

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Лазерная техника и технология»

А.С. Козерук  
А.Ю. Луговик

## ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Учебно-методическое пособие  
к выполнению курсового проекта для студентов специальности  
Т.06.01.00 «Приборостроение» специализаций  
Т.06.01.02 «Лазерное и оптическое приборостроение»  
и Т.06.01.13 «Лазерная техника и технология»

Минск 2005

УДК 681.7.023.4-229(075.8)

ББК 22.34 я 73

К 59

Рецензенты:

Р.В. Федорцев, В.О. Кузнечик

**Козерук А.С.**

К 59      Технология оптического приборостроения: Учебно-метод. пособие к выполнению курсового проекта для студ. спец. Т.06.01.00 «Приборостроение» специализаций Т.06.01.02 «Лазерное и оптическое приборостроение» и Т.06.01.13 «Лазерная техника и технология» / А.С. Козерук, А.Ю. Луговик. – Мн.: БНТУ, 2005. – 119 с.

ISBN 985-479-171-8.

Описаны системы приспособлений, изложена методика их расчета применительно к обработке оптических деталей на предварительных операциях. Дан пример составления технологического процесса изготовления механической детали. Рассмотрена последовательность определения режимов резания на токарных, фрезерных и сверлильных станках.

Авторы выражают благодарность студентам групп 113121 и 113111 за помощь при подготовке рукописи.

УДК 681.7.023.4-229(075.8)

ББК 22.34 я 73

ISBN 985-479-171-8

© А.С. Козерук,  
А.Ю. Луговик, 2005

## Введение

Предусмотренный учебным планом специализаций Т.06.01.02 «Лазерное и оптическое приборостроение» и Т.06.01.13 «Лазерная техника и технология» специальности Т.06.01.00 «Приборостроение» курсовой проект по оснастке для обработки деталей оптических приборов является частью технологической подготовки будущих инженеров-приборостроителей. В ходе курсового проектирования обобщаются и углубляются теоретические знания, полученные в процессе изучения дисциплины «Технология оптического приборостроения».

Целью курсового проекта является приобретение первоначальных практических навыков и умений в конструировании сравнительно несложных специальных приспособлений для станков, используемых в оптическом приборостроении.

Полностью выполненный курсовой проект защищается перед комиссией, назначаемой заведующим кафедрой в предусмотренные учебным планом сроки.

В пояснительной записке курсового проекта должны найти отражение следующие вопросы:

- 1) задание на курсовое проектирование;
- 2) анализ конструкции детали;
- 3) выбор и обоснование конструкции разработанного приспособления;
- 4) расчеты, подтверждающие точность и жесткость приспособления;
- 5) принятые оригинальные решения.

По результатам защиты выставляется оценка, учитывающая не только разносторонность и глубину технических знаний и умений студента, но и ритмичность его работы в течение семестра, а также качество выполнения графической части проекта и пояснительной записки.

Предлагается следующая последовательность работы при выполнении курсового проекта:

1. Принятие решений:
  - 1) анализ обрабатываемой заготовки;
  - 2) выбор элементов и схемы приспособления;
  - 3) выбор схем базирования, закрепления и обработки заготовки и схемы приспособления.

2. Выбор схемы и параметров для расчета точности приспособления:

- 1) разработка схемы приспособления (эскизная проработка);
- 2) выбор расчетных параметров и построение размерной цепи.
3. Расчет приспособления на точность.
4. Расчет сил зажима и зажимных устройств.
5. Расчет приспособления на прочность.
6. Разработка документации:
  - 1) сборочный чертеж приспособления и его деталировка;
  - 2) технологический процесс изготовления детали приспособления с расчетом режимов резания;
  - 3) спецификация приспособления;
  - 4) технические условия;
  - 5) описание работы приспособления.

## **1. КЛАССИФИКАЦИЯ И УСТРОЙСТВО ПРИСПОСОБЛЕНИЙ**

### **1.1. Задачи, решаемые при использовании приспособлений**

За счет использования приспособлений в машино- и приборостроении при обработке деталей исключается разметка заготовок и выверка их при установке на станках, повышается производительность труда, расширяются технологические возможности оборудования.

Ориентирование заготовок и деталей осуществляется автоматически за счет контактирования их базовых поверхностей с установочными элементами приспособлений. При этом обеспечиваются заданные размеры, повышается точность обработки, устраняются погрешности, связанные с разметкой и выверкой заготовок.

В единичном, мелкосерийном и серийном производствах используется, в основном, универсальное оборудование. Для сокращения количества необходимого оборудования универсальные станки оснащаются специальными приспособлениями, расширяющими их технологические возможности.

С помощью приспособлений, расширяющих технологические возможности станков, можно осуществлять крепление инструментов, использование которых на данном станке не предусмотрено; дополнительные перемещения обрабатываемой заготовки и инст-

румента; перемещение инструмента относительно заготовки в требуемой последовательности. При этом возможно крепление заготовок и инструментов на не предназначенных для этих целей поверхностях станка; повышается точность положения и перемещения инструмента; становятся возможными виды обработки, для которых данный станок не предназначен.

## 1.2. Классификация приспособлений

Приспособления классифицируют по двум основным признакам: целевому назначению и степени специализации.

**По целевому назначению** различают 5 групп приспособлений:

1) станочные для установки заготовок на станках (70...80 % от общего количества приспособлений), которые в зависимости от вида обработки делят на токарные, фрезерные, сверлильные, шлифовальные, расточные, протяжные, строгальные и др.;

2) станочные для установки обрабатывающих инструментов;

3) сборочные для обеспечения правильного взаимного положения деталей и сборочных единиц;

4) контрольные, предназначенные для проверки точности заготовок, промежуточного и окончательного контроля изготавливаемых деталей;

5) транспортно-кантовальные для захвата, перемещения и перевертывания обрабатываемых заготовок и собираемых изделий.

**По степени специализации** станочные приспособления подразделяют на 3 группы (рис. 1.1), в каждую из которых входят соответствующие системы приспособлений, предусмотренные Р50-54-11-81 «Правила выбора технологической оснастки». В отдельную систему можно выделить средства механизации зажима станочных приспособлений (СМЗСП).

**Система УБП** (универсальных безналадочных приспособлений) предусматривает применение универсальных регулируемых приспособлений, не требующих сменных установочных и зажимных элементов. Она включает комплексы универсальных приспособлений, входящих в комплекты оснастки, поставляемой машиностроительным предприятиям в качестве принадлежностей к станкам и рекомендуется для единичного и мелкосерийного производств.

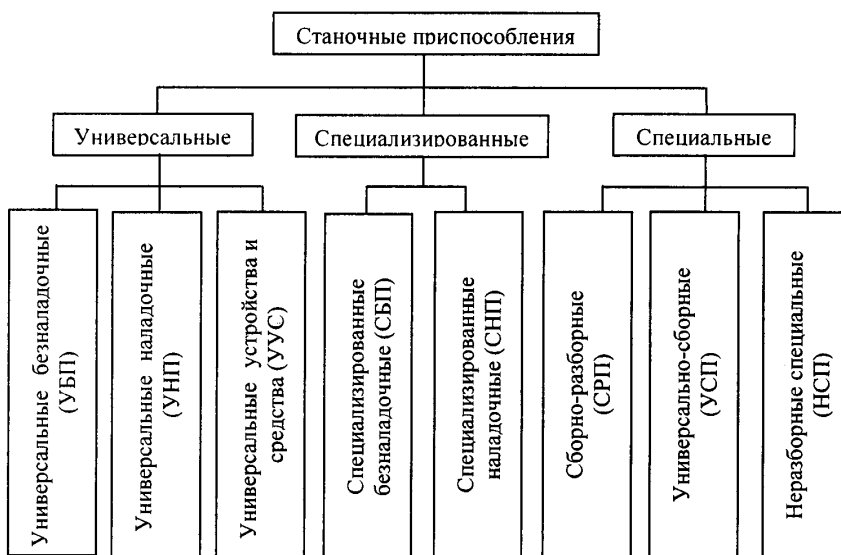


Рис. 1.1. Классификация станочных приспособлений по степени специализации

**Система УНП** (универсальных наладочных приспособлений) предусматривает разделение элементов приспособлений на два основных вида: базовые и сменные. *Базовые* элементы – постоянная многократно используемая часть приспособления, изготавливаемая заранее по соответствующим стандартам. *Сменные* установочные и зажимные элементы-наладки могут быть универсальными (изготавливаемыми заранее) и специальными (изготавливаемыми по мере необходимости машиностроительным заводом). Система рекомендуется для мелкосерийного и серийного производств, особенно эффективна при групповой обработке заготовок.

**Система СНП** (специализированных наладочных приспособлений) так же, как и система УНП, включает базовые элементы и комплексы элементов-наладок, но отличается более высокой степенью механизации приводов и применением многоместных приспособлений. Рекомендуется для специализированного серийного и крупносерийного производств.

**Система УСП** (универсальные сборных приспособлений) предусматривает комплекс стандартных, заранее изготовленных из высо-

кокачественных легированных и инструментальных закаленных сталей (12ХНЗА, У8А, У10А и др.) элементов наладки и сборочных единиц высокой точности, из которых komponуют различные конструкции специальных приспособлений. После применения приспособления разбирают на составные элементы. Элементы УСП находятся в обращении в течение 18...20 лет. Система рекомендуется для единичного, мелкосерийного, серийного и различных опытных производств в период освоения новых видов изделий.

**Система СПП** (сборно-разборных приспособлений) содержит комплексы стандартных сборочных единиц с базовыми поверхностями для сборки различных приспособлений. По окончании эксплуатации (при смене объекта производства) компоновки разбирают на сборочные единицы и используют в новых приспособлениях. Система рекомендуется для серийного и крупносерийного производств в условиях частой смены выпускаемых изделий с большим количеством модификаций.

**Система НСП** (неразборных специальных приспособлений) содержит комплексы преимущественно стандартных сборочных единиц, деталей и заготовок, а также нестандартных элементов для изготовления высокопроизводительных специальных приспособлений и сменных специальных наладок. Рекомендуется для стабильного крупносерийного и массового производств. Система часто используется в оптическом приборостроении.

**Система СМЗСП** (средств механизации зажима станочных приспособлений) включает комплекс универсальных силовых устройств, выполненных в виде обособленных агрегатов и позволяющих в сочетании с другими приспособлениями механизировать и автоматизировать процесс закрепления заготовок. Система предназначена для использования в условиях любого производств.

Совокупность всех систем приспособлений представляет собой единый комплекс технологической оснастки, применяемой для обработки заготовок во всех типах производств.

### 1.3. Структура приспособлений

Ввиду многообразия технологических процессов, конструктивных форм и размеров изготавливаемых деталей, типов станков и других факторов номенклатура применяемых приспособлений весьма разно-

образна. Несмотря на большие различия в конструктивном оформлении приспособления имеют практически одинаковую структуру, куда входят различные элементы, механизмы и детали.

**Установочные элементы (опоры)** служат для ориентации заготовки в пространстве, базирования заготовок и деталей при обработке, сборке и контроле. Опоры могут быть неподвижными, подвижными, плавающими и регулируемыми. Неподвижные опоры жестко соединяются с корпусом приспособления, подвижные могут перемещаться по базе в процессе обработки заготовки или при установке ее в приспособление.

В качестве установочных элементов при базировании заготовок по плоскостям используют точечные неподвижные опоры со сферической, плоской и рифленой рабочими поверхностями (при использовании черных базовых поверхностей) и опорные пластины (при использовании обработанных базовых поверхностей). Выбор постоянных точечных опор осуществляют по ГОСТ 13440-68 ... ГОСТ 13442-68, регулируемых – по ГОСТ 4084-68 ... ГОСТ 4085-68, самоустанавливающихся – по ГОСТ 13159-67. Опорные пластины выбирают по ГОСТ 4743-68.

Установочные элементы должны обладать повышенной износостойкостью, длительное время сохранять свои размеры и относительное положение. Поэтому их изготавливают из углеродистых и легированных сталей (У7, У8, У10А, 65Г и др.) с закалкой до твердости 56...61 НКС<sub>2</sub> или из конструкционных сталей (15ХН, 20, 20Х и др.) с цементацией на глубину 0,8...1,2 мм и последующей закалкой до той же твердости. В ряде случаев их армируют твердым сплавом и другими материалами. Шероховатость рабочих поверхностей установочных элементов соответствует чаще всего параметру Ra = 2,5...0,32 мкм.

Кроме того, установочные элементы не должны ухудшать качество поверхностей деталей. Их стыки должны быть достаточно жесткими. В целях упрощения и ускорения ремонта приспособлений установочные элементы следует выполнять легкосменными.

**Зажимные элементы и устройства** приспособлений предназначены для обеспечения надежного контакта базовых поверхностей заготовок с установочными элементами приспособлений, предупреждения смещения заготовки при обработке.



Зажимные элементы и устройства приспособлений должны быть просты по конструкции, надежны в работе и удобны в обслуживании, обеспечивать равномерность распределения сил зажима (особенно при закреплении нескольких заготовок в многоместных приспособлениях), быть сменными и износостойкими, обладать достаточным ходом, обеспечивающим удобную установку и снятие заготовок. Они не должны вызывать деформации закрепляемых заготовок, смещения и порчи их поверхностей, самопроизвольно отключаться. Закрепление и открепление заготовок в приспособлении должно производиться с минимальными затратами сил и времени рабочего. Необходимое усилие на рукоятку (штурвал, маховик) для обеспечения ручного привода зажимного устройства, например, не должно превышать 150 Н.

Наиболее распространены элементарные зажимные устройства – винтовые, клиновые, рычажные, эксцентровые и цапговые.

**Силовые приводы** приспособлений обеспечивают воздействие зажимных элементов на закрепляемую заготовку с заданной силой и в определенном направлении.

**Элементы для определения положения и направления инструментов** служат для постановки обрабатывающего инструмента в требуемое положение (высотные и угловые установки), направления сверл, зенкеров, разверток, дорнов, расточных борштанг и другого инструмента (кондукторные втулки), обеспечения заданной кинематики перемещения инструмента (копиры). Они должны иметь повышенные точность и качество отделки, высокую износостойкость.

**Корпуса** – базовые, наиболее ответственные элементы приспособлений, с помощью которых все их детали и устройства объединяются в единое целое. Корпуса обеспечивают заданное относительное расположение всех элементов и устройств приспособления, воспринимают силы обработки и зажима заготовок. Их изготавливают из серого чугуна (СЧ10, СЧ15 и др.), обладающего хорошими демпфирующими свойствами, высокопрочных сталей (Ст3, Ст5, сталь 35Л, сталь 45 и др.), алюминиевых (АЛ6, АЛ9 и др.) и других легких сплавов, пластмасс и компаундов на базе эпоксидных смол и других конструкционных материалов.

**Вспомогательные устройства и элементы** служат для расширения технологических возможностей, повышения быстродействия приспособлений, удобства управления ими и их обслуживания. К

вспомогательным относятся поворотные и делительные устройства с дисками и фиксаторами, различные выталкивающие устройства (выталкиватели), быстродействующие защелки и откидные винты для крепления откидных элементов приспособлений (например, шарнирно установленных кондукторных плит), подъемные механизмы станочных приспособлений, обеспечивающие выполнение специальных технологических приемов, тормозные и прижимные устройства, рукоятки, сухари, шпильки, маховички, крепежные и другие детали.

#### **1.4. Системы специализированных приспособлений**

*Специализированные безналадочные приспособления (СБП)* используются для установки заготовок, близких по конструктивно-технологическим признакам и требующих одинаковой обработки и установки на одноразмерные или комбинированные установочные элементы (для однотипных операций предусмотрена возможность регулировки положения установочных элементов). К ним относятся приспособления для групповой обработки заготовок типа валов, осей, втулок, стаканов, фланцев, дисков, колец, кронштейнов, корпусов и т. п.

*Специализированные наладочные приспособления (СНП)*, как и УНП, состоят из двух частей: базовой стандартизованной части и сменных наладок. Однако СНП отличаются от УНП большим уровнем механизации и предназначаются для установки заготовок конструктивно подобных деталей с одинаковой схемой базирования.

Приспособления этой системы рационально использовать в серийном и многономенклатурном крупносерийном производствах при коэффициенте загрузки одной операцией менее 0,5, а также при групповой обработке деталей в мелкосерийном производстве при условии унификации геометрических элементов деталей выпускаемых изделий.

#### **1.5. Системы специальных приспособлений**

*Универсально-сборные приспособления (УСП)* применяют для установки заготовок широкой номенклатуры при выполнении различных операций. Для каждой операции собирают специальное по назначению приспособление из заранее подготовленных элементов (деталей и неразборных сборочных единиц), а после использования

разбирают его. Детали и сборочные единицы УСП непрерывно находятся в обращении, многократно применяются для сборки различных приспособлений. Главным достоинством УСП является быстрота их сборки. За 2...3 ч без разработки чертежа можно собрать приспособление средней сложности для обработки заготовок по 9-му качеству точности. Проведение дополнительных работ по подналадке обеспечивает обработку по 7-му качеству точности.

Комплект УСП состоит из 8 групп деталей и сборочных единиц: базовых, корпусных и опорных деталей, установочных, направляющих, прижимных, крепежных деталей и неразборных сборочных единиц различного назначения.

Установочные элементы выполняют из стали У8А с закалкой до твердости 52...56 HRC<sub>3</sub>; направляющие – из сталей 20, 20Х, 40Х, кондукторные втулки – 9ХС, элементы диаметром более 20 мм – из стали 20Х с твердостью 61...65 HRC<sub>3</sub>, зажимные элементы – из стали 20, крепежные – 38ХА и 40Х, неотчетственные детали – из стали 45.

**Сборно-разборные приспособления (СП)** рентабельно применять в условиях серийного (крупносерийного) производства изделий, имеющих большое число модификаций, с периодом выпуска до 2,5 лет.

Система СП, как и УСП, основывается на нормализации элементов. Однако здесь стандартизируются, главным образом, функциональные сборочные единицы (зажимные, установочные, корпусные, подвижные губки, планшайбы, оправки и патроны) и некоторые детали (неподвижные губки, немеханизированные прямоугольные и круглые плиты, подставки к опорам).

**Неразборные специальные приспособления (НСП)** используются для выполнения определенной операции при обработке конкретных заготовок. Они являются одноцелевыми. При смене объекта производства такие приспособления, как правило, приходится списывать. НСП изготавливаются в единичном производстве (поэтому они трудоемки и дороги), а применяются в крупносерийном и массовом производствах. К приспособлениям этой системы предъявляются требования высокой точности, максимального применения стандартных деталей и сборочных единиц.

## **2. ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ И ЭТАПЫ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

### **2.1. Исходные данные и выбор конструкции**

Проектирование приспособлений неразрывно связано с разработкой технологического процесса обработки заготовки. Технолог и конструктор в работе по проектированию приспособлений решают вполне определенные задачи. Технолог осуществляет выбор технологических баз, установление маршрута обработки, уточнение содержания технологических операций с разработкой эскизов обработки и указанием промежуточных размеров по каждой операции, дающих представление о базировании и закреплении заготовки, выбор и расчет параметров режима обработки, включая силы и моменты обработки (резания), выбор типа и модели станка, предварительную разработку схемы приспособления, нормирование операций. В задачи конструктора входят конкретизация предложенной технологом схемы приспособления и базирования заготовки, выбор конструкции и размеров установочных элементов приспособления, определение необходимых сил зажима, выбор схемы и расчет зажимных устройств и приводов к ним, определение конструкции и размеров направляющих элементов приспособления, общая компоновка приспособления с назначением допусков на его сборку и на изготовление деталей. В результате конструктор должен выдать готовый чертеж приспособления, оформленный в соответствии с требованиями стандартов и с техническими условиями на изготовление и эксплуатацию.

Исходная информация для разработки приспособления в соответствии с ГОСТ 14303-73 подразделяется на базовую, руководящую и справочную. Базовая информация включает данные конструкторской документации на изделие (чертеж детали и технические требования ее приемки) и программу выпуска изделия. В руководящую информацию входят данные из стандартов, нормативной документации на прогрессивную оснастку и производственных инструкций. Справочная информация включает данные, содержащиеся в действующих технологических процессах, описаниях прогрессивной оснастки, каталогах, номенклатурных справочниках прогрессивного технологического оборудования и оснастки, материалах по выбору технологических нормативов (параметров режима обработки, расчетных фак-

торов для расчета приспособлений и т.д.), методических материалах по конструированию и расчету приспособлений.

При проектировании приспособления необходимы следующие исходные материалы: чертеж заготовки, чертеж детали и технические требования по ее приемке, операционные эскизы заготовки на предшествующую и выполняемую операции, технологический процесс изготовления данной детали, стандарты и нормалы на детали и сборочные единицы приспособлений, альбомы нормализованных конструкций и чертежи подобных по назначению приспособлений, данные о станках. Из технологического процесса изготовления детали конструктор выясняет последовательность и содержание операций, принятое базирование, используемые станки и инструменты, параметры режимов резания, нормы времени и заданную производительность обработки.

Перед проектированием приспособления конструктор должен иметь характеристику станка, заложенного технологом в техпроцессе (в частности, его основные размеры, связанные с размещением приспособления, размеры стола, рабочие перемещения стола и их пределы, размеры и расположение Т-образных пазов, наименьшее расстояние от стола до шпинделя, размер конуса шпинделя и т.д.), а также его техническое состояние. Желательно непосредственно ознакомиться со станком для выявления особенностей приспособления, связанных с оборудованием, и установления наилучшего расположения органов управления (пневмокранов, рукояток и т.п.). Целесообразно также изучить конструкции и опыт эксплуатации аналогичных приспособлений.

При тщательной проработке исходной информации конструктор может предложить технологу наиболее рациональное построение операции и выбрать другую схему приспособления.

Окончательное решение о выборе той или иной конструкции приспособления следует принимать после расчета экономической эффективности, который заключается в сопоставлении затрат и экономического эффекта при использовании прогрессивного приспособления, относимых к годовому периоду эксплуатации. Затраты слагаются из расходов на амортизацию приспособления (амортизационных отчислений), на его содержание и эксплуатацию. Экономия достигается за счет снижения трудоемкости изготовления деталей, а следовательно, за счет сокращения затрат на основную

зарплату. Приспособление считается рентабельным, если годовая экономия, получаемая при его применении, больше связанных с ним годовых затрат.

В неавтоматизированном производстве рабочий может выполнять в смену в среднем до 750 зажатий-отжатий (при силе привода до 150 Н). Если за смену требуется обработать 400 заготовок в приспособлении с двумя винтовыми зажимами, рабочий не сможет выполнить это задание. В данном случае следует применить приспособление с механизированным приводом.

Значения моментов, передаваемых рукой рабочего (при силе воздействия 150 Н) на маховички и рукоятки различных конструкций и размеров, приведены в табл. 2.1, с помощью которой при известном требуемом моменте  $M$  можно подбирать конструктивную форму приводных элементов ручных зажимных устройств и их размер  $l$ .

Таблица 2.1

Предельные значения моментов сил  $M$ , Н·мм, обеспечиваемые при различных конструктивных формах, и размерах  $d$ , мм, элементов ручных зажимных устройств

Форма устройства									
d	M	d	M	d	M	d	M	d	M
20	700...1500	30	1200...2500	40	4000...6500	80	7000...8500	75	8500...13000
24	900...1800	35	2500...5000	50	5000...7000	100	8000...9500	94	9500...14000
30	1000...2200	45	4000...6500	60	6000...8000	120	9500...11000	117	10000...15000
36	1200...2500	50	5000...7500	80	8000...9500	140	10000...13000	150	11000...16000
-	-	70	7000...8500	-	-	-	-	-	-

Ориентировочные данные о продолжительности закрепления и открепления заготовок различными зажимами представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Вспомогательное время на закрепление и открепление заготовки, мин

Способ закрепления	Количество зажимов	Масса деталей, кг, до				
		1	5	12	20	св. 20
Закрепление откидной или скользящей планкой						
Рукояткой пневматического зажима	1	0,034	0,042	0,046	0,05	0,06
Рукояткой эксцентрикового зажима	1	0,04	0,052	0,058	0,064	0,079
Винтовым зажимом вручную	1	0,044	0,06	0,077	0,094	0,163
Винтовым зажимом с помощью гаечного ключа	1	0,104	0,123	0,157	0,186	0,235
Рукояткой пневматического зажима и винтовым зажимом	2	0,062	0,078	0,093	0,109	0,172

## 2.2. Обеспечение точности

С целью обеспечения заданной точности обработки проектируемое приспособление должно обладать достаточной жесткостью (в первую очередь, в направлении действия сил зажима и обработки). Для этого желательно применять конструкции с наименьшим количеством стыков, не используя внецентренное приложение сил. Менее предпочтительны сборные конструкции приспособлений с большим количеством стыков; более предпочтительны цельные и сварные конструкции.

Детали приспособлений должны быть жесткими при работе на изгиб и кручение и прочными при всех видах нагружения в эксплуатационных условиях. Корпусные детали приспособлений следует конструировать так, чтобы не возникала их деформация при зажиме и обработке заготовок и отсутствовала деформация элемен-



тов станка (стола, шпинделя и т.д.), на которых они размещаются и закрепляются.

Уменьшение контактных деформаций стыков, работающих на сжатие, возможно за счет снижения шероховатости контактирующих поверхностей, повышения твердости подповерхностного слоя металла и предварительной затяжки соединяемых элементов приспособления крепежными деталями. Плоские стыки менее жестки на изгиб, чем на кручение. В работающих на изгиб стыках рекомендуется располагать болты неравномерно, смещая их, по возможности, на большее расстояние от нейтральной оси. В этом случае целесообразно также сокращать поверхность контактирования сопрягаемых деталей в области нейтральной оси.

Жесткость стыков деталей с поверхностями, обработанными шабрением и притиркой, и со шлифованными поверхностями мало отличается. Достаточно высока жесткость стыков с плоскостями, обработанными строганием, при совпадении рисок (следов) обработки. Контактную жесткость стыков можно повысить за счет предварительной термической (закалка) или химико-термической (например, цементация с последующей закалкой) обработки деталей, а также за счет нанесения тонкого клеевого слоя между сопряженными поверхностями, повышающего демпфирующие свойства стыка при возникновении вибраций.

При разработке чертежа общего вида приспособления и его рабочих чертежей конструктор должен установить допуски размеров, которые по точности разбиваются на 3 группы. К 1-й группе относятся размеры элементов и сопряжений, непосредственно определяющие точность обработки (расстояние между осями кондукторных втулок сверлильного приспособления, отклонение от параллельности рабочей плоскости установочных элементов и плоскости корпуса приспособления, контактирующей со столом станка, и т.д.), а также размеры установочных элементов; во 2-ю – размеры деталей и сопряжений приспособлений, погрешности которых не оказывают влияния на точность обработки (размеры сопряжений зажимных устройств и приводов, выталкивателей и других вспомогательных устройств); в 3-ю – размеры несопрягаемых обработанных и необработанных поверхностей деталей приспособлений.

Существуют практические рекомендации по выбору допусков размеров деталей и сопряжений приспособлений. Допуски размеров

1-й группы обычно принимаются в 2...3 раза меньшими, чем размеров, выдерживаемых при обработке заготовки, что в ряде случаев обеспечивает достаточно надежное выполнение заданных размеров заготовки и необходимый ресурс работы приспособления до предельного износа его элементов.

Допуски размеров 2-й группы назначаются при конструировании приспособлений в зависимости от характера и условий работы рассматриваемых сопряжений и назначения механизма. Чаще всего допуски размеров сопрягаемых деталей принимаются по 7-му – 9-му качеству точности. Свободные размеры выполняются по 12-му качеству точности для обработанных и по 14-му – для необработанных поверхностей деталей приспособлений.

В целом погрешности изготовления приспособлений и установки их на станке не влияют на точность размеров и форму обрабатываемых поверхностей, но приводят к погрешностям относительного положения поверхностей заготовки.

### 2.3. Последовательность проектирования

Проектирование любого приспособления начинается с определения теоретической схемы базирования объекта. В соответствии с ГОСТ 21495-76, базирование, т.е. придание объекту (заготовке, детали, изделию) требуемого положения относительно принятой системы координат, осуществляется с помощью выбранных на объекте баз в виде принадлежащих ему поверхностей, осей, точек или их сочетаний. Совокупность 3 баз, образующих систему координат объекта, составляет *комплект баз* (рис. 2.1 а), использование которого необходимо для обеспечения неподвижности объекта в выбранной системе координат. В этом случае на объект налагается 6 двусторонних геометрических связей, которые символизируются 6 опорными точками (рис. 2.1 б). Соответствующее число связей с объекта может сниматься, если при обработке заготовки имеется достаточно определенное число степеней свободы. Тогда при базировании объекта используют 2 или 1 базу.

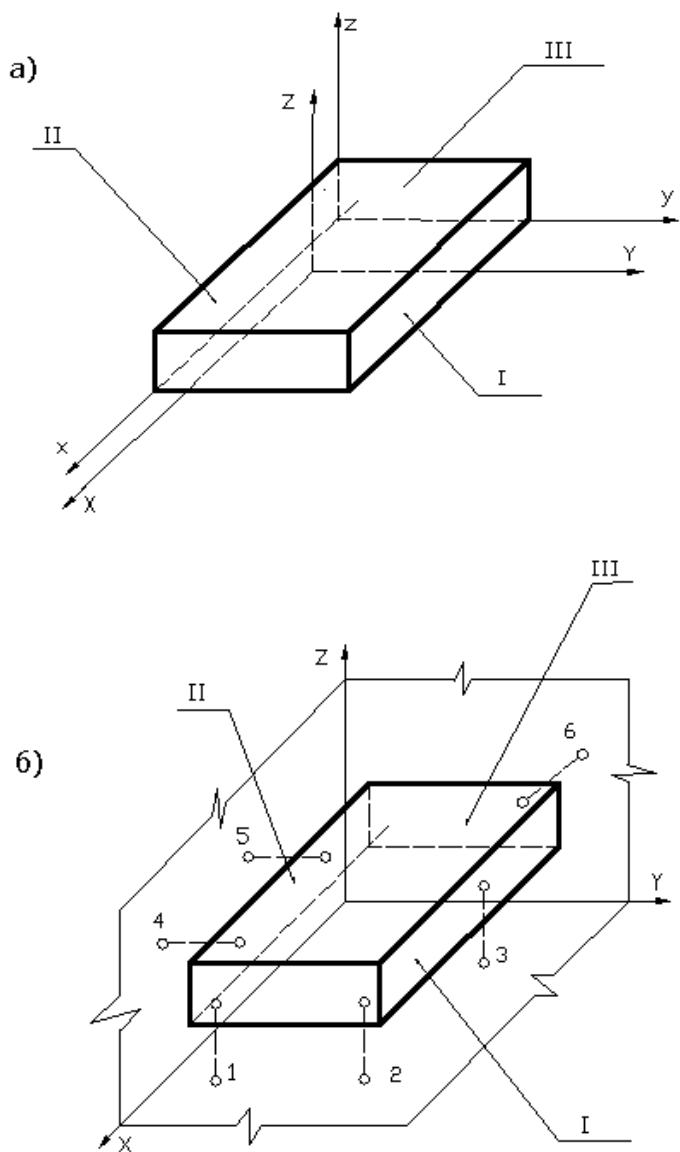


Рис. 2.1. Комплект баз (а) и опорные точки (б) при базировании призматической заготовки (детали):  
 I, II, III – базы; 1...6 – опорные точки, символизирующие двусторонние связи заготовки (детали) с системой координат

По назначению базы подразделяют на:

1) конструкторскую – для определения положения детали или сборочной единицы в изделии;

2) основную, являющуюся конструкторской базой данной детали или сборочной единицы и используемую для определения их положения в изделии;

3) вспомогательную, являющуюся конструкторской базой данной детали или сборочной единицы и используемую для определения положения присоединяемых к ним деталей и сборочных единиц;

4) технологическую – для определения положения заготовки или изделия при изготовлении, сборке или ремонте (рис. 2.2 а);

5) измерительную – для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

По лишаемым степеням свободы различают (рис. 2.2 б):

1) установочную базу – для наложения на объект связей, лишаящих его трех степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей;

2) направляющую – для наложения на объект связей, лишаящих его двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси;

3) опорную – для наложения на объект связей, лишаящих его одной степени свободы – перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси;

4) двойную направляющую (рис. 2.3 а) – для наложения на объект связей, лишаящих его четырех степеней свободы – перемещения вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей;

5) двойную опорную (рис. 2.3 б) – для наложения на объект связей, лишаящих его двух степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей.

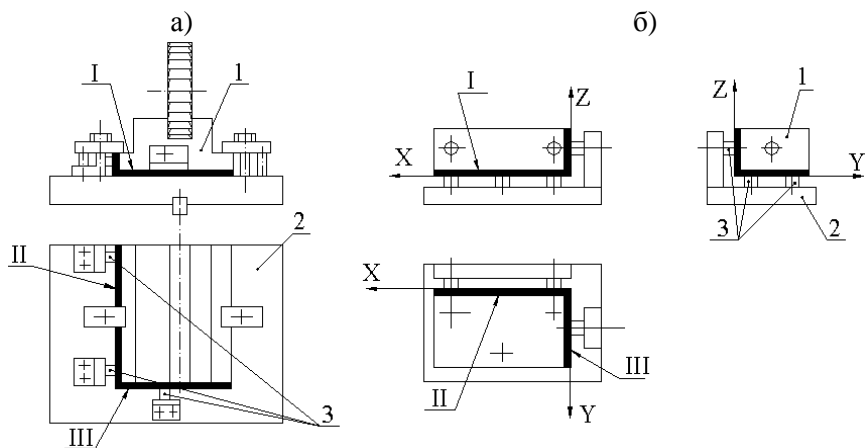


Рис. 2.2. Базирование заготовок по плоским базовым поверхностям в приспособлениях при обработке:

I – установочная база заготовки; II – направляющая база заготовки; III – опорная база заготовки; 1 – обрабатываемая заготовка; 2 – корпус приспособления; 3 – установочные элементы – опоры приспособления

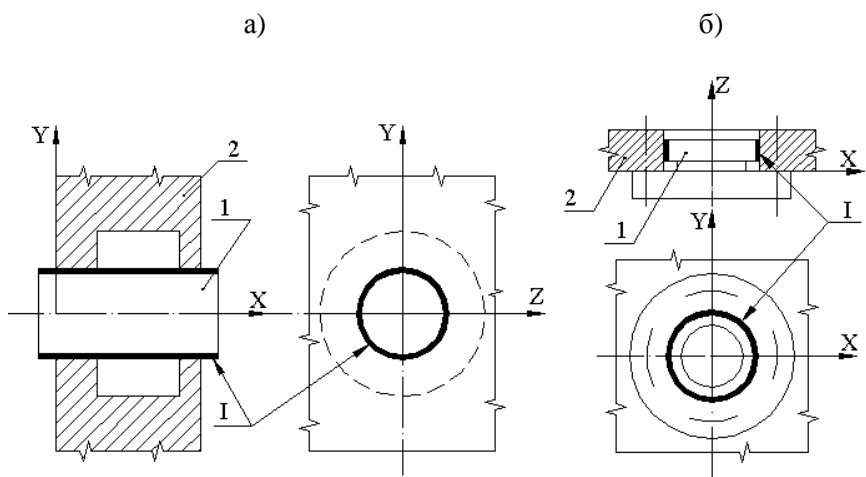


Рис. 2.3. Базирование заготовок (деталей) с использованием цилиндрических базовых поверхностей:

I – двойная направляющая (а) и опорная (б) базы; 1 – заготовка (деталь); 2 – установочный элемент приспособления (сопрягаемая деталь изделия)

По характеру проявления база может быть (рис. 2.4 б):

- 1) скрытой в виде воображаемой плоскости, оси, точки;
- 2) явной в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

Под **схемой базирования** понимается схема расположения опорных точек на базах заготовки, детали, сборочной единицы, изделия. Все опорные точки на этой схеме изображаются условными знаками (рис. 2.4 а) и нумеруются порядковыми номерами, начиная с базы, на которой находится наибольшее количество опорных точек (см. рис. 2.4 б). При наложении в какой-либо проекции одной точки на другую изображается одна точка, и около нее проставляются номера совмещенных точек. Число проекций объекта на схеме базирования должно быть достаточным для четкого представления о размещении опорных точек.

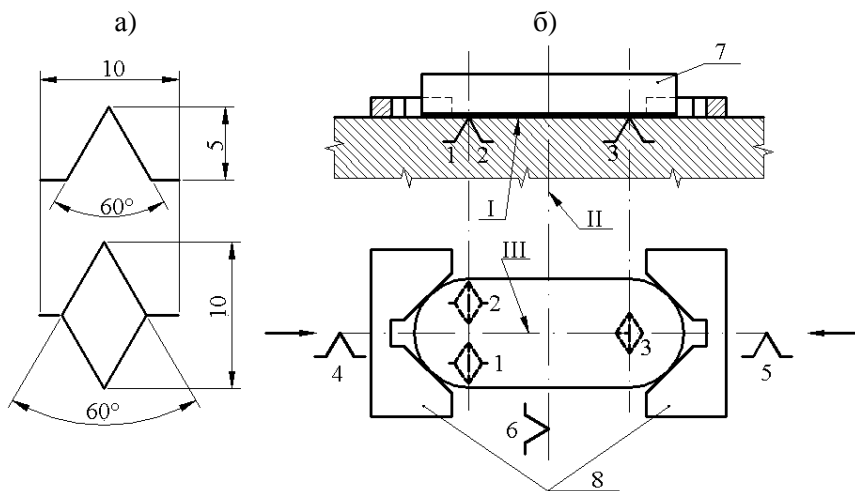


Рис. 2.4. Условное изображение опорных точек (а) и установка заготовки в приспособление по комплексу баз с нанесенной схемой базирования (б): I – установочная явная база заготовки; II – направляющая скрытая база (ось) заготовки; 1...6 – опорные точки; 7 – заготовка; 8 – губки самоцентрирующих тисков

Примеры разработки теоретических схем базирования приведены на рис. 2.5 и 2.6. На заготовке (рис. 2.5 а) при фрезеровании паза шириной  $h$  необходимо выдержать размеры  $a$  и  $b$ , параллельность

оси паза относительно поверхности Б, а поверхности дна паза – относительно поверхности А. Рис. 2.5 б иллюстрирует теоретическую схему базирования, а рис. 2.5 в – схему приспособления, реализующего схему базирования. При установке заготовки по плоской поверхности и двум отверстиям (рис. 2.6 а) теоретическая схема базирования будет иметь вид, показанный на рис. 2.6 б.

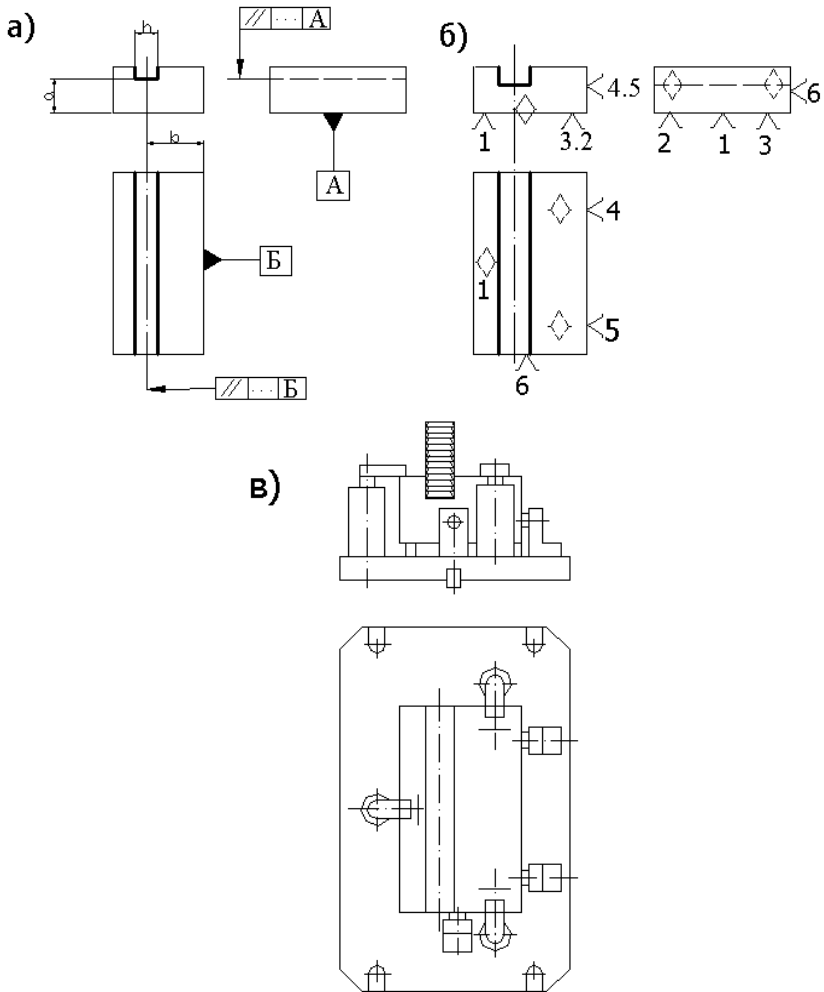


Рис. 2.5. Разработка теоретической схемы базирования заготовки: а – заготовка; б – схема базирования; в – реализация теоретической схемы

базирования в приспособлении

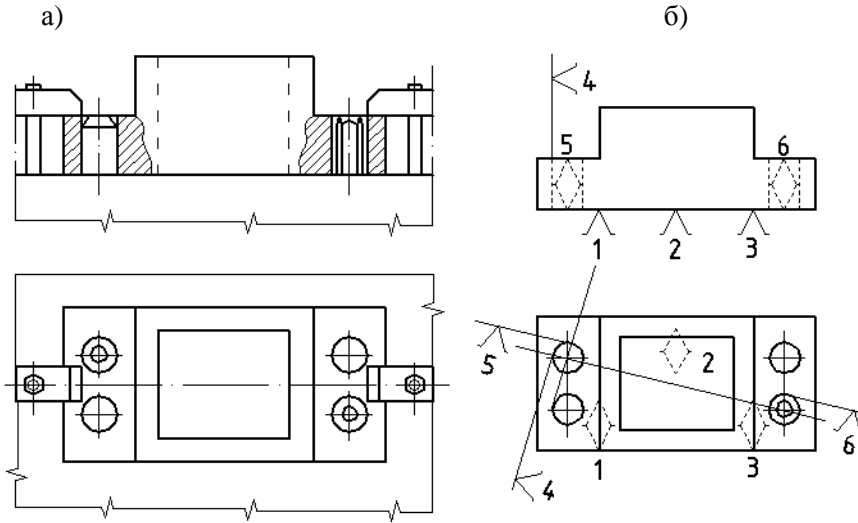


Рис. 2.6. Установка заготовки в приспособление (а) и теоретическая схема базирования (б)

Схемы закрепления наносятся на эскиз обрабатываемой заготовки. На схемах опоры, зажимы и установочные устройства могут указываться как в виде реальных деталей и сборочных единиц приспособления, так и в виде графических (условных) обозначений по ГОСТ 3.1107-81. Опоры и установочные устройства (кроме центров) можно обозначать на выносных линиях соответствующих поверхностей.

После окончательного уточнения вопросов установки заготовки в приспособление выбирают установочные, зажимные и другие элементы приспособления, а также определяют вид зажимного устройства и его привод.

Проектирование, как правило, начинается с изображения на листе контуров обрабатываемой заготовки штрихпунктирными либо цветными сплошными линиями. Заготовку изображают в нужном количестве проекций. Общий вид (схема) приспособления вычерчивается последовательным нанесением его элементов вокруг контуров заготовки (сначала – установочных элементов, затем – зажимных, устройств с приводами, элементов для направления и контроля положения инструмента, вспомогательных устройств и деталей). Последним чертят контур корпуса приспособления, который объединяет все вы-



шеперечисленные элементы в единое целое – приспособление.

В зависимости от характера обработки, конфигурации заготовки, принятого станка и штучного времени на операцию выбирается одна из схем приспособления:

- 1) одноместное однопозиционное;
- 2) многоместное однопозиционное;
- 3) одноместное многопозиционное;
- 4) многоместное многопозиционное.

Целесообразность этого выбора обосновывается при эскизной проработке приспособления.

Наиболее простыми и часто применяемыми во всех типах производства являются однопозиционные приспособления. При использовании многопозиционных приспособлений необходимо создавать дополнительные вспомогательные устройства (поворотные, делительные, подъемные и др.). Вместе с тем, многопозиционные приспособления позволяют значительно повысить концентрацию операций, за счет чего вырастает производительность обработки. Используют их преимущественно на специальных станках, применение которых наиболее эффективно в условиях массового и крупносерийного производств.

В зависимости от допустимого вспомогательного времени и с учетом необходимой силы зажима выбирают рациональную конструкцию силового привода. Механизированные приводы обеспечивают минимальные затраты времени и энергии рабочего на зажим заготовок, позволяют автоматизировать управление приспособлением или совместить его со схемой управления станком.

Большое влияние на эффективность оборудования оказывает удобство работы с приспособлением. Для обеспечения простоты и безопасности установки и снятия заготовок на приспособлениях следует предусматривать загрузочно-разгрузочные зоны, свободные от выступающих элементов приспособлений и подвижных частей их устройств и механизмов. В условиях массового и крупносерийного производств при обработке заготовок простой формы малых и средних размеров необходимо изучить возможности автоматизации их загрузки в приспособление и выгрузки из него.

После отработки схемы приспособления выбирают и обосновывают параметр для расчета его на точность. Затем выполняют этот расчет, заканчивая его разбивкой значения расчетного параметра на

допуски размеров деталей приспособления, входящих в размерную цепь. После этого делают силовой расчет, расчеты на прочность и экономическую эффективность.

Силовой расчет должен иллюстрироваться схемой с указанием сил обработки и зажима, реакций опор, сил трения, действующих моментов, плеч действия сил и других данных для определения необходимых (требуемых) сил зажима. Заканчивают силовой расчет расчетом зажимного устройства и привода приспособления.

Для расчета на прочность выбирают одну – две наиболее нагруженные детали приспособления. Расчет осуществляется по изложенной ниже методике. Экономическое сравнение вариантов приспособления заканчивают расчетом годового экономического эффекта и срока окупаемости нового, более прогрессивного приспособления.

В соответствии с данными расчетов целесообразно откорректировать схему приспособления и разработать эскиз его сборочного чертежа. Для составления спецификации на схеме (эскизе) приспособления нужно пронумеровать его детали.

На чертеже общего вида приспособления следует приводить технические условия (ТУ) его сборки и эксплуатации с указанием точности в собранном виде по выбранным параметрам, обработки в сборе для обеспечения заданной точности (в случае необходимости), покраски и других видов покрытий, периодичность контрольных осмотров и проверок точности, ухода за приспособлением и обслуживания (очистка, смазывание, замена элементов, хранение), требования к установке на станке и регулировке и др.

Следует особо остановиться на важности продумывания вопросов ухода за приспособлениями в период эксплуатации и хранения. Уход за приспособлением, от которого зависит его работоспособность и внешний вид, заключается в осмотре, своевременном смазывании, ремонте и подкраске.

В технических условиях в зависимости от условий работы следует указывать периодичность осмотров, которые целесообразно увязывать с проверкой приспособления на точность по допустимому изнашиванию установочных элементов. Периодичность смазывания зависит от сложности приспособления и условий его работы. Лучше всего предусматривать непрерывное автоматическое смазывание трущихся поверхностей приспособления и только в случае крайней необходимости – периодическое смазывание, которое при

постоянном нахождении приспособления на станке желательно осуществлять во время работы последнего. В ТУ желательно указывать рабочие и смазочные материалы, рекомендуемые для применения (табл. 28 в литературном источнике [71]).

При использовании лакокрасочных покрытий в ТУ указывают марку краски, ее цвет, эксплуатационные требования к покрытию, ГОСТ на краску и покрытие. На чертежах деталей (элементов) желательно отражать необходимые сведения о металлопокрытиях и химической (электрохимической) обработке поверхностей.

### **3. РАСЧЕТ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ**

#### **3.1. Выбор расчетных параметров и порядок построения размерных цепей**

От точности изготовления приспособления и установки его на станке, износостойкости установочных элементов и жесткости в значительной мере зависит точность обработки заготовок.

Требуемую точность приспособления можно определить решением размерной цепи технологической системы заготовка – приспособление – станок – инструмент (ЗПСИ), отражающей роль каждого звена в достижении точности выдерживаемого размера на обрабатываемой заготовке. При этом выявляется роль приспособления в достижении заданной точности выполняемого на заготовке размера – замыкающего звена размерной цепи технической системы ЗПСИ – и методически строго объясняется необходимость деления допуска, ограничивающего отклонения от выполняемого размера, на части, одна из которых выделяется для приспособления. Эта доля допуска размера заготовки и будет допуском размера приспособления (или относительным отклонением положения его поверхностей). Допуск размера приспособления в сборе в процессе решения другой размерной цепи должен быть распределен на допуски размеров деталей приспособления, являющихся ее составляющими звеньями. Такой подход к расчету приспособлений на точность повышает его наглядность и показывает взаимосвязь элементов системы ЗПСИ в обеспечении точности обработки.

Распределение полученного допуска изготовления приспособления в сборе на допуски размеров деталей, являющихся звеньями размерных цепей приспособления, обеспечивается решением пря-

мой задачи при расчете этих цепей.

Цель расчета заключается в определении требуемой точности изготовления приспособления по выбранному параметру и задания допусков размеров деталей и элементов приспособления.

Расчет, как правило, должен состоять из следующих этапов:

1) выбор одного или нескольких параметров приспособления, оказывающих влияние на положение и точность обработки заготовки;

2) принятие порядка расчета и выбор расчетных факторов;

3) определение требуемой точности изготовления приспособления по выбранным параметрам;

4) распределение допусков изготовления приспособления на допуски размеров деталей, являющихся звеньями размерных цепей;

5) внесение в ТУ сборочного чертежа пункта об обеспечении точности приспособления обработкой его в сборе (в случае невозможности или экономической нецелесообразности обеспечения полученного расчетом допуска размеров приспособления путем изготовления с соответствующей точностью и сборки деталей).

Выбор расчетных параметров осуществляется в результате анализа принятых схем базирования и закрепления заготовки и приспособления, а также точности обеспечиваемых обработкой размеров.

В зависимости от конкретных условий в качестве расчетных параметров могут выступать: допуск параллельности или перпендикулярности рабочей поверхности установочных элементов к поверхности корпуса приспособления, контактирующей со станком; допуск линейных и угловых размеров; допуск соосности (эксцентриситет) и перпендикулярности осей цилиндрических поверхностей и т.д.

Чаще всего расчетный параметр определяет точность положения рабочих поверхностей установочных элементов приспособления относительно опорных (посадочных, присоединительных) поверхностей корпуса, посредством которых приспособление соединяется со столом или шпинделем станка. Другими словами, расчетный параметр должен связывать по точности относительного положения поверхности приспособления, контактирующие с заготовкой и со станком.

**Пример 1.** В приспособлении, изображенном на рис. 3.1 а, фрезой 5 обрабатывается плоская поверхность А заготовки в размер  $a$  с допуском  $\delta_a$ . Заготовка 4 устанавливается на установочные элементы (опорные пластины) 3 базовой поверхностью Б. Приспособление опорной поверхностью В корпуса 2 контактирует со столом 1

фрезерного станка. Так как направление расчетного параметра должно совпадать с направлением выполняемого при обработке заготовки размера и определять точность относительного положения рабочей поверхности установочных элементов (поверхности Б) и поверхности корпуса приспособления, контактирующей со станком (поверхности В), в качестве расчетного параметра в данном случае следует принять допуск параллельности на определенной длине поверхности Б установочных элементов относительно поверхности В корпуса приспособления либо допуск конструктивно заданного размера между поверхностями Б и В приспособления.-

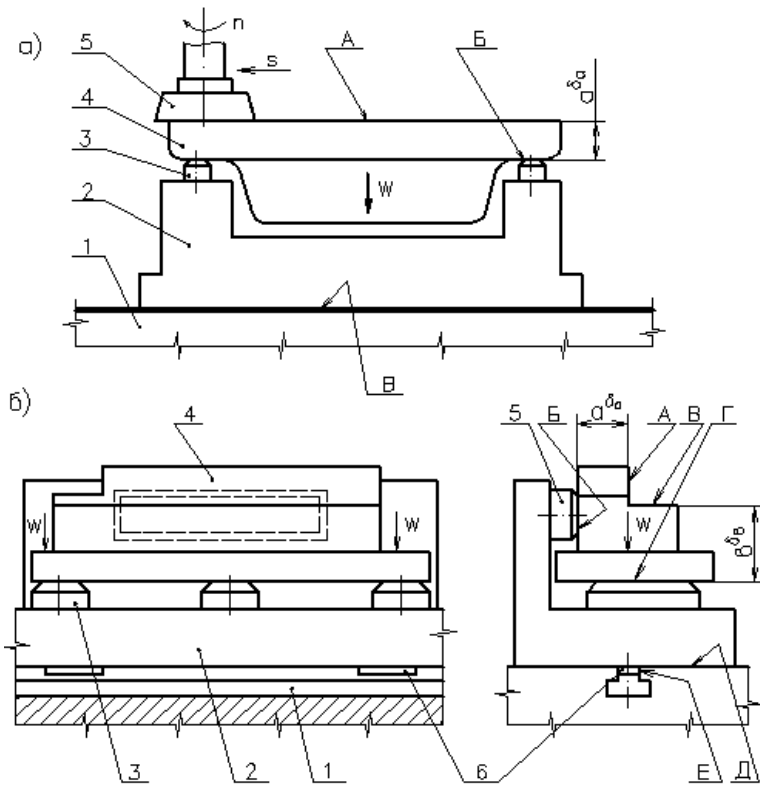


Рис. 3.1. Схемы установки заготовок в приспособлениях при обработке для обеспечения размеров в одном (а) и двух (б) направлениях

Действительно, отклонение от параллельности обрабатываемой поверхности А относительно базовой поверхности Б заготовки

должно быть в пределах допуска  $\delta_a$  размера  $a$ . Из этих соображений задание расчетного параметра при расчете приспособления на точность – допуска параллельности поверхности Б к поверхности В приспособления на длине опорных пластин 3 – является обоснованным. Подобным образом в данном примере можно обосновать выбор в качестве расчетного параметра допуска размера между поверхностями Б и В. Условие расположения этих поверхностей при изготовлении приспособления необходимо строго соблюдать, так как при большом отклонении от их параллельности возникает смещение (перекос) базовой поверхности заготовки относительно стола станка, что может привести к браку детали по размеру  $a$ .

**Пример 2.** На фрезерном станке обрабатывается заготовка 4 (рис 3.1 б) по поверхностям А и В в размеры  $a$  и  $b$  с допусками соответственно  $\delta_a$  и  $\delta_b$ . Базовыми поверхностями Б и Г заготовка устанавливается на опорные пластины 3 и 5 в корпусе 2 приспособления. Корпус контактирует со столом 1 фрезерного станка плоскостью Д. Его положение относительно Т-образных пазов стола обеспечивается направляющими шпонками б.

При анализе выполняемых размеров, схем базирования и приспособления можно установить, что допуск параллельности обрабатываемых поверхностей А и В относительно поверхностей Б и Г детали 4 может быть в пределах допусков выполняемых размеров  $a$  и  $b$ , т. е.  $\delta_a$  и  $\delta_b$ . Положение заготовки будет определяться положением рабочих поверхностей установочных элементов 3 и 5 относительно поверхностей, контактирующих с поверхностями стола станка и определяющих положение приспособления на станке.

В качестве расчетных в этом случае следует выбрать два параметра: допуск параллельности плоскости Г установочных элементов 3 относительно плоскости Д корпуса приспособления и допуск параллельности плоскости Б опорной пластины 5 и боковой поверхности Е направляющих шпонок б корпуса. Фреза при обработке на станке будет в некотором приближении перемещаться параллельно рабочей поверхности (плоскости) стола и боковым поверхностям продольных Т-образных пазов. Из-за большого отклонения от параллельности поверхностей Б и Г установочных элементов относительно поверхности стола и Т-образных пазов станка возможно недопустимое отклонение положения заготовки от заданного и, как

результат, брак деталей по размерам  $a$  и  $b$ .

**Пример 3.** Заготовка 3 (рис. 3.2 а) устанавливается в токарное приспособление (рис. 3.2 б) для растачивания отверстий диаметром  $d_1, d_2$  и обработки торцов Е и Ж с обеспечением размеров  $l$  и  $k$  (допуски – соответственно  $\delta_l$  и  $\delta_k$ ). Установочными элементами приспособления являются опорные пластины 4, 5, установленные на угольнике 6, и втулка 2. Угольник и втулка размещены на корпусе 1 приспособления, который выточкой Г и плоскостью Д соединяется с планшайбой шпинделя токарного станка.

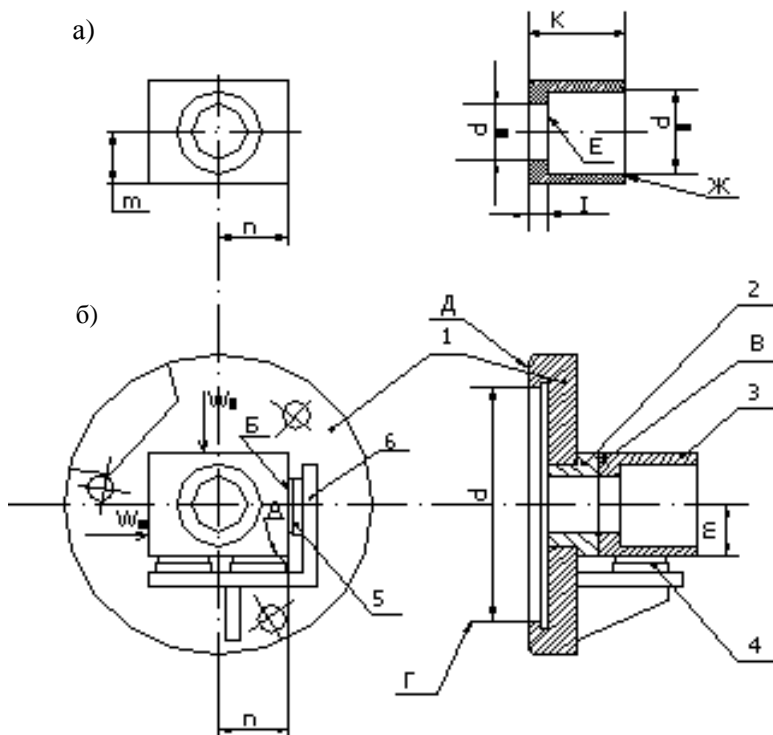


Рис. 3.2. Схема установки заготовки (а) в приспособлении (б) на токарном станке

При расчете рассматриваемого приспособления на точность в качестве расчетных можно принять 3 параметра: допуск расстояния между рабочей поверхностью А установочных элементов 4 и осью поверхности Г; допуск расстояния между рабочей поверхностью Б

установочного элемента 5 и осью поверхности Г; допуск параллельности рабочей поверхности (торца) втулки 2 плоскости установочной поверхности Д корпуса приспособления. По первым двум параметрам можно выполнять один расчет по одному допуску (в случае, если допуски  $\delta_n$  и  $\delta_m$  на размеры  $n$  и  $m$  равны) или по наименьшему допуску (в случае, если один из допусков по значению меньше другого). Третий параметр следует рассчитывать по наиболее жесткому (меньшему) допуску размеров  $k$  и  $l$ . На чертеже приспособления следует указать допуск перпендикулярности поверхностей А и В установочных элементов.

При расчете кондукторов для сверления заготовок в виде плит, коробчатых корпусов, кронштейнов с заданием расстояний от боковых поверхностей до отверстий и между отверстиями за расчетные параметры можно принимать допуски расположения втулок относительно установочных поверхностей приспособления, допуски межцентровых расстояний между кондукторными втулками и допуски перпендикулярности или параллельности осей втулок относительно рабочих поверхностей установочных элементов и опорной поверхности корпуса приспособления.

## 3.2. Расчет размерных цепей

### 3.2.1. Основные определения и закономерности

Для обеспечения правильного функционирования группы взаимодействующих деталей, собираемых в узел, производится анализ их взаимно связанных размеров (линейных сопряжений), основанный на теории размерных цепей.

Рассмотрим основные определения и обозначения, которые применяются при составлении и расчете размерных цепей.

**Размерной цепью** называется совокупность размеров, расположенных в определенной последовательности по замкнутому контуру и связывающих поверхности и оси деталей, взаимное положение которых требуется определить.

Размеры деталей и расстояния между осями, составляющие размерную цепь, называются **звеньями размерной цепи** и обозначаются одной прописной буквой русского алфавита с цифровыми индексами (рис. 3.3 а – е). Зазор или натяг рассматривается как самостоятельное звено размерной цепи, которое в отличие от других звеньев



может иметь номинальный размер, равный нулю.

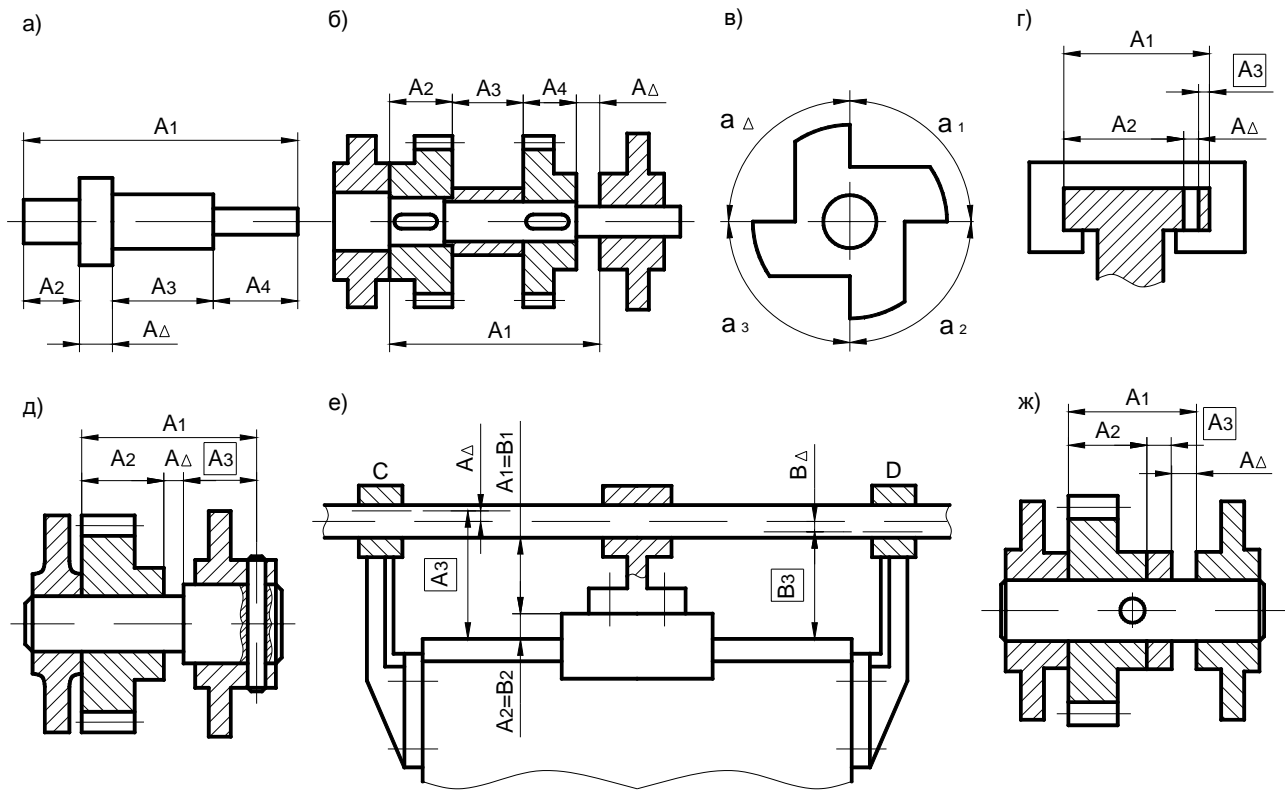


Рис. 3.3. Примеры обозначения звеньев размерной цепи

**Замыкающим звеном** размерной цепи называется размер, к которому предъявляются основные требования по точности детали или узла. Оно обозначается буквой с индексом  $\Delta$  ( $A_\Delta$ ,  $B_\Delta$  и т.д.). В процессе изготовления детали или сборки узла замыкающее звено формируется в последнюю очередь, замыкая размерную цепь.

**Составляющими звеньями** называются все звенья размерной цепи, исключая замыкающее.

**Увеличивающим звеном** называется звено, с увеличением которого замыкающее звено увеличивается. Над буквенным обозначением этого звена ставится стрелка, направленная вправо.

**Уменьшающим звеном** называется звено, с увеличением которого замыкающее звено уменьшается. Над буквенным обозначением этого звена ставится стрелка, направленная влево (рис. 3.4).

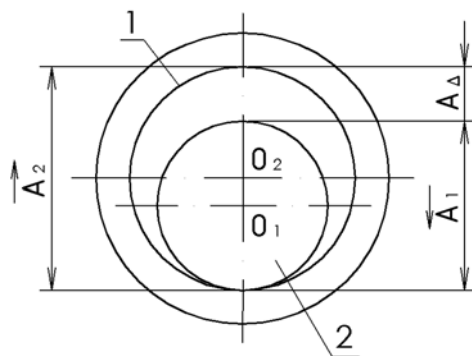


Рис. 3.4. Пример определения увеличивающего и уменьшающего звеньев:

1 – втулка; 2 – вал;  $A_\Delta$  – зазор;  $A_1$  – уменьшающее звено;

$A_2$  – увеличивающее звено

В сложных случаях для определения увеличивающих и уменьшающих звеньев рекомендуется следующий способ. Размерную схему (рис. 3.5) обходят по контуру в одном и том же направлении (любом). Направление обхода отмечают стрелками против каждого звена, включая и замыкающее. Звенья, направление которых совпадает с направлением замыкающего звена, относятся к уменьшающим, звенья с противоположным направлением – к увеличивающим.

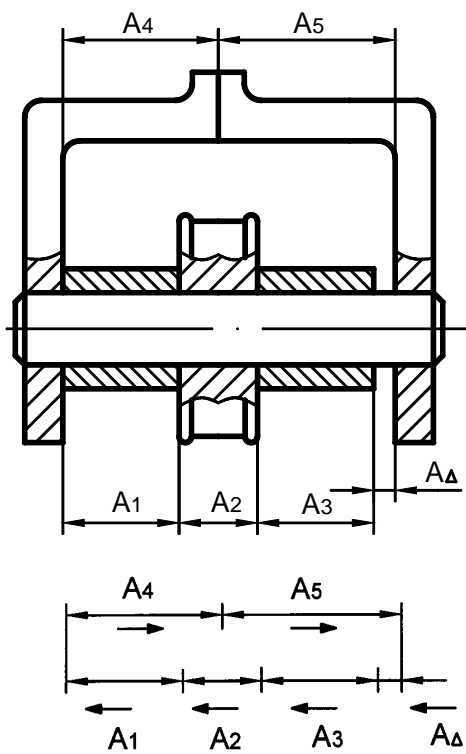


Рис. 3.5. Эскиз узла и схемы сборочной размерной цепи

**Компенсирующим звеном** называется звено, за счет изменения величины которого достигается необходимая величина замыкающего звена размерной цепи. Это звено обозначается буквой, заключенной в рамку:  $\boxed{A_3}$ ,  $\boxed{B_4}$  и т. д. Компенсирующие звенья бывают *неподвижные* (рис. 3.3 ж) и *подвижные* (рис. 3.3 д).

**Линейной размерной цепью** называется цепь, в которой все входящие в нее размеры параллельны и связаны между собой линейной зависимостью (рис. 3.3). Такие размерные цепи наиболее распространены.

**Параллельно связанные размерные цепи** имеют одно или несколько общих звеньев (рис. 3.3 е). Каждая последовательно связанная цепь имеет общую базу с предыдущей. Бывают *комбинированные* и *пространственные размерные цепи*.

**Угловой размерной цепью** называется цепь, звеньями которой являются только угловые величины (рис. 3.3 в).

**Решением размерной цепи** называется достижение требуемой точности замыкающего звена.

Основным свойством размерной цепи является ее замкнутость. Схемы размерных цепей составляются на основе сборочных чертежей и чертежей деталей.

Рассмотрим упрощенную методику решения линейных размерных цепей.

Из анализа схем линейных размерных цепей следует, что номинальный размер замыкающего звена размерной цепи равен алгебраической сумме номинальных размеров всех составляющих звеньев:

$$A_{\Delta} = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_{m-2} + A_{m-1} = \sum_{i=1}^{m-1} A_i ,$$

где  $m$  – общее количество всех звеньев размерной цепи.

Наименьшая и наибольшая величины замыкающего звена размерной цепи

$$A_{\Delta}^{\min} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{A}_i^{\min} - \sum_{i=n+1}^{m-1} \overleftarrow{A}_i^{\max} ; \tag{3.1}$$

$$A_{\Delta}^{\max} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{A}_i^{\max} - \sum_{i=n+1}^{m-1} \overleftarrow{A}_i^{\min} ,$$

где  $n$  – количество увеличивающих звеньев.

Следовательно, величина допуска замыкающего звена размерной цепи равна сумме допусков всех остальных звеньев:

$$\delta_{\Delta} = A_{\Delta}^{\max} - A_{\Delta}^{\min} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_{m-1} ; \tag{3.2}$$

$$\delta_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \delta_i .$$

Величина нижнего и верхнего предельных отклонений замыкающего звена размерной цепи

$$HA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{HA}_i - \sum_{i=n+1}^{m-1} \overleftarrow{BA}_i;$$

$$BA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{BA}_i - \sum_{i=n+1}^{m-1} \overleftarrow{HA}_i$$

Приведенные равенства используются при решении линейных размерных цепей.

### 3.2.2. Методы построения заданной точности замыкающего звена

Из равенства (3.2) видно, что для достижения заданной точности замыкающего звена конструктор может использовать два основных пути:

1) увеличивать точность (уменьшать допуски  $\delta_i$ ) каждого из составляющих звеньев размерной цепи;

2) уменьшать количество составляющих звеньев размерной цепи.

Второй путь, который называется *принципом наикратчайшего пути*, во многих случаях экономичнее и технологически целесообразнее, так как позволяет понизить класс точности, трудоемкость и стоимость изготовления взаимосвязанных деталей механизма.

При определении допусков путем расчета размерных цепей обычно решают одну из следующих задач:

1) по заданным допускам или предельным отклонениям всех составляющих звеньев цепи определяют допуск или отклонения замыкающего звена (*прямая задача*);

2) по заданному допуску или предельным отклонениям замыкающего звена цепи определяют наиболее рациональные значения допусков составляющих звеньев (*обратная задача*).

Существует 5 методов достижения заданной точности замыкающего звена:

а) метод полной взаимозаменяемости;

б) метод неполной (частичной) взаимозаменяемости;

в) метод групповой взаимозаменяемости (сборка подбором групп деталей);

г) метод пригонки;

д) метод регулировки.

**Метод полной взаимозаменяемости** обеспечивает достижение заданной точности замыкающего звена путем назначения таких допусков на все составляющие звенья размерной цепи, при которых сборка может осуществляться без подбора и пригонки всех взаимосвязанных размеров деталей или узлов, входящих в размерную цепь.

Область использования этого метода ограничивается экономическими соображениями и точностью имеющегося на предприятии оборудования и инструмента. В связи с этим способ полной взаимозаменяемости наиболее целесообразно использовать для малозвенных размерных цепей высокой точности или многозвенных цепей с относительно большим допуском замыкающего звена.

Рассмотрим решение линейной размерной цепи способом полной взаимозаменяемости.

При заданном допуске замыкающего звена  $\delta_{\Delta}$  определяют среднее арифметическое значение номинальных размеров звеньев и среднюю величину допуска:

$$A_{\text{cp}} = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_{m-1}}{m-1}; \quad (3.3)$$

$$\delta_{\text{cp}} = \frac{\delta_{\Delta}}{m-1}. \quad (3.4)$$

Пользуясь таблицами отклонений основных отверстий и валов, определяют класс точности, соответствующий  $A_{\text{cp}}$  и  $\delta_{\Delta}$ . Если в конкретных производственных условиях полученная расчетом величина  $\delta_{\Delta}$  и соответствующий класс точности экономически приемлемы, по таблицам находят стандартные допуски, соответствующие классу точности и номинальному размеру каждого звена цепи.

Правильность величин допусков составляющих размеров проверяют по формуле (3.2). После корректировки величин допусков выполняют контрольный расчет наибольшего и наименьшего размеров и допуска замыкающего звена по формулам (3.1) и (3.2) – проверочный расчет на максимум и минимум путем решения прямой задачи.

Проверенные величины номинальных размеров и предельных отклонений наносят на рабочие чертежи деталей.

**Пример 1.** На рис. 3.6 показана конструкция узла механизма и приведены два варианта простановки размеров на чертежах деталей и соответствующие им схемы размерных цепей. Простановка размеров по варианту А позволяет построить схему размерной цепи по принципу наикратчайшего пути, а вариант Б наглядно иллюстрирует, как непродуманная простановка размеров на чертежах увеличивает количество звеньев размерной цепи и необоснованно завышает требования к точности изготовления деталей.

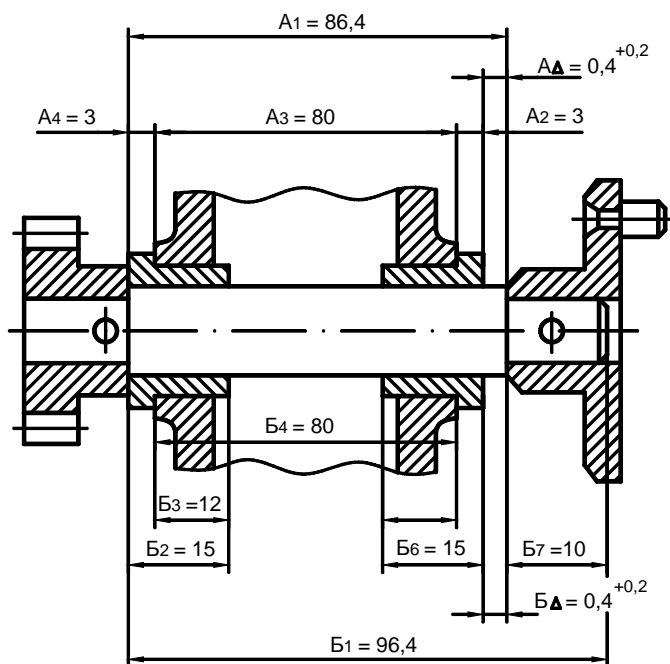


Рис. 3.6. Примеры схем размерных цепей

Используя формулы (3.3) и (3.4), по заданному допуску замыкающего звена  $\delta_{\Delta} = 0,2$  мм определяем качество точности составляющих звеньев размерных цепей.

Вариант А:

$$A_{cp} = 43,1 \text{ мм}; \delta_{\Delta A} = 0,05 \text{ мм.}$$



Вариант Б:

$$B_{\text{ср}} = 34,3 \text{ мм}; \delta_{\Delta\text{Б}} = 0,028 \text{ мм.}$$

По таблицам отклонений для системы отверстия находим, что допуск среднего номинального размера от 30 до 60 мм для варианта А соответствует 9-му качеству точности (отклонение 0,05 мм), а для варианта Б – 7-му качеству точности (отклонение 0,027 мм).

Следовательно, неверная простановка размеров на чертежах (без использования теории размерных цепей) привела к тому, что средняя величина допуска для варианта Б в 2 раза меньше, чем для варианта А.

Определим стандартные допуски для составляющих звеньев размерной цепи в случае варианта А. По 9-му качеству точности в соответствии с номинальными размерами звеньев имеем:

$$A_1 = 86,4 \text{ Н}9\left(\begin{smallmatrix} +0,087 \\ 0 \end{smallmatrix}\right); \quad A_3 = 3\text{е}9\left(\begin{smallmatrix} -0,014 \\ -0,039 \end{smallmatrix}\right);$$

$$A_3 = 80\text{е}9\left(\begin{smallmatrix} -0,06 \\ -0,134 \end{smallmatrix}\right); \quad A_4 = 3\text{е}9\left(\begin{smallmatrix} -0,014 \\ -0,039 \end{smallmatrix}\right).$$

Поле допуска для размера  $A_1$  взято как для увеличивающего звена, т.е. с плюсом.

Произведем контрольный расчет на максимум и минимум:

$$\delta_{\Delta} \leq \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 = 0,07 + 0,02 + 0,06 + 0,02 = 0,17 \text{ мм};$$

$$A_{\Delta}^{\text{max}} = A_1^{\text{max}} - (A_2^{\text{min}} + A_3^{\text{min}} + A_4^{\text{min}}) = 86,47 - 2,98 - 79,94 - 2,98 = 0,57 \text{ мм};$$

$$A_{\Delta}^{\text{min}} = A_1^{\text{min}} - (A_2^{\text{max}} + A_3^{\text{max}} + A_4^{\text{max}}) = 86,4 - 3 - 80 - 3 = 0,4 \text{ мм};$$

$$\delta_{\Delta} = A_{\Delta}^{\text{max}} - A_{\Delta}^{\text{min}} = 0,57 - 0,4 = 0,17 \text{ мм.}$$

Поскольку расчетное значение  $\delta_{\Delta}$  превышает заданное на 0,011 мм, то на эту величину необходимо уменьшить допуск на размер одной из деталей, – например,  $A_3$  как имеющий наибольшее поле допуска. В результате получим:

$$A_3 = 80\begin{smallmatrix} -0,06 \\ -0,123 \end{smallmatrix}.$$

В случае необходимости допуск наиболее трудновыполнимого размера цепи может быть увеличен на величину  $0,20 - 0,17 = 0,03$  мм без нарушения заданного условия  $\delta_{\Delta} \leq 0,2$  мм. Полученные величины предельных отклонений наносят на чертежи.

**Метод неполной взаимозаменяемости** основан на известном положении теории вероятностей, по которому возможность сочетания при сборке деталей с крайними значениями отклонений для всех составляющих звеньев встречается несравненно реже, чем со средними значениями отклонений.

Для определения допусков и класса точности звеньев размерной цепи методом неполной взаимозаменяемости используют методику и соображения, изложенные выше для метода полной взаимозаменяемости. При этом среднюю величину допуска составляющих звеньев вычисляют по формуле

$$\delta'_{\text{ср}} = \frac{\delta_{\Delta}}{t \sqrt{\lambda'_{\text{ср}} (m - 1)}}, \quad (3.5)$$

где  $\delta_{\Delta}$  – допуск замыкающего звена;

$t$  – коэффициент риска, определяющий процент изделий, у которых допуск замыкающего звена может выйти за установленные пределы ( $t$  выбрать из табл. 3.1);

$m$  – количество всех звеньев размерной цепи;

$\lambda'_{\text{ср}}$  – средний коэффициент, характеризующий закон распределения размеров звеньев цепи,  $\lambda'_{\text{ср}} = 1/3$  – при распределении размеров звена по закону равной вероятности (или когда закон распределения неизвестен);  $\lambda'_{\text{ср}} = 1/6$  – при распределении размеров по закону равнобедренного треугольника;  $\lambda'_{\text{ср}} = 1/9$  – при распределении размеров по нормальному закону Гаусса.

Таблица 3.1

Значения коэффициента риска  $t$

Риск, %	0,27	0,6	1	2	4	6	8	10	33
Коэффициент $t$	3	2,75	2,58	2,33	2,06	1,88	1,75	1,64	1

Наименьшее количество звеньев размерной цепи  $m$ , при котором формула (3.5) дает достаточную для практики точность, принимают в зависимости от величины  $\lambda'_{\text{ср}}$ . При  $\lambda'_{\text{ср}} = 1/3$   $m \geq 7$ ; при  $\lambda'_{\text{ср}} = 1/6$   $m \geq 5$ ; при  $\lambda'_{\text{ср}} = 1/9$   $m \geq 4$ . С увеличением количества звеньев размерной цепи  $m$  точность результатов расчетов по формуле (3.5) возрастает.

**Пример 2.** Даны:  $\delta_{\Delta} = 0,05$  мм;  $m = 7$ . Задаем величину риска 0,27%, которой соответствует  $t = 3$ . Полагаем, что  $\delta_{A1} = \delta_{A2} = \dots = \delta_{A6}$  и  $\lambda'_1 = \lambda'_2 = \dots = \lambda'_6 = \lambda'_{\text{ср}} = 1/3$ .

Средняя величина допуска составляющих звеньев при использовании метода полной взаимозаменяемости  $\delta_{\text{ср}} = 0,008$  мм.

При использовании метода неполной взаимозаменяемости из формулы (3.5)  $\delta'_{\text{ср}} = 0,012$  мм, т.е. в 1,5 раза больше.

Дополнительные затраты средств на исправление нескольких изделий с допуском замыкающего звена, вышедшим за установленные пределы, в большинстве случаев малы по сравнению с экономией средств, получаемой за счет значительного увеличения допусков составляющих звеньев размерной цепи (рис. 3.7).

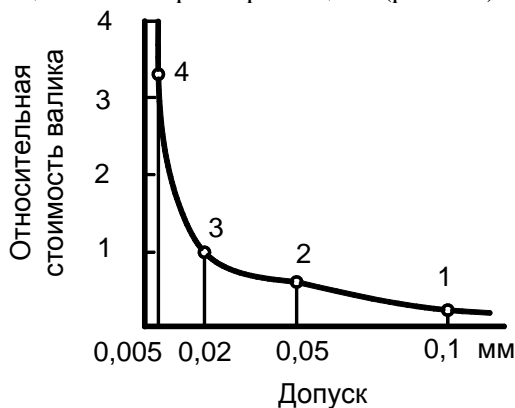


Рис. 3.7. Зависимость стоимости изделия от точности его изготовления

**Метод групповой взаимозаменяемости (сборка подбором групп деталей – селекционная сборка)** предполагает для достижения заданной точности замыкающего звена увеличение величины средне-

го допуска всех составляющих звеньев размерной цепи в  $n$  раз для того, чтобы получить экономически целесообразную величину производственного допуска  $\delta'_{cp} = \delta_{cp}n$ . Производственные допуски в виде предельных отклонений наносят на рабочие чертежи деталей.

Все детали, изготовленные с производственными допусками, подвергают точным измерениям и сортируют на  $n$  групп таким образом, чтобы в каждой из групп находились детали, отклонения размеров которых не выходят за пределы расчетного допуска  $\delta_{cp}$ . На рис. 3.8 показана схема сортировки сопрягаемых деталей по трем группам: 1, 2 и 3.

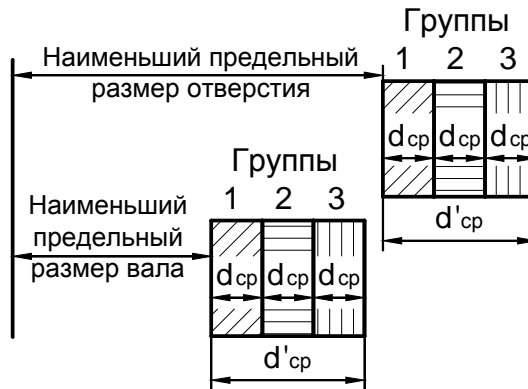


Рис. 3.8. Схема сортировки сопрягаемых деталей

Каждое изделие собирают из деталей, принадлежащих одной группе. При этом для обеспечения одинаковых средних зазоров  $z_{cp}$  или натягов  $N_{cp}$  при сборке каждой из  $n$  групп деталей необходимо, чтобы сумма допусков всех увеличивающих звеньев была равна сумме допусков всех уменьшающих звеньев:

$$\sum_{i=1}^k \delta_i = \sum_{i=k+1}^{m-1} \delta_i.$$

Обычно этот метод используется в условиях массового и крупносерийного производства для малозвенных размерных цепей при высокой точности замыкающего звена.

**Метод пригонки** заключается в том, что заданная точность замыкающего звена  $\delta_{\Delta}$  достигается при сборке изменением величины (пригонки) заранее намеченного так называемого *компенсирующего звена* размерной цепи. Он применяется в мелкосерийном и единичном производстве для многозвенных размерных цепей, когда возникает необходимость увеличить допуски составляющих звеньев до величин  $\delta'_1, \delta'_2, \delta'_3, \dots, \delta'_{m-1}$ , экономически приемлемых в данных производственных условиях.

Излишнюю величину отклонения замыкающего звена называют *величиной компенсации* и определяют по формуле

$$\delta_k = \delta'_{\Delta} - \delta_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \delta'_i - \delta_{\Delta}.$$

Слой материала толщиной  $\delta_k$  удаляют при сборке посредством изменения величины компенсирующего звена снятием соответствующего слоя материала вручную или механически.

**Метод регулировки** заключается в том, что заданная точность замыкающего звена  $\delta_{\Delta}$  достигается при сборке изменением величины заранее намеченного компенсирующего звена без снятия материала. Он осуществляется двумя способами:

1) изменением положения детали, которая при сборке перемещается на величину излишнего отклонения замыкающего звена, т.е. на величину компенсации  $\delta_k$ , и закрепляется в соответствующем положении, называемой *подвижным компенсатором*;

2) введением в размерную цепь специальной детали, называемой *неподвижным компенсатором*.

**Примеры.** На рис. 3.3 г, д показаны размерные цепи с компенсирующими регулируемыми звеньями  $A_3$ . Регулировка требуемого размера замыкающего звена  $A_{\Delta}$  (зазора) осуществляется при сборке перемещением клина (рис. 3.3 г) до закрепления его винтом или оси (рис. 3.3 д) до закрепления ее штифтом.

На рис. 3.3 е изображены *две параллельно связанные размерные цепи*, в которых точность замыкающих звеньев  $A_{\Delta}$  и  $B_{\Delta}$ , характеризующих отклонение осей опор С и D от требуемого положения, обеспечивается регулировкой компенсирующих звеньев  $A_3$  и  $B_3$  пу-

тем перемещения и закрепления кронштейнов С и D. Звенья  $A_1$  и  $A_2$  не регулируются.

На рис. 3.3 ж показан неподвижный компенсатор в виде кольца с размером  $A_3$ . Размер неподвижного компенсатора определяют после предварительной сборки изделия при помощи непосредственного измерения с таким расчетом, чтобы обеспечить требуемую величину допуска замыкающего звена. В серийном производстве обычно изготавливают несколько групп неподвижных компенсаторов, из которых после соответствующих измерений выбирают требуемый компенсатор.

Метод регулировки является наиболее эффективным для достижения высокой точности замыкающего звена, в особенности в многозвенных размерных цепях, поэтому он широко используется при серийном и массовом производстве точных механизмов.

Выбор наиболее целесообразного метода решения размерной цепи производится в зависимости от требуемой точности замыкающего звена, числа составляющих звеньев размерной цепи, конструкции прибора или машины, способа сборки и серийности производства с обязательным учетом технико-экономических и технологических требований в конкретных условиях производства.

## **4. РАСЧЕТ СИЛ ЗАЖИМА, ЗАЖИМНЫХ УСТРОЙСТВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ**

### **4.1. Расчет сил зажима**

Эффективность зажима в значительной степени зависит от направления и места приложения силы. При выборе ее направления необходимо учитывать приведенные ниже правила:

1. Сила зажима должна быть направлена перпендикулярно плоскостям установочных элементов, чтобы обеспечить контакт с опорами базовых поверхностей и исключить при зажиме сдвиг заготовки.

2. При базировании заготовки по нескольким базовым плоским поверхностям сила зажима должна быть направлена к тому установочному элементу, с которым заготовка имеет наибольшую площадь контакта.

3. Направление силы зажима, по возможности, должно совпадать с направлением силы обработки и силы тяжести заготовки (что облегчит работу зажимного устройства).

На практике редко можно выбрать направление силы зажима, удовлетворяющее всем этим правилам. Поэтому после анализа

имеющихся вариантов следует принять наиболее приемлемое (оптимальное) решение. При выборе рационального направления силы зажима необходимо вводить в силовую схему закрепления заготовки упоры, которые воспринимают действующие на заготовку силы обработки и способствуют уменьшению необходимых сил зажима.

При выборе места приложения сил зажима следует придерживаться приведенных ниже правил.

1. Сила зажима не должна приводить к опрокидыванию заготовки или ее сдвигу по установочным элементам. Для этого необходимо, чтобы точка приложения силы зажима проецировалась: 1) на установочный элемент (как можно ближе к его центру) или в треугольник, образованный линиями, соединяющими центры трех установочных элементов, расположенных в одной плоскости (как можно ближе к центру или в центре тяжести треугольника опор); 2) на участок поверхности заготовки, параллельный поверхности плоских установочных элементов, воспринимающих силу зажима.

2. Действие сил зажима и вызываемых ими реакций опор не должно приводить к созданию изгибающих моментов, которые отрицательно сказываются на точности обработки нежестких заготовок.

3. Точка приложения силы зажима должна быть как можно ближе к месту обработки, особенно для нежестких заготовок.

Расчет необходимой силы зажима  $W$ , когда сила обработки  $P_1$  направлена против зажимного устройства, а  $P_2$  стремится сдвинуть заготовку от установочного элемента 3 (рис. 4.1), производят с учетом следующих условий (без учета веса заготовки): сила зажима  $W$  должна: 1) обеспечивать надежный контакт заготовки с опорами 1 и 2; 2) предупреждать сдвиг заготовки в направлении действия силы  $P_2$ .

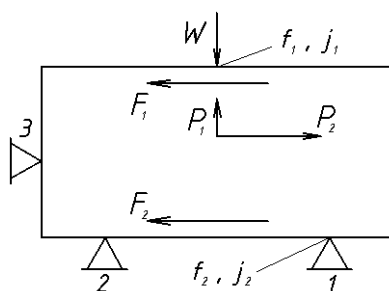


Рис. 4.1. Схема действия сил обработки и зажима при установке заготовки на плоскости

Следует рассмотреть также случай, когда силы обработки создают опрокидывающие моменты, а зажимные устройства противодействуют опрокидыванию заготовок в приспособлениях (рис. 4.2). Сила обработки  $P$  на плече  $l$  создает относительно точки  $O$  опрокидывающий момент  $M$ , сила зажима  $W$  на плече  $l_1$  – противодействующий опрокидыванию заготовки момент  $M_{пр}$ . Такая схема применяется при обработке заготовок (фрезерование пазов, протягивание и т.п.) в тисках. Расположение точки приложения силы  $W$  ниже центра опорной пластины 3 обеспечивает также надежный контакт заготовки с опорами 1 и 2. Условие равновесия в данном случае выражается уравнением (без учета возникающих на опорах 1, 2 сил трения)

$$kM = kP; \quad l = Wl_1,$$

откуда

$$W = kPl/l_1,$$

где  $k$  – коэффициент запаса прочности.

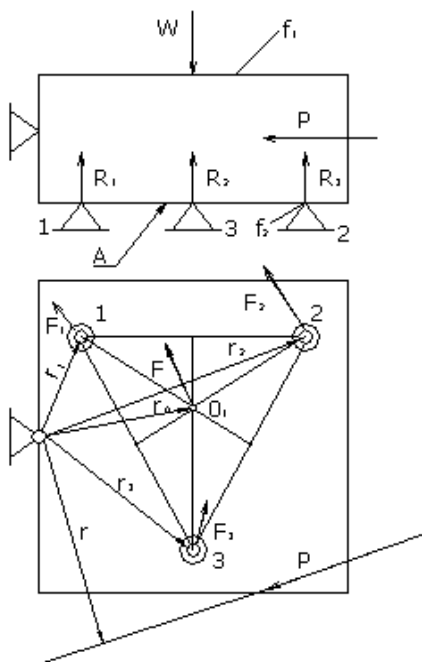


Рис. 4.2. Схема действия сил обработки и зажима, создающих опрокидывающие моменты при противодействии зажимных устройств опрокидыванию заготовок в приспособлениях



## 4.2. Расчет зажимных устройств

Зажимные устройства приспособлений разделяются на **простые (элементарные)** и **сложные (комбинированные)**, состоящие из нескольких простых. Простые зажимные устройства представляют собой элементарные механизмы (винтовые, клиновые, рычажные, эксцентриковые и т.п.), сложные состоят из комбинации простых, соединенных в определенном порядке. Любое зажимное устройство приспособления включает в себя ведущее звено, на которое действует исходная (приводная) сила, и ведомые звенья (зажимные элементы) в виде кулачков, прихватов, непосредственно зажимающие заготовки. В зависимости от числа ведомых звеньев зажимные устройства подразделяются на одно- и многозвенные. Многозвенные устройства закрепляют одновременно одну заготовку в нескольких местах или несколько заготовок в многоместном приспособлении.

В зависимости от источника привода зажимные устройства подразделяются на **ручные, механизированные** и **автоматизированные**. Ручные устройства приводятся в действие рабочим; механизированные работают от пневматических, гидравлических и других приводов, но управляются (включение, выключение) рабочим; автоматизированные приводятся в действие и управляются без участия рабочего.

При проектировании приспособлений необходимо по требуемой зажимной силе  $W$  определить основные размеры зажимного устройства и исходную силу (момент) для приведения устройства в действие. Эти задачи решаются с помощью расчетов элементарных зажимных устройств.

**Винтовые зажимные устройства** (рис. 4.3) применяются в приспособлениях с ручным закреплением заготовок, в механизированных приспособлениях и на автоматических линиях в приспособлениях-спутниках. Они просты и надежны в работе.

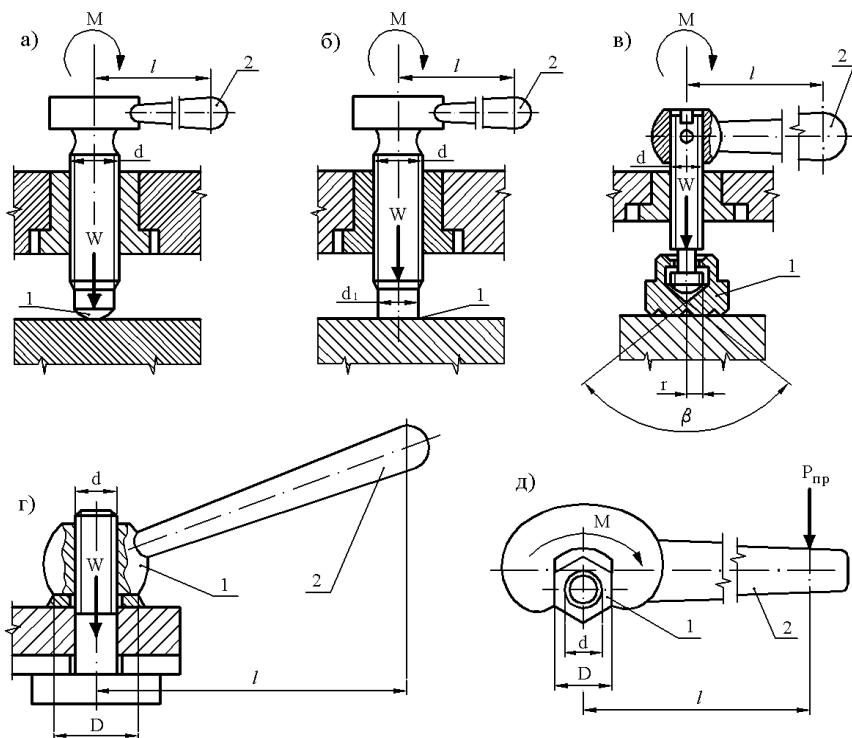


Рис. 4.3. Винтовые зажимные устройства:

а – нажимной винт со сферическим торцом 1 и рукояткой 2; б – нажимной винт с плоским торцом 1 и рукояткой 2; в – зажимной винт с башмаком (бугелем) 1 и рукояткой 2; г – нажимная гайка 1 круглой формы с рукояткой 3; д – нажимная гайка 1 шестигранной формы с ключом 2

Расчет винтовых зажимных устройств проводится в следующей последовательности.

Определяется номинальный (наружный) диаметр резьбы винта  $d$  (рис. 4.3) по формуле

$$d = C\sqrt{W/[\sigma]},$$

где  $C$  – коэффициент для основной метрической резьбы  $C = 1,4$ ;

$W$  – требуемая сила зажима, Н;

$[\delta]$  – допускаемое напряжение растяжения (сжатия), для винтов из стали 45 с учетом износа резьбы  $[\delta] = 80 \dots 100$  МПа.

Полученное значение  $d$  округляется до ближайшего большего стандартного значения. Обычно в приспособлениях применяются резьбы от М6 до М48.

Далее определяется момент  $M$ , который нужно развить на винте (гайке) для обеспечения заданной зажимной силы  $W$ :

$$M = r_{\text{cp}} W \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + M_{\text{тр}},$$

где  $r_{\text{cp}}$  – средний радиус резьбы,  $r_{\text{cp}} = 0,45d$ ;

$\alpha$  – угол подъема резьбы, для резьб М8...М52  $\alpha = 3^\circ 10' \dots 1^\circ 51'$ ;

$\varphi$  – угол трения в резьбе;

$M_{\text{тр}}$  – момент трения на опорном торце гайки (рис. 4.3 г, д) или в месте контакта торца нажимного винта (рис. 4.3 а, б, в),

$$M_{\text{тр}} = W f r_{\text{пр}},$$

где  $r_{\text{пр}}$  – приведенный радиус кольцевого торца, для гаек

$$r_{\text{пр}} = [(D^3 - d^3)/(D^2 - d^2)]/3,$$

где  $D$  – наружный диаметр кольцевого торца гайки.

При средних значениях  $\alpha = 2^\circ 30'$ ;  $\varphi = 10^\circ 30'$ ;  $D = 1,7d$ ;  $f = 0,15$  можно пользоваться приближенным расчетом  $M$  для гаек и звездочек по формуле

$$M = 0,2dW.$$

Момент открепления винтового зажимного устройства при  $\varphi' > \alpha$

$$M' = r_{\text{cp}} W \operatorname{tg}(\varphi' - \alpha) + M_{\text{тр}}.$$

Поскольку при откреплении преодолевается трение покоя,  $\varphi'$  и  $f_1$  (коэффициент трения в резьбе) следует брать на 30...50 % большими, чем в случае закрепления заготовки. С учетом этого и после всех преобразований можно получить приближенную формулу для момента открепления:

$$M' = 0,25dW.$$

При расчете винтовых устройств с нажимными винтами можно использовать приведенные ниже приближенные формулы расчета момента закрепления:

для нажимных винтов, показанных на рис. 4.3 а:

$$M \approx 0,1 dW;$$

для нажимных винтов с плоским торцом (рис. 4.3 б):

$$M = 0,1 dW + fWd_1 / 3;$$

для нажимных винтов с башмаком (рис. 4.3 в):

$$M = 0,1 dW + rf \operatorname{ctg}(\beta/2)W$$

или при  $\beta = 118^\circ, f = 0,16$

$$M = 0,1W(d + r).$$

Затем выявляется длина рукоятки (ключа)  $l$  по заданной силе воздействия (при ручном зажиме  $P_{\text{пр}} \leq 150$  Н) из условия равновесия гайки (винта):

$$P_{\text{пр}} l = M'.$$

Отсюда

$$l = M' / P_{\text{пр}}.$$

Расчетное значение  $l$  учитывается при выборе ручного зажимного устройства по табл. 2.1, при этом принимается  $l = d/2$ .

Если длина рукоятки известна, из условий равновесия находится  $P_{\text{пр}}$  и сравнивается с силой, прикладываемой рабочим или развиваемой механическим приводом:

$$P_{\text{пр}} = M'/l,$$

### 4.3. Прочность деталей приспособлений

**Прочность** – одно из основных требований, предъявляемых к деталям и приспособлениям в целом. Прочность деталей может рассматриваться по коэффициентам запаса или по номинальным до-

пускаемым напряжениям. Расчеты по номинальным допускаемым напряжениям менее точны и прогрессивны, но значительно проще. Допускаемые напряжения наиболее распространенных материалов, используемых для изготовления деталей (элементов) приспособлений, приведены в табл. П27 ... П30 в литературном источнике [7].

С помощью расчета деталей (элементов) приспособлений на прочность можно решать две задачи:

1) проверку на прочность уже существующих деталей с определенными размерами сечений путем сравнения фактических напряжений (моментов, сил) с допускаемыми (проверочный расчет);

2) определение размеров сечений деталей (предварительный проектный расчет).

Расчеты на прочность (на кручение) зажимных устройств с целью определения их размеров можно производить по формуле:

на изгиб (детали круглого сечения)

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{êç}}}{0,1[\sigma_{\text{êç}}]}}$$

на изгиб (детали кольцевого сечения)

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{êç}}}{0,1(1 - k_0^4)[\sigma_{\text{êç}}]}}$$

на кручение

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{êð}}}{0,2[\tau_{\text{êð}}]}}$$

на изгиб с кручением (детали круглого сечения)

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{ýêâ}}}{0,1(1 - k_0^4)[\sigma_{\text{êç}}]}}$$

где  $M_{\text{кр}}$  – крутящий момент, Н · мм;

$k_0 = d_0/d$  – отношение внутреннего диаметра вала (оси)  $d_0$  к наружному  $d$ ;

$[\sigma_{\text{из}}]$  – допускаемое напряжение при изгибе, МПа;

$\dot{I}_{\text{экв}} = \sqrt{\dot{I}_{\text{эс}}^2 + \dot{I}_{\text{эд}}^2}$  – эквивалентный момент, Н · мм;

$[\tau_{\text{кр}}]$  – допускаемое напряжение при кручении, МПа.

При нагружении соединения силами в плоскости (по поверхности) стыка деталей и в случаях установки штифта (винта) без зазора и работы на срез проверочный расчет штифта (винта) может осуществляться по формуле

$$\tau_{\text{ср}} = 4P/(\pi d^2 i) \leq [\tau_{\text{ср}}],$$

где  $P$  – срезающая сила, включающая в себя силу зажима и силу резания;

$d$  – диаметр штифта (стержня винта), мм;

$i$  – число стыков (количество штифтов или винтов) в соединении;

$[\tau_{\text{ср}}]$  – допускаемое напряжение среза, МПа.

Расчет на прочность шпоночных и шлицевых соединений заключается в сравнении фактически передаваемого крутящего момента с допускаемым моментом из условий прочности шпонок (шлиц).

Расчет на прочность шпоночных соединений производится по формулам:

на смятие:

для призматических шпонок

$$M_{\text{кр}} \leq 0,25Dhl [(\sigma_{\text{см}})];$$

для сегментных шпонок

$$\dot{I}_{\text{эд}} \leq 0,5\dot{E}_{\phi} l [(\sigma_{\text{нл}})];$$

на срез:

для призматических и сегментных шпонок

$$\dot{I}_{\text{эд}} \leq 0,5Dbhl [(\tau_{\text{нл}})],$$

где  $M_{кр}$  – крутящий момент, Н · мм;  
 $D$  – наружный диаметр вала, мм;  
 $h$  – высота призматической шпонки, мм;  
 $K_{ш}$  – размер выступающей из паза части сегментной шпонки, мм;  
 $l$  – рабочая длина шпонки, мм;  
 $[\sigma_{см}]$  – допустимые напряжения смятия, МПа.

## 5. ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ В КУРСОВОМ ПРОЕКТЕ

### 5.1. Общая часть

**Задание:** спроектировать приспособление к специальному двухшпиндельному станку для одновременного сверления отверстий  $\varnothing 6$  и  $\varnothing 10,5$  в ступенчатом вале по чертежу (рис. 5.1). Остальные поверхности вала обработаны в размеры по чертежу.

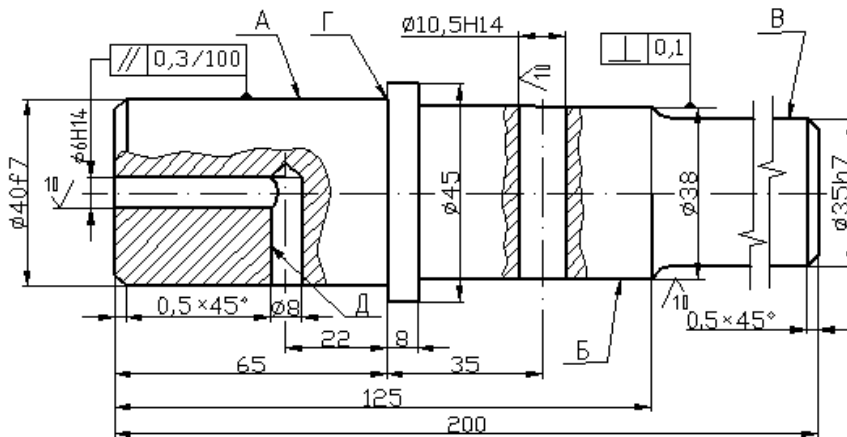


Рис. 5.1. Чертеж ступенчатого вала

**Исходные данные:** годовой объем выпуска деталей  $N = 120\,000$  шт. Производство крупносерийное. Работа односменная. Принятый режим сверления отверстий:

а)  $\varnothing 6$ :  $s_{01} = 0,18$  мм/об;  $n_1 = 540$  об/мин (при этом  $v_t = 10$  м/мин;  $s_{M1} = 97$  мм/мин;  $P_1 = 1130$  Н;  $M_1 = 3450$  Н · мм);

б)  $\varnothing 10,5$ :  $S_{02} = 0,3$  мм/об;  $n_2 = 310$  об/мин (при этом  $v_2 = 10,2$  м/мин;  $s_{M2} = 93$  мм/мин;  $P_2 = 3070$  Н;  $M_2 = 1460$  Н · м).

Расчетное основное (технологическое) время сверления  $t_0 = 45$  мин; масса детали  $m \approx 1$  кг. Материал детали – сталь 20Х ( $\sigma_B = 750$  МПа; НВ 180). Неуказанные предельные отклонения размеров: отверстий – по Н14, валов – по h14, остальных – IT14/2; отклонения от соосности поверхностей А, Б и В – не более 0,1 мм.

## 5.2. Принятие решений

### 5.2.1. Анализ обрабатываемой заготовки, выбор элементов приспособления и его схемы

Из рассмотрения чертежа детали (рис. 5.1) следует, что обрабатываемые отверстия  $\varnothing 6$  и  $\varnothing 10,5$  выполняются по 14-му качеству точности (Н14). Точность диаметральных размеров обеспечивается инструментами (сверлами), точность положения осей отверстий  $\varnothing 6$  и  $\varnothing 10,5$  относительно осей цилиндрических поверхностей А и Б и торца Г – базированием заготовки и точностью положения направляющих элементов для сверл относительно установочных элементов приспособления. Точность положения отверстия  $\varnothing 10,5$  относительно отверстия  $\varnothing 8$  (поверхность Д) должна обеспечиваться положением установочного элемента, базирующего заготовку по поверхности Д, и направляющего элемента инструмента (сверла).

Из анализа заготовки видно, что для установки ее в приспособление за базы следует принять поверхности А, В, Г, Д. В качестве установочных элементов для базирования заготовки целесообразно использовать:

1) две призмы – базирование по цилиндрическим поверхностям А и В;

2) торец призмы, в которую вал устанавливается цилиндрической поверхностью А – базирование в осевом направлении по торцу буртика вала (поверхность Г);

3) плавающий конический срезанный ромбический палец-фиксатор – базирование по поверхности Д отверстия  $\varnothing 8$ .

В случае обработки деталей пакетами (столбиками) в качестве  $N$  принимается количество пакетов.



Для уменьшения числа зажимных элементов целесообразно зажимать заготовку по верху поверхности Б одним вилкообразным прихватом (рычагом). В качестве направляющих элементов для сверл принимаются кондукторные втулки.

### 5.2.2. Схема базирования, закрепления и обработки заготовки

Схема базирования, закрепления и обработки заготовки изображена на рис. 5.2. Заготовка 9 размещается в призмах 1 и 2 с упором поверхностью Г бурта в торец призмы 2. Плавающий конический палец 3 под действием пружины входит в отверстие  $\varnothing 8$  и исключает поворот заготовки 9 относительно оси. Для направления сверла 4 служит горизонтальная кондукторная втулка 5 (6F7), сверла 6 – вертикальная втулка 7 (10,5F7). В качестве зажимного элемента использован вилкообразный прихват 8.

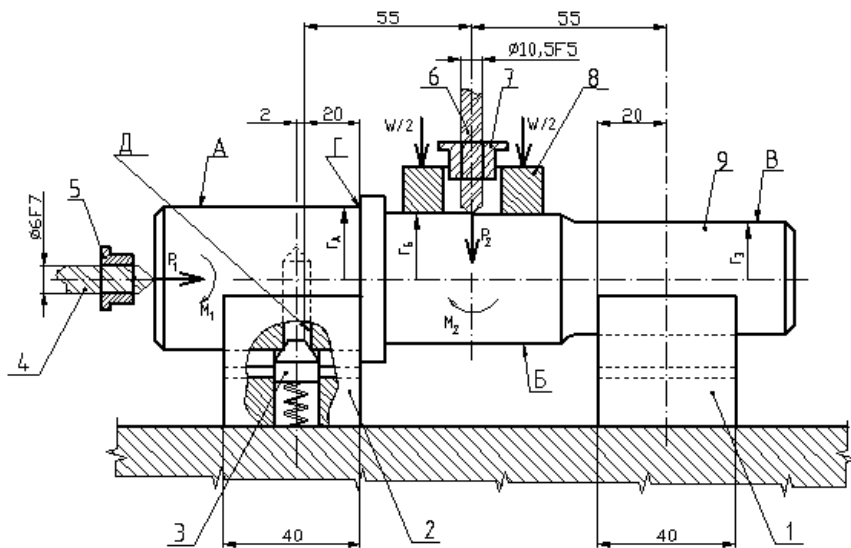


Рис. 5.2. Схема базирования, закрепления и обработки заготовки

### 5.2.3. Схема приспособления

В соответствии с заданием принимается схема одноместного однопозиционного приспособления.

Конструкция зажимного устройства выбирается из соотношения такта выпуска  $T_B$  и штучного времени на обработку. Такт выпуска при годовом объеме деталей  $N = 120\ 000$  шт. и действительном годовом фонде времени работы станка в одну смену  $F_d = 2014$  ч [14] будет

$$T_B = 60F_d/N = 60 \cdot 2014 / 120\ 000 \approx 1 \text{ мин.}$$

В случае обработки деталей пакетами (столбиками) в качестве  $N$  принимается количество пакетов.

Коэффициент загрузки оборудования в крупносерийном и массовом производствах рекомендуется принимать в пределах  $k_3 = 0,65 \dots 0,75$  [14].

Штучное время при использовании на данной операции одного станка можно определить из формулы коэффициента загрузки

$$k_3 = t_{\text{шт}}/t_B.$$

Отсюда

$$t_{\text{шт}} = k_3 \cdot T_B = 0,75 \cdot 1 = 0,75 \text{ мин.}$$

В свою очередь, штучное время в проектных расчетах можно определить по формуле

$$t_{\text{шт}} = (t_o + t_b) (1 + \alpha/100),$$

где  $t_o$  – основное технологическое время (в соответствии с условиями  $t_a = 0,45$  мин);

$t_b$  – вспомогательное время, мин;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий потери времени на техническое и организационное обслуживание и регламентированные перерывы  $t_{тo}$ ,  $t_{oо}$  и  $t_n$  ( $\alpha = 6 \dots 10$ ), принимается  $\alpha = 10$  %.

При обработке деталей пакетами

$$t_o = n \cdot l/v,$$

где  $l$  – длина пакета;

$v$  – скорость резания;

$n$  – количество проходов инструмента.

Из приведенной формулы определяется  $t_B$ :

$$t_B(1 + \alpha/100) = t_{шт} - t_0 (1 + a/100);$$

$$t_B = (t_{шт} - 1,1t_0)/1,1 = (0,75 - 1,1 \cdot 0,45)/1,1 = 0,23 \text{ мин.}$$

Таким образом, выявлено, что фактическое значение  $t_B$  не должно превышать в описанных условиях 0,23 мин.

Принимается решение: на приспособление для обеспечения быстрой заготовки установить круглый стандартный эксцентрик – простой и дешевый в изготовлении, удобный и достаточно надежный в эксплуатации: с его помощью можно закрепить (или открепить) заготовку массой до 1 кг. Зажим-отжим осуществляется вручную поворотом рукоятки эксцентрика. Время закрепления равно 0,04 мин (табл. 2.2), что при времени на установку и снятие 0,039 мин [15] обеспечит вспомогательное время  $t_B = 0,16$  мин. Полученное значение меньше допустимого ( $t_B = 0,23$  мин), значит, выбранный зажим обеспечит нужную производительность оборудования и быстроту приспособления. Коэффициент загрузки станка составит

$$k_3 = t_{шт} / T_B = (0,45 + 0,16)1,1/1 = 0,671,$$

что также приемлемо в условиях крупносерийного производства.

Таким образом, для обеспечения требуемой производительности станка выбрано комбинированное зажимное устройство, состоящее из двух элементарных устройств – рычажного и эксцентрикового. Корпусом приспособления может служить плита прямоугольного типа.

### **5.3. Выбор схемы и параметров для расчета точности**

#### **5.3.1. Разработка схемы приспособления**

Схема приспособления изображена на рис. 5.3. Первой в двух проекциях изображается заготовка 11, которая в дальнейшем считается прозрачной и не препятствующей обзору элементов приспособления. Затем вокруг заготовки вычерчиваются установочные элементы – призма 10 с плавающим пальцем 9 и призма 8, зажим-

ное устройство – прихват 7 со шпилькой и пружиной, эксцентрик 6 с осью и приводная рукоятка 5; элементы для направления инструмента – кондукторные втулки 3 и 4 с кронштейном 2, содержащим плиту для вертикальной кондукторной втулки, корпус 1 со стойкой-плитой для горизонтальной кондукторной втулки.

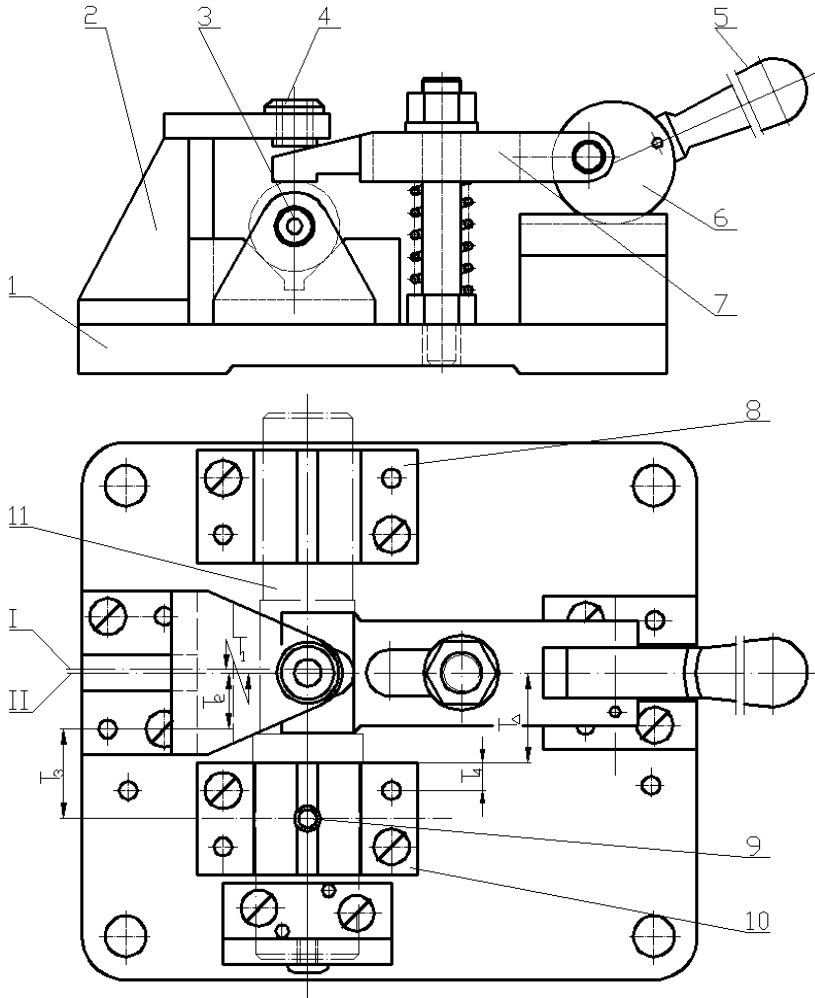


Рис. 5.3. Схема приспособления:  
 I – посадочная ось цилиндрической поверхности втулки;  
 II – ось рабочей поверхности (отверстия) втулки

### 5.3.2. Выбор расчетных параметров

В соответствии с чертежом вала и требованиями к точности обработки детали (рис. 5.1) для расчета приспособления на точность изготовления можно выбрать несколько расчетных параметров:

1) для обеспечения размера  $35 \pm 0,31$  от обрабатываемого отверстия  $\varnothing 10,5$  до поверхности Г – допуск расстояния от оси кондукторной втулки 4 (рис. 5.3) до опорного торца призмы 10;

2) для обеспечения заданного допуска перпендикулярности отверстия  $\varnothing 10,5$  к оси поверхности Б (см. рис. 5.1) в пределах 0,1 мм – отклонение от перпендикулярности оси рабочей (внутренней) поверхности кондукторной втулки 4 (см. рис. 5.3) к горизонтальным осям призм 8 и 10, которые, в свою очередь, должны быть параллельны нижней плоскости корпуса 1;

3) для обеспечения положения обрабатываемого отверстия  $\varnothing 10,5$  относительно отверстия  $\varnothing 8$  (см. рис. 5.1) – допустимое отклонение угла относительного положения осей кондукторной втулки 4 (рис. 5.3) и плавающего конического срезанного (ромбического) пальца 9 (см. рис. 5.2, п. 3);

4) для обеспечения допуска смещения оси отверстия  $\varnothing 10,5$  от оси цилиндрической поверхности Б (см. рис. 5.1), значение которого – 0,215 мм (указано в ТУ на деталь), – допуск смещения оси кондукторной втулки 4 (см. рис. 5.3) от общей оси призм 8 и 10 при виде сверху (сбоку со стороны торцов призм).

Подобным образом можно выбрать параметр приспособления для обеспечения заданного отклонения от соосности обрабатываемого отверстия  $\varnothing 6$  поверхности А детали (см. рис. 5.1).

### 5.4. Расчет приспособления на точность

Определение допусков размеров деталей осуществляется решением прямой задачи при расчете нанесенной на рис. 5.3 размерной цепи Т (для размера 35 мм). Замыкающим звеном в данном случае является размер  $T_{\Delta}$  с рассчитанным допуском  $\delta_{T_{\Delta}} = \pm 0,188$  мм, связывающий ось кондукторной втулки 4 и торец призмы 10. Размер  $T_1$  связывает оси внутренней рабочей и наружной посадочной цилиндрических поверхностей втулки 4. Размер  $T_2$  соединяет оси отверстий под втулку 4 и под штифт кронштейна 2. Размер  $T_3$  связывает

оси отверстий под штифты корпуса 1, определяющие положения кронштейна 2 и призмы 10; размер  $T_4$  – ось отверстия под штифт и рабочий торец призмы 10.

### 5.5. Расчет приспособления на прочность

Наиболее нагруженным элементом приспособления можно считать шпильку, которая является опорой прихвата (рычага) и на которую действует растягивающая сила, равная  $2W$  (рис. 5.4). Шпилька работает на растяжение. Ее опасным сечением является внутренний диаметр резьбы  $d'$ , который определяется по формуле

$$d' = C \sqrt{2W / [\sigma_p]},$$

где  $C$  – коэффициент, для метрических резьб  $C = 1,4$ ;

$[\sigma_p]$  – допускаемое напряжение при растяжении (по табл. П28 [7]) для улучшенной стали 45 при пульсирующей нагрузке  $[\sigma_p] = 155$  МПа);

$W$  – сила зажима.

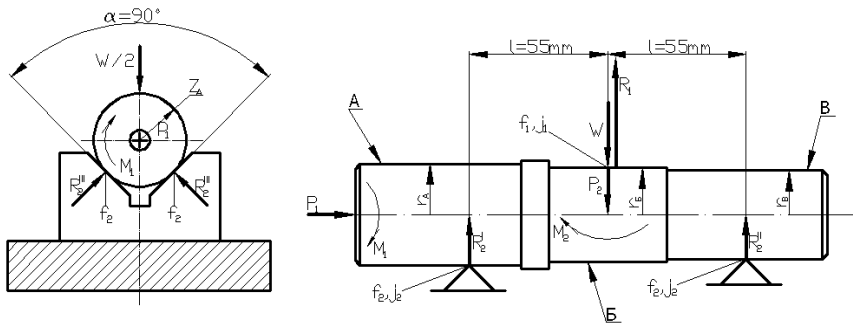


Рис. 5.4. Схема для расчета необходимой силы зажима  $W$ :

а – вид заготовки спереди; б – вид слева ( $R_2' = R_2'' = R_2 = R_1 / 2$ ;  $R_2''' = R_2 / (2 \sin^2 \alpha)$ )

После подстановки значений в формулу определяется внутренний диаметр резьбы

$$d' = 1,4 \sqrt{2 \cdot 5571 / 155} = 11,87 \text{ мм},$$

где 5571 Н – ранее определенное значение W.

По ГОСТ 22043-76 принимается шпилька М16 х 120 из улучшенной стали 45 с внутренним диаметром резьбы  $d' = 13,835$  мм.

## **5.6. Разработка документации**

### **5.6.1. Сборочный чертеж приспособления и его рабочих поверхностей**

В результате приведенных расчетов создается сборочный чертеж приспособления, оформленный в соответствии с изложенными выше требованиями (размеры, посадки, данные расчетов, нумерация и т.д.) и рабочие чертежи основных деталей (рис. 5.5). Сборочному чертежу присваивается обозначение КПО1.000.000СБ.

### **5.6.2. Спецификация приспособления**

К разработанному приспособлению (см. рис. 5.5) в соответствии с требованиями ГОСТа и настоящего пособия составляется спецификация.

### **5.6.3. Технические условия**

ТУ на изготовление и эксплуатацию разработанного приспособления (КПО01 000.000ТУ) составляются из следующих пунктов:

1. Допускается отклонение от перпендикулярности оси отверстия  $\varnothing 10,5$  F7 кондукторной втулки 19 к оси призм 21 и 22 – 0,02/100 мм.

2. Допускается отклонение от параллельности осей отверстия  $\varnothing 6$  F7 кондукторной втулки 16 и призм 21 и 22 – 0,05/100 мм.

3. Растачивание отверстий в кронштейне 2 и стойке 3 под кондукторные втулки 19 и 18 производится на приспособлении в собранном виде с допусками размеров по чертежу, уменьшенными на допуск соосности втулок ( $\pm 0,005$ ).

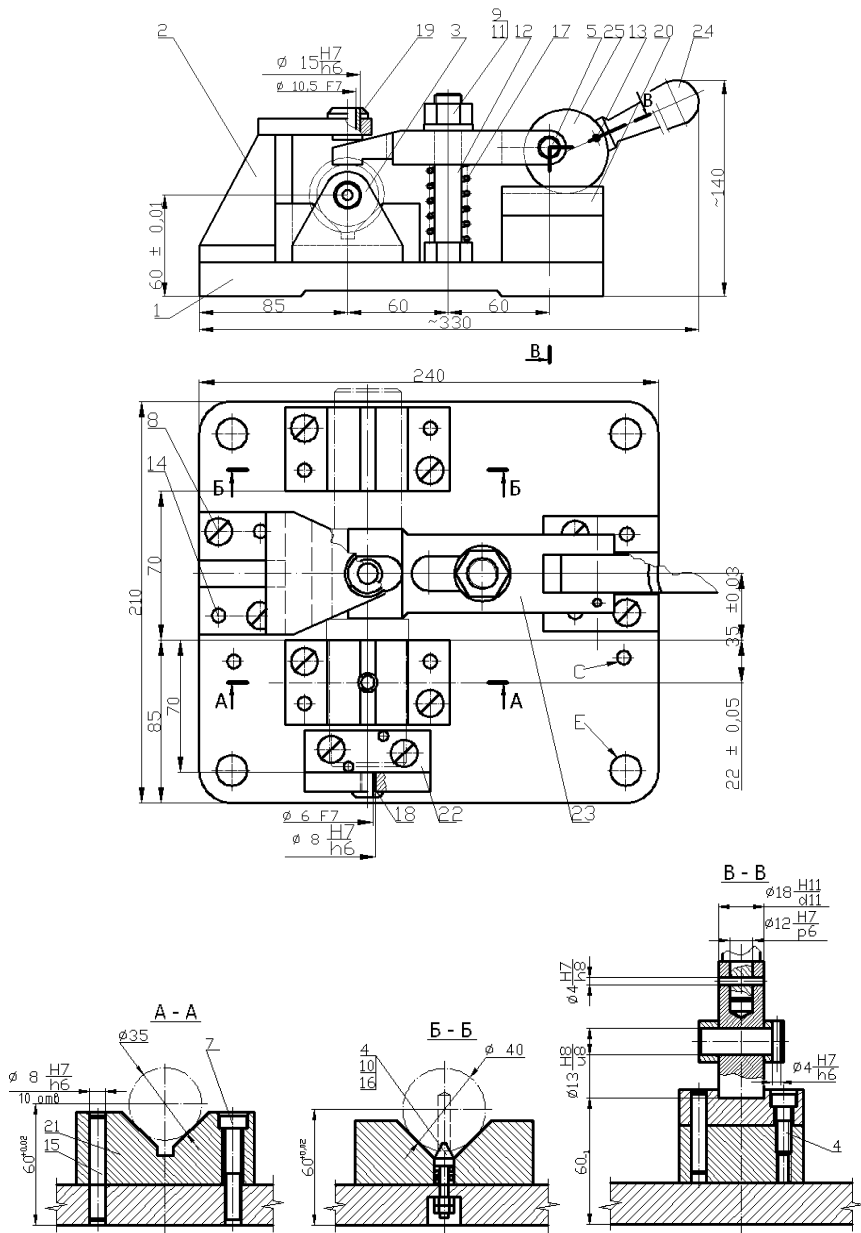


Рис. 5.5. Чертеж спроектированного приспособления для сверления отверстий в деталях типа валов



4. Окончательная отладка приспособления выполняется после обработки пробных заготовок. При отладке между корпусом 1 и призмами 21 и 22 допускается ставить прокладки из медной фольги толщиной до 0,2 мм.

5. Контроль точности приспособления по обеспечению положения обработанных отверстий на заготовке производится через каждые 2,5 месяца эксплуатации.

6. Приспособление необходимо красить эмалью ПФ-133 фишашкового цвета (ГОСТ 926-82) по глифталевым и фенольным грунтовкам методом пневмораспыления.

7. В период хранения приспособления поверхности без лакокрасочного покрытия следует смазывать солидолом синтетическим марки С по ГОСТ 4366-76 или солидолом жировым марки Ж по ГОСТ 1033-79.

#### **5.6.4. Описание работы приспособления**

Приспособление устанавливается на столе специального сверлильного станка нижней плоскостью корпуса 1 (рис. 5.5), фиксируется за счет штифтовки по двум отверстиям С и закрепляется болтами, проходящими через четыре сквозных отверстия Е в корпусе 1 и столе станка.

В исходном положении рукоятка 24 поднята вверх и вся система комбинированного зажимного устройства (прихват 23, эксцентрик 25) отведена вправо. При этом прихват не мешает установке заготовки в приспособление.

Заготовка устанавливается в призмы 21 и 22 с упором торцовой поверхности буртика во внутренний торец призмы 22 и доворачивается вокруг оси до совпадения радиального отверстия  $\varnothing 8$  заготовки (см. рис. 5.1) с коническим пальцем 4 (см. рис. 5.5), который при этом западает в отверстие под действием пружины 16 и фиксирует положение заготовки к отверстию  $\varnothing 8$ . После этого система зажимного устройства перемещается в сторону заготовки (влево) до упора правой стороны продольного паза прихвата 23 в шпильку 12. В результате прихват 29 зависает над заготовкой, и при повороте рукоятки 24 вправо вниз заготовка зажимается. Затем через кондукторные втулки 18 и 19 осуществляется сверление отверстий.

После окончания обработки и отвода сверл рукоятка поднимается вверх; заготовка открепляется. Система зажимного устройства отводится вправо. Обработанная заготовка вынимается из приспособления, которое загружается новой заготовкой. Цикл повторяется.

Все этапы проектирования, полного расчета и описания работы приспособления отражаются в пояснительной записке проекта.

## **6. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ**

### **6.1. Расчет режимов резания при обработке на токарных станках**

Для черногового наружного точения по величине общего припуска на обработку (например, 5,0 мм на сторону) с учетом необходимости оставления припуска на чистовую обработку (например, 0,75 мм) устанавливается глубина резания  $t$  (например,  $t = 4,25$  мм).

Учитывая материал, диаметр  $D$  детали, размер державки резца и глубину резания  $t$ , по карте 1 [16] определяют рекомендуемый диапазон подачи  $s$  и принимают ее среднее значение. Выбранная таким образом подача сопоставляется с паспортными данными станка, на котором будет проводиться черновое точение, и для работы назначается ближайшее ее значение по этому паспорту.

В случае чистового точения подача  $s$  назначается по карте 3 [16] для заданного класса чистоты. При этом принимается  $v < 50$  м/мин;  $r = 0,5$  мм.

С учетом предела прочности материала детали при растяжении  $\sigma_a$ , глубины резания  $t$ , подачи  $s$  и главного угла в плане  $\varphi$  резца по карте 6 [16] определяется скорость резания  $v$ .

По выражению

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi D}, \text{ об/мин,}$$

рассчитывается число оборотов шпинделя станка в мин.

Полученная величина  $n$  корректируется по паспорту выбранного станка. При этом для работы принимается число оборотов в сторону

уменьшения расчетного значения  $n$ .

После корректировки  $n$  по формуле

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/мин,}$$

находят фактическую скорость резания.

Используя значения  $\sigma_{\hat{a}}$ ,  $t$ ,  $s$  и  $v$ , по карте 7 [16] определяют мощность, необходимую на резание. Она сопоставляется с мощностью на шпинделе по приводу станка при его работе с числом оборотов шпинделя  $n$  (по паспорту на станок). Если мощность на шпинделе больше определенной по карте 7, установленный режим резания по мощности осуществим; в противном случае необходимо выбрать более мощный станок и повторить расчеты. Если же выбранная по карте 7 мощность существенно меньше мощности на шпинделе по приводу станка, следует назначать станок с меньшей мощностью. (Мощность на шпинделе по приводу станка составляет в среднем 0,8 мощности электродвигателя).

Затем определяется основное (технологическое) время на черновое точение по формуле

$$t_o = \frac{l + l_1 + l_2}{ns} i, \text{ мин,}$$

где  $l$  – длина обрабатываемой поверхности, мм;

$l_1$  – длина врезания и перебега резца в мм, определяется по прил. 4 (лист 1) [16] с учетом известных значений глубины резания  $t$  и угла резца в плане  $\varphi$ ;

$l_2$  – дополнительная длина на взятие пробной стружки, мм;

$i$  – число проходов.

Наличие параметра  $l_2$  в формуле для расчета  $t_o$  обусловлено тем, что при настройке станка на получение детали нужного диаметра токарь первоначально протачивает заготовку на небольшую длину ( $l_2 = 3 - 4$  мм), измеряет диаметр проточенного участка и по лимбу суппорта станка смещает резец в сторону оси его шпинделя на величину, необходимую для получения заданного значения  $D$ .

## 6.2. Расчет режимов резания при обработке на сверлильных станках

При сверлении стали с пределом прочности  $\sigma_{\hat{a}}$  сверлом диаметром  $D$  величина подачи  $s$  определяется по карте 41 [16], а при сверлении чугуна медных и алюминиевых сплавов – по карте 46 [16] с учетом твердости обрабатываемого материала по Бринелю НВ. Используя паспортные данные выбранного сверлильного станка, принимают ближайшее имеющееся значение подачи.

С учетом известных значений  $D$  и  $s$  по карте 42 [16] (при обработке сталей) или по картам 47 и 50 [16] (при обработке соответственно чугуна и медных и алюминиевых сплавов) определяется скорость резания  $v$ .

По формуле

$$n = \frac{1000 v}{\pi D}, \text{ об/мин,}$$

рассчитывают число оборотов шпинделя станка и принимают ближайшее имеющееся на станке (по паспорту) его значение.

Используя выражение

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/мин,}$$

определяют фактическую скорость резания для паспортного значения  $n$ .

Затем проводится проверка выбранного режима по мощности станка. Для этого по карте 43 [16] (для стали) или по картам 49 и 51 [16] (соответственно для чугуна и медных и алюминиевых сплавов) с учетом известных  $\sigma_{\hat{a}}$  (или НВ),  $D$ ,  $s$  и  $v$  определяют мощность, необходимую на резание. Значение мощности сопоставляют с паспортными данными мощности на шпинделе по приводу выбранного сверлильного станка и в случае необходимости назначают станок другой модели.

С учетом установленных значений  $n$  и  $s$  рассчитывают основное

(технологическое) время на сверление

$$t_o = \frac{l + l_1}{ns} i, \text{ мин,}$$

где  $l$  – длина обрабатываемого отверстия в мм;

$l_1$  – длина врезания и перебега сверла в мм, устанавливаемая по прил. 4 (лист 2) [16] для известного  $D$ ;

$i$  – число проходов.

### 6.3. Расчет режимов резания при фрезеровании

По величине общего припуска на обработку на две стороны (например, 5 мм) устанавливают глубину резания  $t$  (в нашем случае  $t = 2,5$  мм) и назначают тот или иной тип стандартной фрезы (цилиндрическая, торцовая, дисковая, концевая, угловая, фасонная).

По табл. А, Б и В [16] выбирают шифр типовой схемы крепления фрезы и определяют коэффициенты на подачу  $\hat{E}_{s_z}$  и на скорость резания  $K_v$ .

В случае использования торцовой фрезы выбирают вид ее установки (симметричная или смешанная) и по карте 108 [16] определяют диапазон подачи  $s_z$  на один зуб фрезы. Этот диапазон умножается на  $\hat{E}_{s_z}$ , и для работы принимается его средняя величина.

С учетом известных значений предела прочности материала детали  $\sigma_{\hat{a}}$ , подачи  $s_z$ , глубины резания  $t$ , диаметра фрезы  $D$  и числа ее зубьев  $z$  по карте 109 [16] устанавливают скорость резания  $v$ , число оборотов в минуту  $n$  и минутную подачу  $s_1$ .

По этой же карте 109 [16] определяют поправочный коэффициент  $\hat{E}_{i_v} = \hat{E}_{i_n} = \hat{E}_{i_{s_1}}$  в зависимости от  $\sigma_{\hat{a}}$ . Значение этого коэффициента умножают на  $\hat{E}_v$ , получая таким образом общий поправочный коэффициент  $K$ .

Коэффициент  $K$  умножают на режимы резания  $v$ ,  $n$ ,  $s_m$  и по паспортным данным станка подбираются ближайшие значения  $n$  и  $s_m$ . Используя откорректированные  $n$  (в сторону уменьшения) и  $s_m$ , находят фактические скорость резания и подачу на один зуб по формулам

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/мин}; \quad s_z = \frac{s_1}{n \cdot z}, \text{ мм/зуб}.$$

Затем проводится проверка выбранного режима по мощности. Для этого, используя значения  $\sigma_{\hat{a}}$ ,  $t$ ,  $S_m$ ,  $D$ ,  $z$  и ширину фрезерования заготовки  $B$ , по карте 111 [16] определяют мощность, необходимую на резание.

Найденное значение мощности проверяют по мощности станка по формуле

$$N_c = N_{\dot{y}} \cdot \eta,$$

где  $N_{\dot{y}}$  – мощность электродвигателя;

$\eta$  – КПД станка.

Если режим резания по мощности неосуществим или  $N_c$  существенно превышает установленную мощность (по карте 111 [16]), назначается станок другой модели.

Далее определяют основное (технологическое) время по формуле

$$t_o = \frac{l + l_1 + l_2}{s_1} i, \text{ мин},$$

где  $l$  – длина обрабатываемой поверхности, определяемая по чертежу, мм;

$l_1$  – длина на врезание и перебег инструмента, определяемая по прил. 4 (лист 5 или 6 в зависимости от типа фрезы) [16] с учетом известных  $B$  и  $D$ , мм;

$l_2$  – длина на взятие пробной стружки, мм, назначается аналогично случаю, рассмотренному в 6.1, п. 9;

$i$  – число проходов.

В случае применения концевой фрезы для определения подачи, режимов резания и мощности, необходимой на резание, используются карты 146 – 148 [16].

## Л и т е р а т у р а

1. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений. – М: Машиностроение, 1983. – 227 с.
2. Режимы резания металлов: Справочник / Под ред. Ю.В. Барановского. – М: Машиностроение, 1972. – 407 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. Т.1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.
5. Станочные приспособления: Справочник. В 2 т. Т.1 / Под ред. Б.Н. Вардашкина, А.А. Шатилова. – М.: Машиностроение, 1984. – 592 с.
6. Станочные приспособления: Справочник. В 2 т. Т.2 / Под ред. Б.Н. Вардашкина, В.В. Данилевского. – М.: Машиностроение, 1984. – 656 с.
7. Горохов В.А. Проектирование и расчет приспособлений. – Мн.: Выш. школа, 1986. – 283 с.
8. Горохов В.А. Проектирование технической оснастки. – Мн.: Бервита, 1997. – 343 с.
9. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1979. – 303 с.
10. Микитянский В.В. Точность приспособлений в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1984. – 128 с.
11. Детали машин в примерах и задачах / Под общей ред. С.М. Башеева. – Мн.: Выш. школа, 1970. – 488 с.
12. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин: Справочник. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.
13. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общей ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
14. Андерс А.А., Потапов Н.М., Шулешкин А.В. Проектирование заводов и механосборочных цехов в автотракторной промышленности. – М.: Машиностроение, 1982. – 271 с.
15. Горбачевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по

технологии машиностроения. – Мн.: Выш. школа, 1983. – 256 с.

16. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. В 2 ч. Ч. 1. Станки токарные, карусельные, токарно-револьверные, автоматнo-расточные, сверлильные, строгальные, долбежные, фрезерные. – М.: Машиностроение, 1974. – 415 с.

17. ГОСТ 2.102-68. Виды и комплектность конструкторских документов.

18. ГОСТ 2.104-68. Основные надписи.

19. ГОСТ 2.108-68. Спецификация.

20. ГОСТ 2.109-73. Основные требования к чертежам.

21. ГОСТ 2.111-68. Нормоконтроль.

22. ГОСТ 2.114-70. Технические условия. Правила построения, изложения и оформления.

23. ГОСТ 2.119-73. Эскизный проект.

24. ГОСТ 2.312-72. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений.

25. ГОСТ 2.305-68. Изображение, виды, разрезы, сечения.

26. РД 50-635-87. Методические указания. Цепи размерные.



**ПРИЛОЖЕНИЯ  
ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

**ПАСПОРТНЫЕ ДАННЫЕ ТОКАРНЫХ, СВЕРЛИЛЬНЫХ  
И ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ**

**Токарные станки**

Т а б л и ц а П 1.1

Наименование оборудования					Станок токарно-винторезный						
Фирма					З-д им. Ефремова, г. Москва						
Модель					1К62						
Группа по классификатору					30424						
Расстояние между центрами					710 (1000; 1400) мм						
Число суппортов					1						
Мощность электродвигателя главного движения					10 кВт						
Диаметр отверстия в шпинделе					38 (42)						
Высота центров					210 мм						
Число оборотов шпинделя в мин		Наибольший крутящий момент, кгм	Число оборотов шпинделя в мин		Наибольший крутящий момент, кгм	Подача, мм/об					
прямое вращение	обратное вращение		прямое вращение	обратное вращение		продольная			поперечная		
12,5	19	130	200	302	39	0,07	0,34	1,74	0,035	0,17	0,87
16	19	130	250	302	31	0,074	0,39	1,9	0,037	0,195	0,95
20	30	130	315	475	26	0,084	0,43	2,08	0,042	0,21	1,04
25	30	130	400	475	20,2	0,097	0,47	2,28	0,048	0,23	1,14
31,5	48	130	500	755	15,4	0,11	0,52	2,42	0,055	0,26	1,27
40	48	130	630	755	11,9	0,12	0,57	2,8	0,06	0,28	1,4
50	75	130	630	950	12,5	0,13	0,61	3,12	0,065	0,3	1,56
63	75	124	800	950	9,3	0,14	0,70	3,48	0,07	0,34	1,74
80	121	97,5	1000	1510	7	0,15	0,78	3,8	0,074	0,38	1,9
100	121	78	1250	1510	5,45	0,17	0,87	4,16	0,084	0,43	2,08
125	190	62	1600	2420	4,2	0,195	0,95		0,097	0,47	
160	190	49	2000	2420	3,0	0,21	1,04		0,11	0,52	
						0,23	1,14		0,12	0,57	
						0,26	1,21		0,13	0,60	
						0,28	1,4		0,14	0,70	
						0,30	1,36		0,15	0,78	

**Примечание.** Максимальное усилие, допускаемое механизмом подачи: продольная – 360 кг; поперечная – 550 кг.

Таблица П 1.2

Наименование оборудования		Станок токарно-винторезный																		
Фирма		З-д им. Ефремова, г. Москва																		
Модель		16К20; 16К20П; 16К20Г																		
Группа по классификатору		30424																		
Наибольшая длина обрабатываемого изделия		1400 мм																		
Высота центров над плоскими направляющими станины		215 мм																		
Наибольший диаметр прутка, проходящего в отверстие шпинделя		50 мм																		
Наибольшая длина обточка		645 мм																		
Конус шпинделя		№ 6																		
Мощность		10 кВт																		
n прямое, об/мин	Наибольший крутящий момент, кгм	n обратное, об/мин	Наибольший крутящий момент, кгм	Подача, мм/об																
				продольн.	поперечн.															
12,5	130	19	130	0,05 0,06 0,075 0,09 0,1	0,5 от продольной подачи															
16		30	128																	
20																				
25																				
31,5																				
40																				
50	109	75	83,5	0,125																
63		120	51																	
80				190		31														
100							300	23												
125									476	14,2										
160											753	8,65								
200													920	7,4						
250															1200	5,35				
315																	1900	3,14		
400																			0,4	
480																				0,5
560																				
640	0,7																			
720	0,8																			
800	1																			
880	1,2																			
960	1,4																			
1040	1,6																			

1600	4,18				
------	------	--	--	--	--

Таблица П 1.3

Наименование оборудования		Станок специальный токарно-винторезный							
Фирма		Машиностроительный з-д, г. Ижевск							
Модель		ИС1-1 (95ТС-1)							
Группа по классификатору		30754							
Расстояние между центрами		500 мм							
Высота центров		130 мм							
Наибольший диаметр изделия, устанавливаемого над станиной		250 мм							
Диаметр прутка		24 мм							
Мощность электродвигателя главного движения		2,8 кВт							
Число оборотов шпинделя в мин		Крутящий момент, кгм	Число оборотов шпинделя в мин		Крутящий момент, кгм	Подача, мм/об			
прямо	обратно		прямо	обратно		продольная		поперечная = 0,5 продольной	
20	20	3800	250	250	710	6	0,44	3	0,22
25	25		315	315	490	5	0,3	2,5	0,15
31,5	31,5		400	400	400	4,5	0,25	2,25	0,125
40	40		500	500	408	4	0,15	2	0,075
50	50		630	630	342	3,5	0,1	1,75	0,05
63	63	3150	800	800	276	3	0,09	1,5	0,045
80	80	2650	1000	1000	220	2,5	0,075	1,25	0,0375
100	100	2140	1250	1250	171	2	0,06	1	0,03
125	125	1710	1600	1600	125	1,2	0,05	0,6	0,025
160	160	1300	2000	2000	91	0,8	0,044	0,4	0,022
200	200	974				0,75	0,031	0,375	0,0155
						0,6	0,022	0,3	0,011
						0,5		0,25	

**Примечание.** Наибольшее допустимое тяговое усилие Q = 300 кг.

Таблица П 1.4

Наименование оборудования		Станок специальный токарно-винторезный	
Фирма		Завод им. Ефремова, г. Москва	
Модель		ТВ125В	
Группа по классификатору		30856	
Наибольший диаметр прутка		25 мм	
Наибольшая длина обточки		500 мм	
Наибольший диаметр изделия, устанавливаемого над станиной		260 мм	
Расстояние между центрами		600 мм	
Размеры державки резца		16 x 16 мм	
Мощность		2,3 кВт	
Число оборотов в мин		Подача, мм/об	
прямо	обратно	продольная	поперечная
42	42	0,012	0,06
165	165	0,018	0,09
86	86	0,030	0,015
330	330	0,046	0,024
282	282	0,063	0,032
1050	1050	0,095	0,050
565	565	0,160	0,080
2300	2300	0,240	0,120

### Сверлильные станки

Таблица П 1.5

Наименование оборудования	Станок вертикально-сверлильный
1	2
Фирма	Станкостроительный завод, г. Молодечно
Модель	2Н118
Группа по классификатору	32012
Наибольший диаметр сверления	18
Конус Морзе шпинделя	№ 2

Наибольшее осевое перемещение шпинделя, мм	150
Вылет шпинделя, мм	200

Окончание табл. П 1.5

1		2	
Расстояние от конца шпинделя до стола, наиб. – наим., мм		650 – 0	
Мощность двигателя главного движения		1,5 кВт	
Подача, мм/об	Число оборотов шпинделя в мин		N <sub>э</sub> , кВт
	прямо	обратно	
0,1	180	180	1,5
0,14	250	250	1,5
0,2	350	350	1,5
0,28	500	500	1,5
0,4	710	710	1,5
0,56	1000	1000	1,5
	1420	1420	1,5
	2000	2000	1,5
	2800	2800	1,5

Таблица П 1.6

Наименование оборудования	Станок вертикально-сверлильный	
Фирма	Станкостроительный завод, г. Стерлитамак	
Модель	2А125	
Группа по классификатору	32013	
Наибольший диаметр сверления	25 мм	
Расстояние шпинделя до вертикального направления	250 мм	
Расстояние от торца шпинделя до стола	700 мм	
Конус Морзе	№ 3	
Наибольшее перемещение шпинделя от руки	175 мм	
Наибольшее перемещение бабки шпинделя	200 мм	
Мощность двигателя главного движения	2,8 кВт	
Число оборотов шпинделя в мин	Подача, мм/об	
	прямо	обратно
97	97	0,1
140	140	0,13
195	195	0,17
272	272	0,22
392	392	0,28
545	545	0,36

680	680	0,48
960	960	0,62
1360	1360	0,81

### Фрезерные станки

Таблица П 1.7

Наименование оборудования		Станок широкоуниверсальный фрезерный			
Фирма		Минский станкостроительный завод			
Модель		676			
Группа по классификатору		31194			
Наименьш. – наибольш. расстояние от оси горизонтального шпинделя до съемного углового стола		80 - 460 мм			
Наибольшее расстояние от конца рабочего шпинделя вертикального до плоскости съемного стола		380 мм			
Ускоренные перемещения стола продольного, вертикального шпинделя и бабки поперечного перемещения		935 мм/мин			
Поверхность вертикального стола		630 x 240 мм			
Наибольшее перемещение стола продольн./вертикальн.		450/380 мм			
Наибольшее перемещение шпинделя бабки		300 мм			
Наибольшее перемещение шпинделя		80 мм			
Конус Морзе шпинделя внутри		№ 4			
Поверхность горизонтального стола		800 x 250 мм			
Мощность двигателя главного движения		3 кВт			
Число оборотов шпинделя в мин		Продольная и вертикальная подачи стола и поперечная подача шпинделя бабки, мм/мин			
вертикального	горизонтального				
325	63 410	13	17	21	26
410	80 515	33	42	52	64
515	100 640	82	104	130	160
630	120 790	200	255	320	395
840	160 1060				
1060	205 1330				

1320	255 1655	
1630	315 2040	

Таблица П 1.8

Наименование оборудования		Станок широкоуниверсальный фрезерный		
Группа по классификатору		31193		
Рабочая площадь горизонтального стола		630 x 200 мм		
Максимальное перемещение гори- зонтальной бабки поперечное		320/300 мм		
Быстрое перемещение стола и гори- зонтальной бабки		200 мм		
Максимальное перемещение шпин- деля от руки		0,935 м/мин		
Максимальное расстояние от торца шпинделя до горизонтального стола		60 мм		
Внутренний конус Морзе шпинделя		№ 4		
Мощность двигателя главного дви- жения		1,5 кВт		
Число оборотов шпинделя в мин		Подачи, мм/мин		
горизон- тального	вертикаль- ного	продольная	поперечная	вертикальная
50 63	63 80	13; 17	13; 17	13; 17
80 100	100 125	21; 26	21; 26	21; 26
125 160	160 200	33; 42	33; 42	33; 42
200 250	250 315	52; 64	52; 64	52; 64
315 400	400 500	82; 104	82; 104	82; 104
500 630	630 800	130; 160	130; 160	130; 160
800 1000	1000 1250	200; 255	200; 255	200; 255

1250 1600	1600 2000	320; 395	320; 395	320; 395
--------------	--------------	----------	----------	----------

Таблица П 1.9

Наименование оборудования			Станок фрезерный	
Фирма			TOS., Zembrak, ЧССР	
Модель			FN-22	
Группа по классификатору			31194	
Рабочая поверхность вертикального стола			220 x 640 мм	
Наибольшее перемещение горизонтальное шпинделя бабки			150 мм	
Конус Морзе шпинделя внутренний горизонтальный			№ 4	
Конус Морзе шпинделя внутренний вертикальный			№ 4	
Перемещение шпинделя вертикальной головки			80 мм	
Перемещение шпинделя быстросходной головки			60 мм	
Цанговый зажим быстросходной головки			Ø 3 – Ø 12	
Ход ползуна долбежной головки			80	
Мощность двигателя главного движения			2,2...1,9 кВт	
Число оборотов шпинделя в мин			Число двойных ходов/мин долбежной головки	Подача, мм/мин
вертикального	горизонтального	быстросходной головки		
80	40	3150	40	8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 280; 320; 500
125	63	4000	63	
200	100	5000	100	
315	160		160	
500	250		250	
800	400			
1250	630			



2000	1000			
------	------	--	--	--

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### КЛАСС ЧИСТОТЫ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Для обозначения чистоты оптических деталей принято 14 классов: 0 – 10, 0 – 20, 0 – 40, I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, VIIIa, IX, IXa.

Размеры царапин и точек для классов чистоты 0 – 10, 0 – 20 и 0 – 40 должны быть определены в трех зонах светового диаметра поверхности детали: центральной, средней и краевой. Границами центральной и средней зон поверхности устанавливают концентрические окружности диаметром 1/3 и 2/3 светового диаметра детали. Для деталей диаметром менее 5 мм указанных зон не устанавливают.

Последние две цифры обозначения классов чистоты 0 – 10, 0 – 20, 0 – 40 указывают среднее значение фокусного расстояния оптической системы, расположенной за нормируемой поверхностью.

В центральной зоне поверхности не должно быть точек диаметром и царапин шириной более 0,001 мм.

Размеры царапин и точек в средней и краевой зонах и их число в зависимости от светового диаметра детали не должны превышать значений, указанных в табл. П 2.1.

Таблица П 2.1

Класс чистоты	Зона	Царапины, мм		Точки, мм			
		ширина, не более	суммарная длина, не более	диаметр, не более	число, не более, при световом диаметре		
					от 5 до 20	св. 20 до 60	св. 60
0 – 10	средняя	0,002	0,2 х св.Ø	0,004	1	3	5
	краевая	0,004	0,3 х св.Ø	0,006	3	6	10
0 – 20	средняя	0,004	0,2 х св.Ø	0,010	1	3	5
	краевая	0,006	0,3 х св.Ø	0,015	3	6	10
0 – 40	средняя	0,006	0,2 х св.Ø	0,015	1	3	5
	краевая	0,008	0,3 х св.Ø	0,025	3	6	10

В любой четверти поверхности детали не допускается более 3 точек при световом диаметре до 60 мм включительно и более 5 точек при световом диаметре свыше 60 мм.

Царапины шириной не более 0,001 мм и точки диаметром не более 0,002 мм в средней и краевой зонах не учитываются.

Для деталей диаметром менее 5 мм допускаемые ширина царапин и диаметр точек не должны превышать значений, установленных в табл. П 2.1 для средней зоны поверхности.

Суммарную длину царапин и число точек, допускаемых на поверхности, следует устанавливать в чертежах на оптическую деталь согласно ГОСТ 2.412-81, утвержденных в установленном порядке.

На поверхностях деталей классов точности I – IXa размеры царапин и точек и их число не должны превышать значений, указанных в табл. П 2.2.

Нормирование царапин, точек, заколов и выколов на поверхности оптических деталей вне светового диаметра должно быть установлено в чертежах оптических деталей по ГОСТ 2.412-81, утвержденных в установленном порядке.

Выколки и заколы размером более 0,8 мм должны быть матированы. Необходимость матирования выколов и заколов размером 0,8 мм и менее должна быть установлена в чертежах оптических деталей по ГОСТ 2.412-81.

Для обозначения классов чистоты поверхности оптических деталей используют букву Р.

*Пример* условного обозначения чистоты поверхности, нормируемой по VI классу чистоты: PVI.

Таблица П 2.2

Класс чистоты	Царапины		Точки		Скопление дефектов	
	Ширина, мм, не более	Суммарная длина, мм, не более	Диаметр, мм, не более	Число, не более	Диаметр ограниченного участка, мм	Суммарная площадь царапин и точек, мм <sup>2</sup> , не более
I	0,004	2,0 х св.Ø	0,020	0,5 х св.Ø	1,0	0,004
II	0,006		0,050		1,2	0,006
III	0,010		0,100		2,0	0,020
IV	0,02	2,0 х св.Ø	0,30	0,5 х св.Ø	5,0	0,10
V	0,04		0,50		10,0	0,40
VI	0,06		0,70		25,0	3,00

VII VIII	0,1	2,0 x св.Ø	1,0	0,5 x св.Ø	50,0	10,0
	0,2		2,0	0,4 x св.Ø		
VIIIa	0,3	1,5 x св.Ø	3,0	0,3 x св.Ø	-	-
IX		2,0 x св.Ø				
IXa	0,4	1,5 x св.Ø				

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### КЛАСС ЧИСТОТЫ (ШЕРОХОВАТОСТИ) МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Класс чистоты	Обозначения	R <sub>A</sub> , мк	R <sub>Z</sub> , мк	Класс чистоты	Обозначения	R <sub>A</sub> , мк	R <sub>Z</sub> , мк
1	∇1	(80)	320	8	∇8	0,63	(3,2)
2	∇2	(40)	160	9	∇9	0,32	(1,6)
3	∇3	(20)	80	10	∇10	0,16	(0,8)
4	∇4	(10)	40	11	∇11	0,08	(0,4)
5	∇5	(5)	20	12	∇12	0,04	(0,2)
6	∇6	2,5	(10)	13	∇13	(0,02)	0,1
7	∇7	1,25	(6,3)	14	∇14	(0,01)	0,05

### ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### ПРИПУСКИ НА ОБРАБОТКУ

Припуски на обработку точением и черновым шлифованием наружных цилиндрических поверхностей определяются по табл. П 4.1.

Таблица П 4.1

Диаметр обрабатываемой детали, мм	Вид обработки и характер заготовки		Расчетная длина					
			до 120	120-160	260-500	500-800	800-1250	1250-2000
			Припуск на диаметр					
1	2	3	4	5	6	7	8	
от 6 до 10	Черновое точение проката	обычной точности	<u>1,8</u> -	<u>1,9</u> -	-	-	-	
		повышенной точности	<u>1,4</u> -	<u>1,6</u> -	-	-	-	
	Чистовое точение		<u>0,7</u> -			-	-	-
	шлифов. в центрах	нетермообр. стали	0,20		0,25			
		термообр.	0,25	0,26	0,30			

		стали					
	бесцентровое шлифов.	нетермообр. стали	0,20	0,22	-	-	-
		термообр. стали	0,25		-	-	-

Окончание табл. П 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	
свыше 10 до 18	Черновое точение проката	обычной точности	$\frac{1,8}{-}$	$\frac{1,9}{-}$	-	-	-	
		повышенной точности	$\frac{1,5}{-}$	$\frac{1,7}{-}$	-	-	-	
	чистовое точение		$\frac{0,7}{-}$	$\frac{0,8}{-}$	-	-	-	
	шлифов. в центрах	нетермообр. стали	0,22	0,25	0,28	-	-	-
		термообр. стали	0,25		0,30	-	-	-
	бесцентровое шлифов.	нетермообр. стали	0,20	0,22	0,25	-	-	-
		термообр. стали	0,25		0,30	-	-	-
свыше 18 до 30	Черновое точение проката	обычной точности	$\frac{2,3}{2,0}$	$\frac{2,3}{2,3}$	$\frac{2,4}{-}$	$\frac{2,8}{-}$	-	-
		повышенной точности	$\frac{1,7}{1,4}$		$\frac{1,8}{-}$	$\frac{2,2}{-}$	-	-
	Чистовое точение		$\frac{0,7}{0,7}$		$\frac{0,8}{-}$	$\frac{0,9}{-}$	-	-
	шлифов. в центрах	нетермообр. стали	0,25		0,28	0,30	-	-
		термообр. стали	0,30		0,40	0,45	-	-
	бесцентровое шлифов.	нетермообр. стали	0,23		0,25	0,30	-	-
		термообр. стали	0,30		0,40		-	-

Припуски на подрезание и черновое шлифование торцевых поверхностей вращения определяются по табл. П 4.2.

Таблица П 4.2

Диаметр обрабатываемой детали, мм	Подрезание	Шлифование	Расчетная длина							
			до 30	от 30 до 50	от 50 до 120	от 120 до 200	от 200 до 400	от 200 до 500	от 400 до 600	от 500 до 800
			Припуски на длину							
от 6 до 10	черновое		1,0	1,3	1,5	–	2,0	–	2,3	–
	чистовое		0,5	0,8	–	0,9	–	1,1	–	
		черновое	0,25	0,26	0,35	–	0,41	–	0,5	–
от 10 до 18	черновое		1,0	1,3	1,5	–	2,0	–	2,3	–
	чистовое		0,5	0,8	–	0,9	–	1,1	–	
		черновое	0,25	0,26	0,35	–	0,42	–	0,5	–
от 18 до 30	черновое		1,0	1,1	1,6	–	2,1	–	2,4	–
	чистовое		0,5	0,8	–	0,9	–	1,1	–	
		черновое	0,25	0,37	0,35	–	0,42	–	0,52	0,60
от 30 до 50	черновое		1,0	1,1	1,4	1,6	–	2,1	–	2,4
	чистовое		0,5	0,8	–	0,9	–	1,1	–	
		черновое	0,26	0,37	0,36	–	0,42	–	0,52	0,64
от 50 до 80	черновое		1,2	1,3	1,6	1,8	–	2,2	–	2,5
	чистовое		0,5	0,9	–	0,9	–	1,1	–	
		черновое	0,27	0,28	0,36	–	0,43	–	0,56	0,65
от 80 до 120	черновое		1,4	1,5	1,8	–	2,4	–	2,7	–
	чистовое		0,6	0,9	–	1,0	–	–	–	
		черновое	0,27	0,30	0,38	–	0,45	–	0,55	0,65
от 120 до 180	черновое		1,5	1,6	1,9	2,1	–	2,5	–	2,8
	чистовое		0,6	0,9	–	1,1	–	1,2	–	
		черновое	0,30	0,30	0,40	–	0,45	–	0,60	0,65

от 180 до 250	черновое		2,0	2,1	2,3	2,5	–	3,0	–	3,3	–
	чистовое		0,6		0,9	1,0	–	1,1	–	1,2	–
		черновое	0,30	0,30	0,40	–	0,50	–	0,60	–	0,70

Припуски на обработку наружных плоскостей из широкополосной универсальной стали определяются по табл. П 4.3.

Таблица П 4.3

Длина обработанной детали, мм	Фрезерование или строгание	Шлифование	Наибольшая ширина и длина			
			до 60x60	160x160	400x400	800x800
			Припуски на толщину			
от 6 до 10	черновое		1,10	1,40	–	–
	чистовое		0,45	0,50	–	–
		черновое	0,25	0,30	0,32	0,48
от 10 до 18	черновое		1,10	1,30	–	–
	чистовое		0,50	0,55	–	–
		черновое	0,27	0,32	0,34	0,50
от 18 до 30	черновое		1,40		2,40	–
	чистовое		0,50	0,60	0,70	–
		черновое	0,30	0,34	0,36	0,52
от 30 до 50	черновое		1,50	1,80	2,50	3,0
	чистовое		0,60		0,80	0,90
		черновое	0,32	0,35	0,40	0,55
от 50 до 80	черновое		1,70	2,0	2,70	3,30
	чистовое		0,60	0,70	0,80	0,95
		черновое	0,36	0,40	0,43	0,60

**Примечания.**

1. Величины припусков даны на одну сторону.
2. Допуски на толщину и шероховатость поверхности устанавливаются:

после черновой обработки – С<sub>5</sub>, шероховатость поверхности R<sub>Z</sub> = 40... 20 мкм;

после чистовой обработки – С<sub>4</sub>, шероховатость поверхности R<sub>Z</sub> = 20... 10 мкм;

после черного шлифования – С<sub>3</sub>, шероховатость поверхности R<sub>Z</sub> = 2,5... 2,0 мкм.

3. В таблице приведены припуски для закаленных и незакаленных сталей.

4. Источник ОСТ 3-14320-82.







ГОСТ 3.1118-82 Формат 15															
Дубл.															
Взам.															
Подл.															
											3				
											Номер детали				
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции				Обозначение документа						
Б	Код, наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	Кон. в.	ЕН	ОП	К шт.	Т п.з.	Т шт.
К/М	Наименование детали, сб. единицы и материала				Обозначение код.				ОПП	ЕВ	ЕН	КН	Н. расх.		
Р 01					Расч.   Ширина	расч. длина	t	l	s	n	V	T <sub>с</sub>	Т6		
А 02	010			005	Токарная ИОТБ № 18/1-96				КЭ см. на листе 2						
Б 03					Токарно-винторезный				95ТС-1						
04															
05															
Р 06					1. Подрезать торец в размер 1										
Р 07					70	39	1	1	0,1	630	138	0,62			
Т 08					Патрон 3-кулачковый										
09					Резец ВК 6 ГОСТ 18879-73 (16 x 16)										
10					ЩЦ-1-125-0,1-1 ГОСТ 166-89										
11															
Р 12					2. Точить поверхность 3 на длину 2										
Р 13					70	16	2	1	0,1	630	138	0,25			
Т 14					Резец ВК 6 ГОСТ 18879-73 (16 x 16)										
15					ЩЦ-1-125-0,1-1 ГОСТ 166-89										
16															
17															
МК															

Дубл.														
Взам.														
Подл.														

4

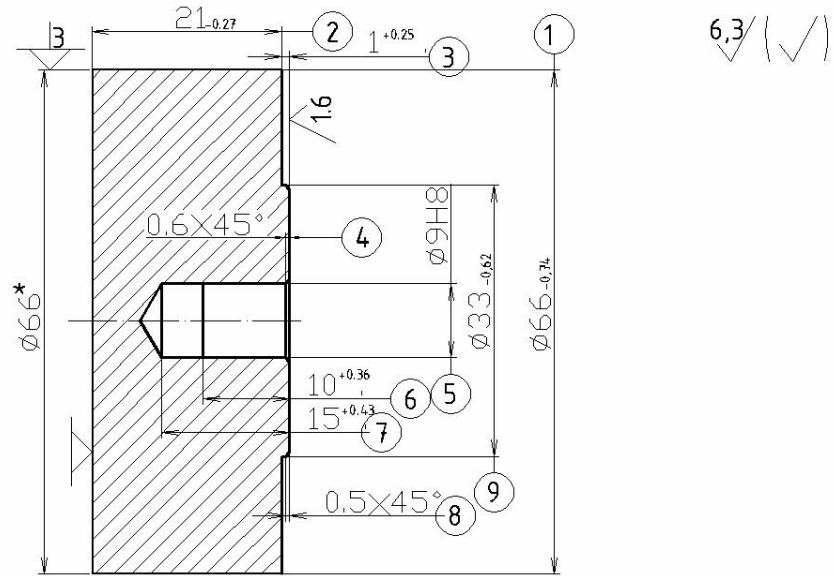
Номер детали

А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код. наименование операции	Обозначение документа										
						СМ	Проф.	Р	УТ	КР	Кон.д.	ЕН	ОП	К шп.	Т п.з.	Т шп.
Б	Код. наименование оборудования					Обозначение код.					ОПП	ЕВ	ЕН	КН	Н. расх.	
К/М	Наименование детали, сб. единицы и материала					Расч.	Диаметр	Обозначение код.				ОПП	ЕВ	ЕН	КН	Н. расх.
Р 0 1						ширина	расч. длина	t	l	s	n	V	T <sub>a</sub>	T <sub>В</sub>		
А 0 2	010			005												
0 3																
0 4					3. Притупить острые кромки до 0,2 мм											
0 5					на диаметре 3											
0 6																
Т 0 7					Резец BK6 ГОСТ 18879-73											
0 8																
0 9																
1 0																
1 1																
1 2																
1 3																
1 4																
1 5																
1 6																
1 7																
МК																

Дцдл.			
Взам.			
Подл.			

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

									5
									010
									015



\*Размеры для справок.



ГОСТ 3.1118-82 Формат 1б															
Дубл.															
Взам.															
Подл.															
													7		
													Номер детали		
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код. наименование операции				Обозначение документа						
Б	Код. наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	Кон.д.	ЕН	ОП	К шм.	Т п.з.	Т шм.
К/М	Наименование детали, сб. единицы и материала				Обозначение код				ОПП	ЕВ	ЕН	КН	Н. раск.		
Р 01					Расч. ширина	Внутренняя	расч. длина	t	l	s	n	V	T <sub>а</sub>	TВ	
А 02	010			010											
Р 03	3. Точить поверхность 1 заподлицо с ранее														
04	обработанной поверхностью														
Р 05						70		11	2	1	0,09	630	130	0,19	
Т 06	Резец ВК6 ГОСТ 18879-73 (16 x 16)														
07	ЩЦ-1-125-0,1-1 ГОСТ 166-89														
08															
Р 09	4. Центрировать отверстие														
10															
Т 11	Сверло СТПАШ 961-79 (диаметр 5, угол 90°)														
12															
Р 13	5. Сверлить отв. диаметром 8,5 <sup>+0,15</sup> (на эскизе отв. 5)														
14	на глубину 7														
Р 15						8,5		17		1	0,09	630	16,8	0,3	
Т 16	Сверло ГОСТ 4010-77 (диаметр 8,5)														
17	Калибр-продка ГОСТ 14810-69 ЩЦ-1-125-0,1-1 ГОСТ 166-89														
МК															



ГОСТ 3.1118-82 Формат 16															
Дубл.															
Взам.															
Подл.															
											9				
											Номер детали				
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции				Обозначение документа						
Б	Код, наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	Кон.д.	ЕН	ОП	К шп.	Т п.з.	Т шп.
К/М	Наименование детали, сб. единицы и материала				Обозначение код				ОПП	ЕВ	ЕН	КН	Н. расх.		
Р 0 1					Расч.	Диаметр	расч. длина	t	l	s	n	V	T <sub>с</sub>	TВ	
А 0 2	010			015	Токарная ИОТБ № 18/1-96 КЗ см. на листе 5										
Б 0 3	Токарно-винторезный 95 ТС-1														
0 4															
0 5															
0 0 6	1. Расточить отв. диаметром 8,95 под развертку (отв. 5)														
0 7	на глубину 7														
Р 0 8	Патрон				3-кулачковый	8,95	17	0,25	1	0,09	630	18	0,3		
Т 0 9	Резец ГОСТ 18873-73 (12 x 12)														
0 1 0	2. Расточить фаску 4														
Т 1 1	Резец ГОСТ 18873-73														
0 1 2	3. Развернуть отв. 5 на глубину 6														
Р 1 3					9	13	0,025	1	0,09	400	11	0,36			
Т 1 4	Развертка ГОСТ 1672-80 (диаметр 9)														
1 5	Калибр-пробка ГОСТ 14810-69														
1 6	ЩЦ-1-125-0,1-1 ГОСТ 166-89														
1 7															
МК															













ГОСТ Э. 1118-82 Формат 16															
Дубл.															
Взам.															
Подл.															
											15				
											Номер детали				
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код. наименование операции				Обозначение документа						
Б	Код. наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	Кон.в.	ЕН	ОП	К шт.	Т п.з.	Т шт.
К/М	Наименование детали, сб. единицы и материала				Обозначение код				ОПП	ЕВ	ЕН	КН	Н. расч.		
Р 0 1					Расч. ширина	Расч. длина	t	l	s	n	V	T <sub>н</sub>	Т6		
А 0 2	010			035	Слесарная ИОТБ № 105-97 КЭ см. на листах 11, 13										
Б 0 3	Верстак слесарный														
0 4															
0 5															
0 0 6	1. Притупить острые кромки до 0,2 мм														
0 7	после фрезерных операций														
0 8															
Т 0 9	Напильник ГОСТ 1465-80														
1 0	Шабер СПАШ 1121-74														
1 1															
0 1 2	2. Калибровать отв. диаметром 9 Н8 после фрезеровки 2 пазов 3														
1 3	(см. КЭ на листе 13)														
Т 1 4	Пробка Ø 9Н8 ГОСТ 7722-77														
1 5															
1 6															
1 7															
МК															









ГОСТ 3.1118-82 Формат 15															
Дубл.															
Взам.															
Подл.															
											19				
											Номер детали				
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код. наименование операции				Обозначение документа						
Б	Код. наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	Кон.д.	ЕН	ОП	К шт.	Т п.з.	Т шт.
К/М	Наименование детали, сб. единицы и материала				Обозначение код.				ОПП	ЕВ	ЕН	КН	Н. расх.		
Р 0 1					Расч. диаметр		расч. длина		t	l	s	n	V	T <sub>н</sub>	TВ
А 0 2	010			050	Сверлильная ИОТБ № 18/4-96 КЗ см. на листе 17										
Б 0 3	Вертикально-сверлильный НС-12А														
0 4															
0 5															
0 0 6	1. Зенковать 4 отв. 2. выдерживая размеры 1 и 4														
Р 0 7							7	2,45		4	0,1	450	9,9	0,35	
Т 0 8	Подставка цеховая														
0 9	Зенкер (диаметр 8,5 - диаметр 3,5)														
1 0	ШЦ-1-1215-0,1-1 ГОСТ 166-89														
1 1															
1 2															
1 3															
1 4															
1 5															
1 6															
1 7															
МК															



ГОСТ 3.1118-82 Формат 16															
Дубл.															
Взам.															
Подл.															
													21		
										Номер детали					
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код. наименование операции				Обозначение документа						
Б	Код. наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	Кон. в.	ЕН	ОП	К шп.	Т п.з.	Т шп.
К/М	Наименование детали, сб. единицы и материала				Обозначение код.				ОП	ЕВ	ЕН	КН	Н. расх.		
Р 0 1					Расч. диаметр	ширина	расч. длина	t	l	s	n	V	T <sub>с</sub>	TВ	
А 0 2	010		060	Сверлильная ИОТБ № 18/4-96 КЭ см. на листе 17											
Б 0 3	3812112224 Вертикально-сверлильный НС-12А														
0 4															
0 5	На диаметре 3														
0 0 6	1. Притупить острые кромки до 0,2 мм в 4 отв. 1														
0 7															
Т 0 8	Подставка цеховая														
0 9	Сверло ГОСТ 4010-77 (диаметр 9)														
1 0															
1 1															
1 2															
1 3															
1 4															
1 5															
1 6															
1 7															
МК															







ГОСТ Э. 1118-82 Формат 15															
Дубл.															
Взам.															
Подл.															
													25		
													Номер детали		
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код. наименование операции				Обозначение документа						
Б	Код. наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	Кон. в.	ЕН	ОП	К шт.	Т п.з.	Т шт.
К/М	Наименование детали, сб. единиц и материала				Обозначение код.				ОПП	ЕВ	ЕН	КН	Н. расх.		
Р 0 1					Расч.   Диаметр ширина		расч. длина	t	l	s	n	V	T <sub>0</sub>	T <sub>В</sub>	
А 0 2	010	075		Сверлильная ИОТБ № 18/4-96				КЗ см. на листе 23							
Б 0 3	Вертикально-сверлильный 2Н125														
0 4															
0 5															
0 0 6	1. Зенкеровать 4 отв. диаметром 10,43 под резьбу 2, выдерживая														
0 7	размеры 1, 3, 6, за 4 установки														
Р 0 8															
Т 0 9	Подставка П-2														
1 0	Зенкер (Ø 18, специальный)														
1 1	ЩЦ-1-125-0,1-1 ГОСТ 166-89														
1 2															
1 3															
1 4															
1 5															
1 6															
1 7															
МК															





ГОСТ 3.1118-82 Формат 16															
Дубл.															
Взам.															
Подл.															
											27				
											Номер детали				
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код. наименование операции				Обозначение документа						
Б	Код. наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	Кон.в.	ЕН	ОП	К шт.	Т л.з.	Т шт.
К/М	Наименование детали, сб. единицы и материала				Обозначение код.				ОПП	ЕВ	ЕН	КН	Н. расх.		
Р 0 1					Расч. диаметр		расч. длина		f	l	s	n	V	T <sub>с</sub>	T <sub>б</sub>
А 0 2	010		085		010800 Слесарная ИОТБ № 105-97				КЭ см.		на листе 23				
Б 0 3	Верстак слесарный														
0 4															
0 5															
0 0 6	1. Притупить острые кромки до 0,2 мм в 4-х отв. 1														
0 7															
0 8															
Т 0 9	Шабер СТПАШ1121-74														
1 0															
0 1 1	2. Снять заусенцы в 4 отв. 7 со стороны выхода в отв. диаметром 10,43														
1 2	под резьбу 2														
1 3															
Т 1 4	Надфиль ГОСТ 1513-77														
1 5															
1 6															
1 7															
МК															



ГОСТ 3.1118-82 Формат 1б															
Дубл.															
Взам.															
Подл.															
											29				
											Номер детали				
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции				Обозначение документа						
Б	Код, наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	Кон.в.	ЕН	ОП	К шт.	Т п.з.	Т шт.
К/М	Наименование детали, сб. единицы и материала				Обозначение код.				ОП	ЕВ	ЕН	КН	Н. расх.		
Р 0 1					Расч. ширина	Расч. длина	f	l	s	n	V	T <sub>0</sub>	Тв		
А 0 2	010		095	020000	Контроль	ИОТБ № 172-95	КЭ см.	на листах	17,	23					
Б 0 3	Стол контролера														
0 4															
0 5															
0 6	Контроль ОТК выборочный по СТП 1040-1007-89														
0 7	Опер. 045 - 4 отв. 2, р-ров 3 и 6														
0 8	Опер. 070 - р-ра 5														
0 9	Опер. 050 - р-ров 1 и 4														
1 0	Опер. 055 - фаски 8, притупление острых кромок														
1 1	Опер. 060 - притупление острых кромок 8 отв.														
1 2	Опер. 065 - 2 отв. 7, р-ра 5														
1 3	Опер. 075 - р-ров 1, 3, 6														
1 4	Опер. 080 - 4 отв. 2, р-ра 4														
1 5	Опер. 085 - выполнение операции														
1 6	Опер. 090 - выполнение операции														
1 7	Деталь направить в цех 013 на покрытие														
МК															



ГОСТ 3.1118-82 Формат 1б															
Дубл.															
Взам.															
Подл.															
										30	2				
										Номер детали					
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код. наименование операции				Обозначение документа						
Б	Код. наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	Кон.д.	ЕН	ОП	К шт.	Т п.з.	Т шт.
К/М	Наименование детали, сб. единицы и материала				Обозначение код.				ОПП	ЕВ	ЕН	КН	Н. расх.		
Р 0 1					Расч.	Диаметр	ширина	расч. длина	t	l	s	n	V	T <sub>0</sub>	T <sub>В</sub>
А 0 2	010														
Т 0 3			РИ		Напильник ГОСТ 1465-80										
0 4					Шабер СПАШ 1121-74										
0 5					Развертка ГОСТ 1672-80										
0 6															
0 7															
0 8															
0 9					Зенкер диаметром 8,5 - 3,5										
1 0															
1 1															
1 2															
1 3					Метчик ГОСТ 3266-81										
1 4															
1 5					Надфиль ГОСТ 1513-77										
1 6					Клеймо ВК8-Х1Н12 ГОСТ 25726-83										
1 7															
МК															



## Содержание

Введение. . . . .	3
1. КЛАССИФИКАЦИЯ И УСТРОЙСТВО ПРИСПОСОБЛЕНИЙ. . . . .	4
1.1. Задачи, решаемые при использовании приспособлений. . . . .	4
1.2. Классификация приспособлений. . . . .	5
1.3. Структура приспособлений. . . . .	7
1.4. Системы специализированных приспособлений. . . . .	10
1.5. Системы специальных приспособлений. . . . .	10
2. ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ И ЭТАПЫ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. . . . .	12
2.1. Исходные данные и выбор конструкции. . . . .	12
2.2. Обеспечение точности. . . . .	16
2.3. Последовательность проектирования. . . . .	18
3. РАСЧЕТ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ. . . . .	27
3.1. Выбор расчетных параметров и порядок построения размерных цепей. . . . .	27
3.2. Расчет размерных цепей. . . . .	32
4. РАСЧЕТ СИЛ ЗАЖИМА, ЗАЖИМНЫХ УСТРОЙСТВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ. . . . .	45
4.1. Расчет сил зажима. . . . .	45
4.2. Расчет зажимных устройств. . . . .	48
4.3. Прочность деталей приспособлений. . . . .	51
5. ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ В КУРСОВОМ ПРОЕКТЕ. . . . .	54
5.1. Общая часть. . . . .	54
5.2. Принятие решений. . . . .	55
5.3. Выбор схемы и параметров для расчета точности. . . . .	58
5.4. Расчет приспособления на точность. . . . .	60
5.5. Расчет приспособления на прочность. . . . .	61
5.6. Разработка документации. . . . .	62
6. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ. . . . .	65
6.1. Расчет режимов резания при обработке на токарных станках. . . . .	65
6.2. Расчет режимов резания при обработке на сверлильных станках. . . . .	67
6.3. Расчет режимов резания при фрезеровании. . . . .	68
Л и т е р а т у р а. . . . .	70
ПРИЛОЖЕНИЯ. . . . .	72



Учебное издание

КОЗЕРУК Альбин Степанович  
ЛУГОВИК Алексей Юрьевич

## ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Учебно-методическое пособие  
к выполнению курсового проекта для студентов специальности  
Т.06.01.00 «Приборостроение» специализаций  
Т.06.01.02 «Лазерное и оптическое приборостроение»  
и Т.06.01.13 «Лазерная техника и технология»

Редактор Т.А.Палилова  
Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

---

Подписано в печать 13.01.2005.  
Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.  
Печать офсетная. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 7,0. Уч.-изд. л. 5,5. Тираж 150. Заказ 581.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский национальный технический университет.  
Лицензия № 02330/0056957 от 01.04.2004.  
220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.