f}{f_{\text{тр}} + f_{\text{тр}1}}$

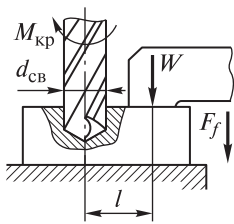
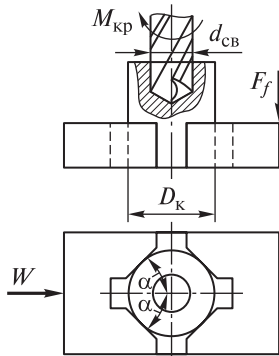
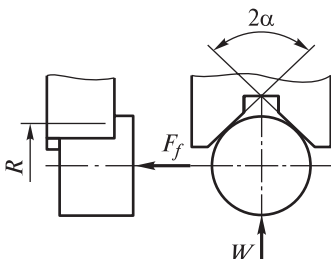
Окончание табл. П1.3

Вид перехода обработки резанием	Эскиз	Расчетная формула
Отрезка изделий из прутка, закрепленного в призме гидроцилиндром, на фрезерно-центровальном станке		$W = \frac{kM_{кр}}{R(f_{тр} + f_{тр1})}$
Фрезерование торцевой фрезой изделий, закрепленных через центральное отверстие		$W = \frac{aF_f}{f_{тр1} \frac{D_{изд}^3 - D_к^3}{3} - D_к^2}$

Примечания. $M_{кр}$ — крутящий момент, передаваемый в процессе обработки изделию от фрезы; F_f — сила подачи; $f_{тр}$ — коэффициент трения на губках тисков: для гладких $f_{тр} = 0,25$ с крестообразно нарезанными канавками $f_{тр} = 0,45$; m — число прихватов; 2α — угол призмы; R — радиус поворота изделия в месте зажима в трехкулачковом токарном патроне, $R = 0,71 D_к$; $D_к$ — диаметр зажимной поверхности изделия; $f_{тр1}$ — коэффициент трения с установочными элементами; $d_{фр}$ — диаметр фрезы; k — коэффициент запаса, $k = 1,5$.

Таблица П1.4

Переходы в операциях сверления

Вид перехода обработки резанием	Эскиз	Расчетная формула
Сверление изделия, закрепленного на столе станка Г-образным рычажным механизмом		$W = \frac{k M_{кр}}{f_{тр} l} \cdot 10^3$
Сверление изделия, закрепленного в тисках с губками-призмами с механизированным приводом		$W = \frac{k M_{кр} \sin \alpha}{f_{тр} D_к} \cdot 10^3$
Центрование центровочным сверлом диаметром $D_{св}$ изделий из прутка		$W = \frac{k F_f}{f_{тр} + f_{тр1}}$

Примечания. $M_{кр}$ — крутящий момент на сверле; $f_{тр}$ — коэффициент трения на губках тисков: для гладких $f_{тр} = 0,25$, с крестообразно нарезанными канавками $f_{тр} = 0,45$; $f_{тр1}$ — коэффициент трения с установочными элементами; 2α — угол призмы, $\alpha = 45^\circ$; k — коэффициент запаса, $k = 1,5$; R — радиус изделия в точке зажима; $D_{изд}$ — диаметр изделия; l — расстояние от оси сверла до точки приложения силы зажима W ; $d_{св}$ — диаметр сверла.

Основные стандарты и методические указания для проектирования приспособлений и инструментальной оснастки

Общие

ГОСТ 3.1109–82. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий.

ГОСТ 31.0000.01–90. Технологическая оснастка. Основные положения.

ГОСТ 21495–76*. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения.

РД50–63–587. Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей.

К модулю 1

ГОСТ 31.010.01–84. Приспособления станочные. Термины и определения.

ГОСТ 31.1001.01–88. Приспособления станочные для станков с ЧПУ, ГПМ и ГПС. Основные параметры.

ГОСТ 31.111.41–93. Детали и сборочные единицы универсально-сборных приспособлений к металлорежущим станкам. Основные параметры. Конструктивные элементы. Нормы точности.

ГОСТ 31.111.42–83. Детали и сборочные единицы универсально-сборных приспособлений к металлорежущим станкам. Технические требования. Методы контроля. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.

ГОСТ 16518–96. Тиски станочные с ручным и механизированным приводами. Общие технические условия.

ГОСТ 16528–87. Плиты прямоугольные магнитные. Общие технические условия.

ГОСТ 22993–78* Патроны сверлильные трехкулачковые с ключом.

ГОСТ 24351–80. Патроны токарные самоцентрирующие трех- и двухкулачковые клиновые и рычажно-клиновые. Основные размеры.

Методические указания. ЕСТПП. Выбор и рациональное применение станочных приспособлений. М.: Изд-во стандартов, 1979. 87 с.

РД 50–533–85. Методические указания. Система стандартов технологической оснастки. Приспособления к металлорежущим станкам. Информационно-поисковая система по выбору. Основные требования.

К модулю 2

ГОСТ 17166–87. Инструмент вспомогательный к металлорежущим станкам. Технические требования.

ГОСТ 19860–93 Конусы внутренние и наружные конусностью 7:24. Допуски.

ГОСТ 24900–81. Хвостовики державок цилиндрические для токарных станков с программным управлением. Основные размеры.

ГОСТ 25827–2014 (ИСО 7388–1–2007; ИСО 7388–2–2007). Хвостовики инструментов с конусом 7:24 для ручной и автоматической смены инструмента. Размеры и обозначения.

ГОСТ 26539–85 (СТ СЭВ 4642–84). Патроны цанговые с конусом 7:24 для крепления инструмента с цилиндрическим хвостовиком. Основные размеры.

ГОСТ 26540–85 (СТ СЭВ 4643–84). Хвостовики цилиндрические для регулируемых втулок и оправок и стопорные гайки. Основные размеры.

ГОСТ 27788–88 (СТ СЭВ 6683–89). Головки захватные к хвостовикам инструментальных оправок с конусом 7:24. Конструкция.

ГОСТ 28282–89 (СТ СЭВ 6510–88, ИСО 5414/2–82). Державки с конусом 7:24 для фрез с цилиндрическим хвостовиком с лыской. Основные размеры.

ГОСТ Р 51547–2000. Хвостовики инструментов полые конические типа HSK. Основные размеры.

ИСО 15488–В. Цанги с наружным конусом 8° для хвостовиков инструмента. Размеры цанг, гаек и присоединительные размеры (цанги REGO-FIX ER).

Оглавление

Предисловие	3
Введение	5
Модуль 1. Проектирование приспособлений для установки изделий	6
Лекция 1. Технологическая оснастка, общие понятия, термины. Роль технологической оснастки в машиностроительном производстве. Классификация приспособлений	7
Лекция 2. Системы станочных приспособлений, применяемых в машиностроении. Стандарты и информационные базы	11
Лекция 3. Основные теории, используемые в проектировании технологической оснастки.....	15
Лекция 4. Методы контроля точности установки и размеров изделий на станках с ЧПУ	20
Лекция 5. Приспособления для токарных станков с ЧПУ	25
Лекция 6. Приспособления для фрезерных станков с ЧПУ	36
Лекция 7. Приспособления для гибких производственных модулей и систем	45
Лекция 8. Зажимные устройства приспособлений	49
Лекция 9. Приводы приспособлений: пневматические, гидравлические, вакуумные и магнитные	57
Лекция 10. Силовые параметры процесса резания. Расчет сил закрепления изделий при фрезеровании и точении	67
Лекция 11. Методика проектирования приспособлений	73
Модуль 2. Инструментальная оснастка	77
Лекция 12. Зажимные устройства инструментальной оснастки	78
Лекция 13. Системы модульной инструментальной оснастки	91
Лекция 14. Расчеты допускаемых отклонений модулей вспомогательного инструмента	100
Лекция 15. Расчет размеров модулей вспомогательного инструмента	108
Лекция 16. Тенденции развития модульной инструментальной оснастки	113
Заключение	122
Литература	124
Приложение 1. Расчет сил зажима изделий, установленных в приспособлениях	125
Приложение 2. Основные стандарты и методические указания для проектирования приспособлений и инструментальной оснастки	133

Учебное издание

Маслов Андрей Руффович

**Проектирование
технологической оснастки**

Редактор С.А. Виноградова

Художник Э.Ш. Мурадова

Корректор О.В. Новикова

Компьютерная графика Т.Ю. Кутузовой

Компьютерная верстка Е.В. Жуковой

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты
Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать Формат 70×100/16.
Усл. печ. л. 11,05. Тираж 81 экз. Изд. № 1436-2024.

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.
press@bmstu.ru
<https://press.bmstu.ru>

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.