

А. М. Антимонов

# ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебник



Учебник  
УрФУ



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

**А. М. Антимонов**

# **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Учебник

Рекомендовано методическим советом  
Уральского федерального университета  
для бакалавров, обучающихся по направлению  
15.03.05 «Конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств»

Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2017

УДК 621.91.01(075.8)

ББК 34.63я73

A72

*Серия «Учебник УрФУ» основана в 2017 году*

Редакционная коллегия серии:

доц., канд. техн. наук *Е. В. Вострецова*; проф., д-р техн. наук *М. П. Шалимов*; проф., канд. техн. наук *С. И. Солонин*; *И. Ю. Плотникова* (ответственный редактор серии)

Рецензенты:

кафедра «Технология машиностроения» Новоуральского государственного технологического института, филиала Национального исследовательского ядерного университета (МИФИ) (зав. кафедрой — канд. техн. наук *В. В. Закураев*); главный технолог ПАО «Машиностроительный завод им. М. И. Калинина» *О. Г. Кулькаманов*

Научный редактор — проф., д-р техн. наук *А. Г. Залазинский*

*На обложке использовано изображение с сайта <http://tapety.joe.pl>*

**Антимонов, А. М.**

A72 Основы технологии машиностроения : учебник / А. М. Антимонов. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 176 с.  
ISBN 978-5-7996-2132-2

В учебнике представлены материалы, необходимые для проектирования технологических процессов механической обработки деталей машин и оформления технологической документации. Учебник предназначен для студентов вузов машиностроительных специальностей всех форм обучения.

Библиогр.: 8 назв. Табл. 10. Рис. 81. Прил. 2.

УДК 621.91.01(075.8)

ББК 34.63я73

ISBN 978-5-7996-2132-2

© Уральский федеральный университет, 2017

# ПРЕДИСЛОВИЕ

---

*Технологией* называется совокупность знаний о методах и средствах производства изделий.

*Технология машиностроения* изучает методы и средства механической обработки и сборки изделий.

Согласно учебному плану направления 15.03.05 — «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» технология машиностроения как учебный предмет состоит из двух дисциплин.

1. Основы технологии машиностроения. Эта дисциплина является базовой при изучении других дисциплин вышеуказанного направления. В ней представлены термины, определения и основные сведения, необходимые для проектирования технологических процессов механической обработки и сборки изделий машиностроения, а также для оформления на эти процессы технологической документации. Разные по содержанию, разделы этой дисциплины объединяются решением задачи технологического проектирования и входят в структуру алгоритма этого решения.
2. Технология производства машин. В этом курсе изучаются типовые технологические процессы производства некоторых типов деталей машин.

Кроме того, учебный план содержит дисциплины, тесно связанные с технологией машиностроения, среди которых: технологические процессы в машиностроении, производство и механическая обработка заготовок, проектирование машиностроительного производства, технологическая оснастка, процессы и операции формообразования, режущий инструмент, оборудование машиностроительных производств и ряд других.

В результате изучения этих курсов студент должен получить знания и навыки, достаточные для разработки технологии производства изделий необходимого качества, в заданном количестве, в планируемые сроки, при наименьших затратах.

Выпускникам кафедры технологии машиностроения Механико-машиностроительного института УрФУ присваивается квалификация (степень) «бакалавр» по вышеуказанному направлению. Срок обучения составляет четыре года.

# 1. Виды изделий

---

*Изделие* — это предмет или набор предметов, полученных в результате целенаправленных трудовых действий.

Согласно ГОСТ 2.101–68 установлены следующие виды изделий.

*Детали* — изделия, изготовленные из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций: свинчивания, сварки, клепки и т. д. Например: вал, зубчатое колесо, корпус редуктора и т. д.

*Сборочные единицы* — изделия, составные части которых подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе путем применения сборочных операций. Например: редуктор, станок, автомобиль и т. д.

*Комплексы* — два и более специфицированных изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Например, ленточный транспортер, который состоит из электродвигателя, редуктора, ведущего и ведомого барабанов и транспортерной ленты. Объединение этих изделий при сборке создает единую функциональную систему для выполнения транспортных операций.

*Комплекты* — два и более изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющие собой набор изделий, которые имеют общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера. Примерами являются наборы запасных инструментов и приспособлений (ЗИП), наборы слесарного инструмента и т. д.

Наиболее сложным изделием является машина.

*Машиной* называется устройство, выполняющее механические движения по преобразованию материалов, энергии и информации для облегчения физического и умственного труда человека.

## 2. ПОРЯДОК СОЗДАНИЯ НОВОГО ИЗДЕЛИЯ

---

Новое изделие имеет усовершенствованные технические и потребительские свойства. Процесс создания нового изделия включает: выдачу технического задания, проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИР и ОКР), проектирование изделия и производственную деятельность.

*Техническое задание* разрабатывает заказчик нового изделия. В нем приводятся сведения о назначении изделия, условиях его эксплуатации, технические и другие параметры, необходимые для проектирования.

*НИР* проводится в том случае, если существующий уровень науки и техники не позволяет решить задачи, поставленные в техническом задании. НИР включает постановку задач исследования, проведение теоретических и экспериментальных исследований, обработку полученных результатов, выдачу рекомендаций и составление отчета. В результате проведения НИР получают новые научные результаты, которые используют при создании нового изделия с более высокими технико-экономическими показателями.

*ОКР* проводится для отработки конструкции изделия. ОКР включает проектирование, изготовление и испытания в лабораторных или производственных условиях опытных образцов изделий. В результате проверяются технические решения, на основе которых разрабатывается это изделие. Необходимость проведения НИР и ОКР определяется в техническом задании.

*Проектирование изделия*, по ГОСТ 2.103–68, включает последовательную разработку технического предложения, эскизного проекта, технического проекта и рабочей конструкторской документации.

В *техническом предложении* (ГОСТ 2.118–73) рассматриваются вариант или варианты реализации требований технического задания.

*Эскизный проект* (ГОСТ 2.119–73) содержит решения, которые дают общее представление о конструкции и принципе работы изделия, с указанием его основных параметров, например габаритов.

*Технический проект* (ГОСТ 2.120–73) включает чертежи общих видов с детальной проработкой конструкции изделия, достаточной для создания комплекта рабочей конструкторской документации.

*Рабочая конструкторская документация* разрабатывается на основе ЕСКД. Она включает комплект чертежей на сборочные единицы, детали и другие документы, необходимые для изготовления, сборки, упаковки, хранения и транспортировки изделия.

### **3. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС, СТРУКТУРА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

.....

*Производственная деятельность* на предприятии называется производственным процессом.

*Производственный процесс*, по ГОСТ 14.004–83 — это совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления и ремонта продукции.

Производственный процесс в машиностроении включает: организацию и управление производством, получение и хранение исходных материалов и полуфабрикатов, технологическую подготовку производства, изготовление и сборку изделий, контроль качества продукции, маркировку, упаковку и хранение готовых изделий, транспортировку продукции на всех этапах ее изготовления, снабжение и обслуживание рабочих мест, участков и цехов, обеспечение кадрами, т. е. рабочими, служащими, инженерно-техническими работниками (ИТР), и многое другое.

Производственный процесс осуществляется на машиностроительном предприятии или заводе. На машиностроительных заводах используются самые разнообразные методы получения и обработки изделий: литье, ковка, штамповка, сварка, обработка резанием, термообработка, сборка и т. д. Однако методы механической обработки заготовок резанием со снятием стружки и сборка изделий являются основными. Примерно до 60% от общего времени затрачивается на обработку этими методами. Поэтому производство на машиностроительных заводах называется еще *механосборочным*.

Основным производственным подразделением завода является цех. В состав машиностроительного завода входят самые разнообразные цеха, которые делятся на следующие группы:

1. Заготовительные цеха: литейные, кузнечные, сварочные. В литейных цехах производится получение отливок из черных и цветных металлов. В кузнечных цехах производится ковка и штамповка заготовок. В сварочных цехах ведется сварка и механическая обработка металлоконструкций.
2. Основные или обрабатывающие цеха: механические, сборочные, термические и др.
3. Вспомогательные цеха: инструментальные, ремонтные, модельные и др.

Структура машиностроительного предприятия подробно изучается в курсе «Проектирование машиностроительного производства».

Заводские цеха поделены на производственные участки. Участок образован из рабочих мест.

*Рабочее место*, по ГОСТ 14.004–83, является элементарной структурной единицей предприятия, где размещены исполнители работы, обслуживаемое технологическое оборудование, часть конвейера, на ограниченное время оснастка и предметы труда. Иными словами, рабочее место — это часть производственной площади, оборудованной в соответствии с выполняемой на ней работой.

## 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС И ЕГО СТРУКТУРА

.....

*Технологическим процессом* называется часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению или определению состояния предмета труда.

В результате этих действий последовательно изменяются и контролируются размеры, форма, шероховатость и состояние поверхности, внешний вид и внутренние свойства изделий. В зависимости от вида действий различают технологические процессы механической обработки, сборки, литья, обработки давлением, термической обработки, нанесения покрытий и т. д.

Технологический процесс состоит из технологических операций.

*Технологической операцией*, согласно ГОСТ 3.1109–82, называется законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Операция выполняется одним или несколькими исполнителями над одним изделием без перехода к обработке другого изделия. Операция может включать неоднократную установку и снятие заготовки, смену инструмента, вида обработки, приспособлений, контрольно-измерительных устройств и т. д. При выполнении технологической операции заготовка может быть обработана полностью или только частично даже при одном виде обработки. Содержанием операции определяется трудоемкость ее выполнения и размер заработной платы рабочих.

В документации на технологический процесс наименование операции механической обработки записывается именем прилагательным в именительном падеже от вида оборудования, на котором выполняется данная операция. Например: токарная, фрезерная, сверлильная

и т. д. Нумеруются операции числами ряда арифметической прогрессии, кратными 5. Например: 5, 10, 15 и т. д. (ГОСТ 3.1129–93, п. 5.3). Это необходимо для резервирования позиций в случае внесения изменений в технологический процесс.

Последовательность технологических операций обработки или сборки изделий, записанных в порядке их выполнения, называется *технологическим маршрутом*. Согласно ГОСТ 3.1109–82 технологическая операция состоит из следующих элементов:

- *установ* — это часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы. Если операция выполняется полностью при неизменном закреплении заготовки, то говорят, что она выполняется за один установ;
- *технологический переход* — это законченная часть технологической операции, которая выполняется одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и положении заготовки. При механической обработке в пределах одного технологического перехода остаются неизменными: инструмент, приспособление, положение заготовки и технологические режимы обработки, т. е. подача, скорость резания или частота вращения шпинделя. Наименование технологического перехода записывается глаголом в неопределенной форме, который соответствует методу механической обработки. Например: точить, сверлить, фрезеровать и т. д.;
- *вспомогательный переход* — это законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением свойств предмета труда, но необходимы для выполнения технологического перехода. Примерами вспомогательного перехода являются установка и снятие заготовки на станке, смена инструмента, взятие пробных стружек при настройке станка на размер и т. д. Наименование вспомогательного перехода записывается глаголом в неопределенной форме, который соответствует выполняемому действию. Например, установить, снять, закрепить и т. д. В технологической документации технологические и вспомогательные переходы нумеруются цифрами 1, 2, 3...

Структурными элементами технологического перехода являются рабочий ход и вспомогательный ход.

*Рабочий ход* — это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, которая сопровождается изменениями формы, размеров, качества поверхности или свойств заготовки.

*Вспомогательный ход* — это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, необходимого для подготовки рабочего хода. Примером вспомогательного хода является подвод инструмента к заготовке, перемещение его в исходное положение после выполнения рабочего хода и т. д.

Структурным элементом перехода является прием.

*Прием* — это законченная совокупность действий человека, необходимых для выполнения перехода или его части и объединенных одним целевым назначением. Например, вспомогательный переход «установить и снять заготовку» включает следующие приемы: взять заготовку, установить ее в приспособление, закрепить, открепить заготовку после обработки, снять заготовку со станка. Вспомогательный переход по замене инструмента включает такие приемы: взять инструмент, установить его в шпиндель станка, извлечь его из шпинделя.

При обработке заготовок на станках, где инструмент или заготовка закрепляются в поворотных устройствах, структурным элементом технологической операции является позиция.

*Позиция* — это фиксированное положение, занимаемое закрепленной заготовкой или собираемой сборочной единицей относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции. Иными словами, позиция — это фиксированное положение заготовки и инструмента относительно друг друга на станках с поворотными устройствами, например на токарно-револьверных станках. Изменение позиции производится поворотом заготовки или инструмента относительно друг друга. В технологической документации позиции обозначаются римскими цифрами I, II, III и т. д.

## **5. ПРАВИЛА ЗАПИСИ СОДЕРЖАНИЯ ОПЕРАЦИЙ И ПЕРЕХОДОВ**

.....

В технологической документации правила записи содержания операций и переходов при обработке резанием определены ГОСТ 3.1702–79, согласно которому запись содержания операции выполняется в форме маршрутного или операционного описания.

Маршрутное описание содержания операции следует применять в единичном и опытном производстве на соответствующих формах маршрутных карт (МК). Операционное описание содержания операции следует применять в серийном и массовом производстве на соответствующих формах операционных карт (ОК). Допускается применять операционное описание отдельных операций в единичном и опытном производстве. При операционном описании в записи операции отдельно выделяется содержание вспомогательных переходов. Запись вспомогательных переходов допускается не выполнять при наличии графических иллюстраций.

Согласно ГОСТ 3.1702–79 с приложениями к нему, в содержание операции при маршрутном описании должно быть включено:

1. Ключевое слово, характеризующее метод обработки, выраженное глаголом в неопределенной форме, например: точить, сверлить, фрезеровать и т. д. (приложение 3 в ГОСТ);
2. Дополнительная информация в виде указания количества последовательно или одновременно обрабатываемых предметов производства, поверхностей или конструктивных элементов, например 4 отверстия (приложение 4 в ГОСТ, часть 1);
3. Дополнительная информация, характеризующая обрабатываемую поверхность, например для отверстия: глухое, сквозное, или для канавки — кольцевая (приложение 4 в ГОСТ, часть 2);

4. Наименование обрабатываемой поверхности, конструктивных элементов или предметов производства, например: отверстие, поверхность, буртик, галтель, заготовка (приложение 5 в ГОСТ).
5. Информация по размерам или их условным обозначениям, например: размеры  $d_1 = \dots$ ,  $d_2 = \dots$ ,  $l_1 = \dots$ ,  $l_2 = \dots$  или размеры 1, 2, 3, 4, пронумерованные на чертеже (приложение 6 в ГОСТ).
6. Дополнительная информация по характеру обработки, например: предварительно, окончательно, одновременно, последовательно, по копиру, согласно чертежу и т. д. (приложение 4 в ГОСТ, часть 4).

Запись в указанном порядке называется полной и применяется при отсутствии графических иллюстраций к операции. При наличии графических иллюстраций применяют сокращенную запись. В этом случае в содержание операции включают пп. 1; 4; 5.

При операционном описании запись содержания перехода включает:

1. Ключевое слово, выраженное глаголом в неопределенной форме, который соответствует методу механической обработки, например: точить, сверлить, фрезеровать. Для вспомогательного перехода ключевое слово записывается глаголом в неопределенной форме, который соответствует выполняемому действию, например установить, снять, закрепить (приложение 3 в ГОСТ);
2. Наименование предметов производства, обрабатываемых поверхностей, конструктивных элементов, например буртик, галтель, резьба (приложение 5 в ГОСТ).
3. Условное обозначение размеров и конструктивных элементов (приложение 6);
4. Запись содержания перехода следует выполнять в соответствии с приложением 7 ГОСТ.

Рассмотрим структуру операции и ее запись на следующих примерах.

**Пример 1.** Пусть требуется получить четыре отверстия со снятием фасок в заготовке по чертежу на рис. 5.1.

При маршрутном описании полная запись содержания операции будет выглядеть так:

005. Сверлильная.

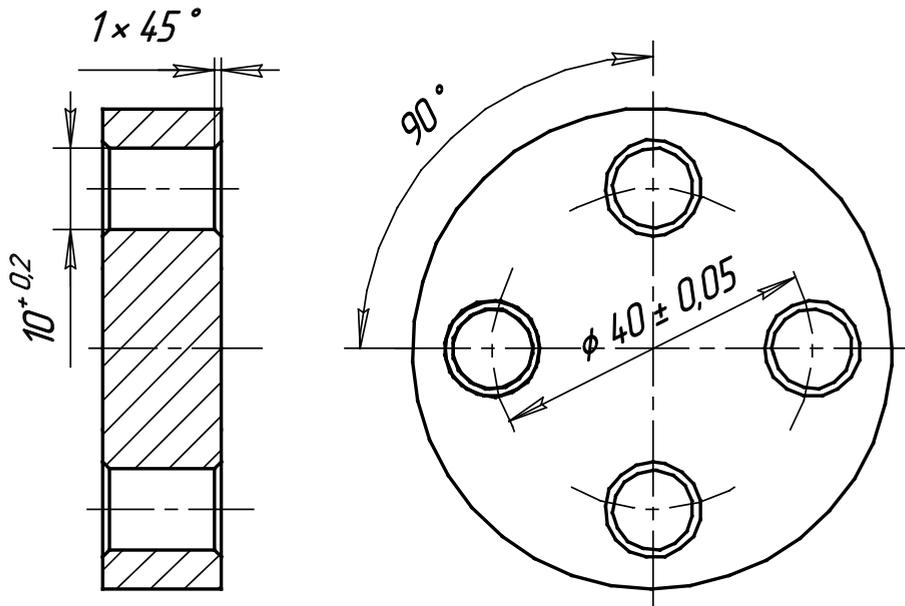


Рис. 5.1. Иллюстрация к примеру 1

Сверлить четыре сквозных отверстия с последующим зенкованием фасок, выдерживая  $d = 10 + 0,2$ ,  $d = 40 \pm 0,05$ ,  $\angle 90^\circ \pm 30$  и  $1 \times 45^\circ$  согласно чертежу.

Сокращенная запись:

Сверлить 4 отв.  $d = 10 + 0,2$ , зенковать фаски  $1 \times 45^\circ$  согласно чертежу.

**Пример 2.** Пусть требуется получить отверстие в сплошной заготовке (без отверстия) по чертежу на рис. 5.2, а в размер  $d = 20H8$ . Отверстия такого размера и точности можно получить последовательной обработкой: сверлением, зенкерованием и развертыванием на вертикально-сверлильном станке. При обработке используется следующая технология: заготовку устанавливают в самоцентрирующем трехкулачковом патроне, которым обеспечивается зажим заготовки и совмещение ее оси с осью шпинделя. В шпиндель устанавливают сверло диаметром 18 мм, которым сверлят отверстие в сплошном материале. Затем меняют сверло на зенкер и зенкуют отверстие в размер 19,8 мм. Затем меняют зенкер на развертку, переключают частоту вращения шпинделя, подачу и развертывают отверстие в размер  $d = 20H8$ . Далее заготовку открепляют и снимают со станка. Эскиз операции приведен на рис. 5.2, б.

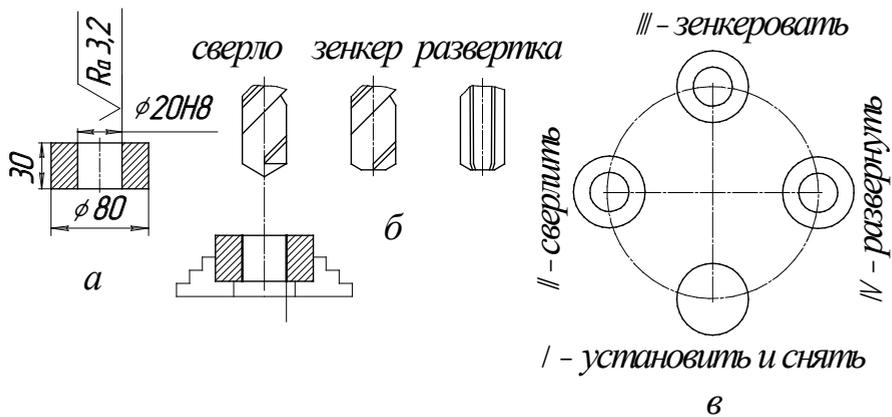


Рис. 5.2. Иллюстрация к примеру 2:

*a* — эскиз детали; *б* — эскиз сверлильной операции; *в* — эскиз одновременной обработки с применением многошпиндельной головки

При маршрутном описании полная запись содержания операции будет выглядеть так:

005. Сверлильная.

Сверлить, зенкеровать и развернуть сквозное отверстие, выдерживая размеры  $d = 18$ ;  $d = 19,8$ ;  $d = 20H8$ , последовательно, согласно чертежу.

При сокращенной записи будем иметь

005. Сверлильная.

Сверлить, зенкеровать и развернуть отверстие  $d = 20H8$ .

При операционном описании полная запись содержания операции будет выглядеть следующим образом:

005 Сверлильная.

1. Установить и снять.
2. Сверлить отверстие, выдерживая размер  $d = 18$ .
3. Зенкеровать отверстие, выдерживая размер  $d = 19,8$ .
4. Развернуть отверстие, выдерживая размер  $d = 20H8$

Рассмотренная операция содержит три технологических перехода и ряд вспомогательных. При операционном описании вспомогательные переходы по установке и снятию заготовки принято объединять в один: «Установить и снять». Вспомогательные переходы по замене инструмента объединены с технологическими переходами и отдельно не прописаны. Приемы, входящие в состав этих переходов, пере-

числены выше. Все переходы выполняются последовательно. Каждый технологический переход состоит из рабочего хода, связанного с обработкой отверстия, например сверления, и вспомогательных ходов, связанных с подводом инструмента к заготовке и перемещением его в исходное положение. Кроме того, в технологические переходы включены приемы по включению (выключению) частоты вращения шпинделя и подачи инструмента.

Можно построить операцию с другой структурой, в которой все переходы будут выполняться параллельно. Для этого вертикально-сверлильный станок оснащается револьверным устройством в виде поворотного стола с четырьмя трехкулачковыми самоцентрирующими патронами и трехшпindelной сверлильной головкой с тремя шпинделями: первый шпиндель для сверла, второй для зенкера и третий для развертки. Общий вид вертикально-сверлильного станка с многошпindelной сверлильной головкой показан на рис. 5.3.



Рис. 5.3. Станок (а) с многошпindelной сверлильной головкой (б)

Конструкция многошпindelной сверлильной головки представлена на том же рисунке. Шпиндели имеют разную частоту вращения, но одинаковую вертикальную подачу. Обработка заготовок выполняется за один рабочий ход шпинделя. Схема этой операции приведена на рис. 5.2, в. Согласно схеме на данной операции обрабатываются од-

новременно три детали. Обработка производится следующим образом. В первой позиции производится установка заготовки и снятие уже готовой детали. Вторая, третья и четвертая позиции используются для сверления, зенкерования и развертывания. Перемещение детали из позиции в позицию производится с помощью поворотного стола. Позиции обозначены римскими цифрами. Таким образом, операция имеет параллельную структуру, т. к. все технологические переходы совмещены.

Полная запись содержания операции при маршрутном описании выглядит следующим образом:

005 Сверлильная.

Сверлить, зенкеровать и развернуть сквозное отверстие, выдерживая размеры  $d=18$ ;  $d=19,8$ ;  $d=20H8$ , одновременно.

При операционном описании полная запись операции будет выглядеть так:

005 Сверлильная.

1. Установить и снять.

Одновременно:

2. Сверлить отверстие, выдерживая размер  $d=18$ .

3. Зенкеровать отверстие, выдерживая размер  $d=19,8$ .

4. Развернуть отверстие, выдерживая размер  $d=20H8$ .

**Пример 3.** Пусть требуется обработать вал на токарном станке (рис. 5.4).

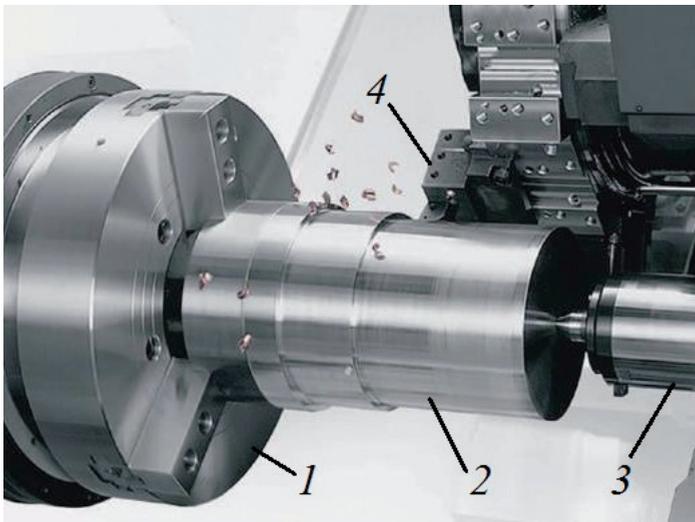


Рис. 5.4. Обработка заготовки на токарном станке:

1 — патрон; 2 — заготовка; 3 — задний центр;  
4 — резцедержатель с резцом

Заготовка закреплена в патроне и поджимается с торца задним центром. Заготовкой для вала является круглый прокат. Чертежи детали и заготовки представлены на рис. 5.5, а, б. Операция выполняется за два установа. Эскизы установов приведены на рис. 5.5, в, г. Поверхности, которые обрабатываются на этих установках, выделены утолщенными линиями. Размеры для этих поверхностей обозначены цифрами, заключенными в окружности. Поверхности, которые обрабатываются на этих установках, выделены утолщенными линиями. Размеры для этих поверхностей обозначены цифрами, заключенными в окружности.

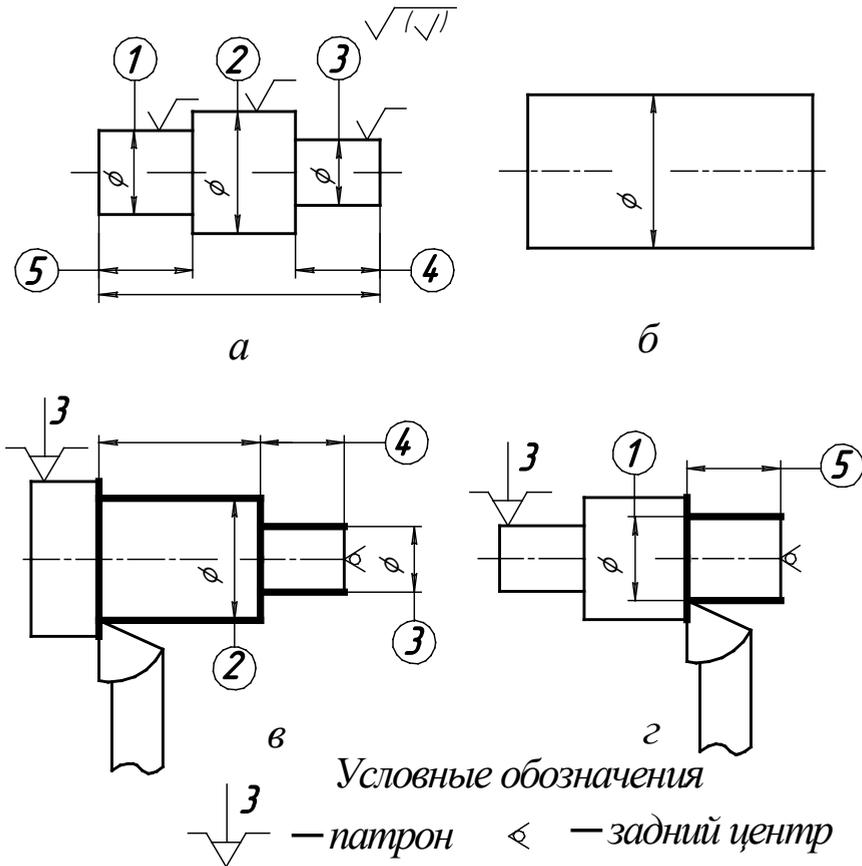


Рис. 5.5. Иллюстрации к технологической операции, состоящей из двух установов:

а — деталь; б — заготовка; в — эскиз первого установа;  
г — эскиз второго установа

При маршрутном описании полная запись содержания операции будет выглядеть так:

005. Токарная.

Точить поверхности, выдерживая размеры 1–5 последовательно согласно чертежу.

При операционном описании будем иметь следующую запись:

005. Токарная.

1. Установить и снять.
2. Точить поверхности, выдерживая размеры 2, 3, 4.
3. Переустановить и закрепить.
4. Точить поверхности, выдерживая размеры 1, 5.

## **6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

.....

Основным результатом деятельности инженера-технолога является разработка технологических процессов механической обработки и оформление на них технологической документации. Создание этих процессов является задачей, которая может иметь несколько вариантов решения. Поиск рационального решения связан с учетом разнообразных факторов.

### *6.1. Факторы, влияющие на технологический процесс*

.....

Основными факторами, которые оказывают влияние на технологический процесс, являются:

- размеры, форма и точность размеров исходной заготовки, методы ее получения;
- форма, размеры и материал изделия;
- точность размеров, формы и расположения поверхностей изделия, шероховатость поверхности;
- размер производственной программы, т. е. количество изделий и сроки изготовления в заданном количестве;
- тип и методы работы производства;
- технологичность конструкции изделия;
- выбор баз при механической обработке;
- технологическое оснащение производства (оборудование, оснастка, инструмент, расходные материалы);
- производственные затраты.

Учет влияния этих и других факторов на технологический процесс становится возможным после изучения соответствующих разделов дисциплин по технологии машиностроения.

## *6.2. Исходные данные для проектирования технологических процессов*

Исходные данные для проектирования технологических процессов включают базовую, руководящую и справочную информацию (Рекомендации ВНИИНМАШ Р50-54-93-88).

*Базовая информация* включает комплект рабочей конструкторской документации на изделие и программу его выпуска.

*Программой выпуска продукции*, по ГОСТ 14.004–83, называется установленный для данного предприятия перечень изготавливаемых изделий с указанием объема выпуска по каждому наименованию на планируемый период времени.

*Руководящая и справочная информация* включает документацию на действующие технологические процессы, стандарты по ЕСТД\*, паспортные данные на оборудование, оснастку, инструмент, методическую и справочную документацию по расчетам припусков, режимов резания, норм времени на механическую обработку, требования по технике безопасности и т. д.

Иными словами, исходными данными для проектирования технологического процесса механической обработки детали являются: чертеж детали, технические условия к нему, объем выпуска изделий, сроки изготовления в заданном объеме, условия действующего и вновь создаваемого производства, а также весь набор технических и технологических средств, доступных проектировщику.

## *6.3. Порядок разработки технологических процессов механической обработки*

Технологические процессы механической обработки проектируются в следующей последовательности:

1. Анализ технологичности конструкции.

---

\* ЕСТД (ЕСТД) — единая система технологической документации.

2. Определение типа производства и метода его работы.
3. Выбор метода получения заготовки, определение ее формы и размеров.
4. Выбор методов и этапов обработки поверхностей.
5. Разработка технологического маршрута, запись содержания операций и переходов, выбор способов базирования и закрепления заготовки, средств технологического оснащения (СТО — оборудования, инструмента, технологической оснастки).
6. Проведение размерного анализа и расчет припусков на механическую обработку.
7. Расчет режимов резания.
8. Техническое нормирование технологического процесса.
9. Оформление технологической документации.

Последующие главы содержат основные сведения, которые необходимы для проектирования технологических процессов механической обработки.

## **7. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ**

---

*Технологичностью конструкции изделия*, по ГОСТ 14.205—83, называется совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению определенных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ. Иными словами, технологичность — это совокупность свойств изделия, обеспечивающих его простое, качественное, экономичное изготовление и эксплуатацию. Отработка конструкции на технологичность ведется на всех этапах проектирования и производства изделия. Однако ее основная часть должна быть выполнена при проектировании. Конструктор должен иметь хорошую технологическую подготовку. В то же время оценка технологичности конструкции при разработке технологического процесса обязательна, т. к. квалификация технолога в области проектирования технологических процессов, как правило, выше, чем у конструктора. Оценка технологичности конструкции на стадии производства является проверкой эффективности конструкторских и технологических решений. Эта оценка позволяет устранить имеющиеся недостатки, внести изменения в конструкцию изделий, вскрывает резервы для дальнейшего повышения технологичности конструкции.

Анализ технологичности конструкции является сложной задачей, успешное решение которой существенно зависит от опыта и квалификации исполнителей. Круг вопросов, который затрагивается при этом, довольно широк. Подробное их изложение представлено в специальной литературе. Рассмотрим ряд рекомендации по изменению конструкции изделий некоторых типов для повышения их технологичности при механической обработке.

## Корпусные детали

К этим деталям относятся рамы, станины, корпуса и т. д., которые сложны и разнообразны по конструкции. Они являются базовыми деталями сборочных единиц и служат опорой для прочих узлов и деталей, объединяя их в законченную конструкцию. Наиболее известным представителем класса таких деталей является корпус редуктора зубчатых передач. Рассмотрим некоторые примеры требований к технологичности корпусных деталей.

Обрабатываемые плоскости рекомендуется располагать на одном уровне, что позволяет обрабатывать эти поверхности за один рабочий ход без остановки и настройки станка на другой размер (рис. 7.1).

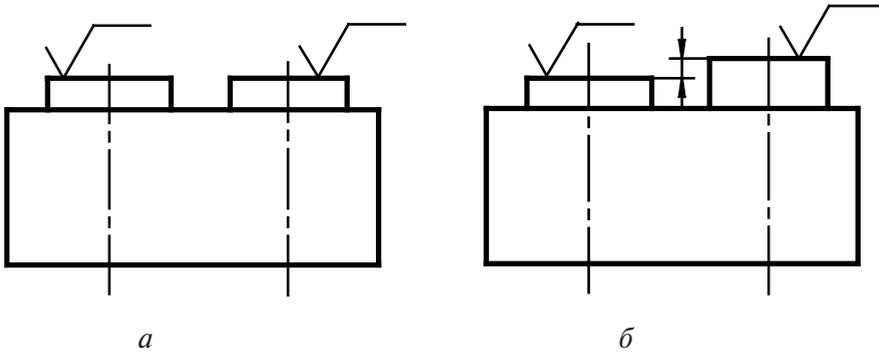


Рис. 7.1. Конструкция корпусных деталей с бобышками:

*a* — технологичная; *б* — нетехнологичная

Деталь, показанная на рис. 7.2, *б*, имеет глухой паз с выступом (бобышкой) на дне. Недостаток конструкции детали заключается в том, что для обработки бобышки в размер по высоте можно использовать только вертикально-фрезерный станок, а также фрезу, диаметр которой меньше ширины паза. Кроме того, при обработке каждой детали необходимо фрезу ввести в паз, настроить станок для обработки бобышки в размер по высоте, затем вывести фрезу из паза. Эти действия увеличивают затраты времени на обработку детали. Если размер бобышки по высоте будет больше глубины паза, т. е. выступать из него, то обработку бобышки можно вести концевой фрезой любого диаметра, использовать кроме вертикально-фрезерного станка горизонтально-фрезерный станок, а также вести обработку деталей с одной настройки станка по методу автоматического получения размеров, что повышает производительность.

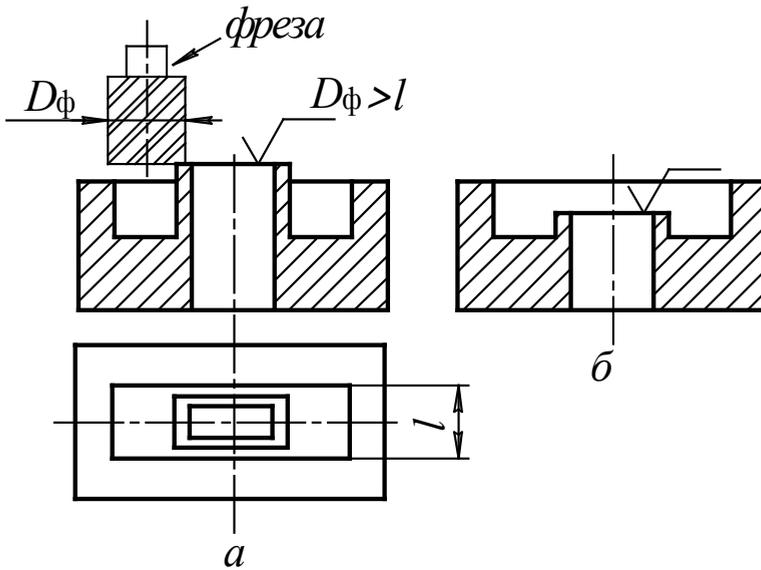


Рис. 7.2. Конструкция корпусных деталей с пазом и бобышкой:  
*a* — технологичная; *б* — нетехнологичная

Межосевые расстояния отверстий небольшого диаметра в корпусных деталях необходимо задавать так, чтобы была возможность их обработки на многшпиндельных станках (рис. 7.3).

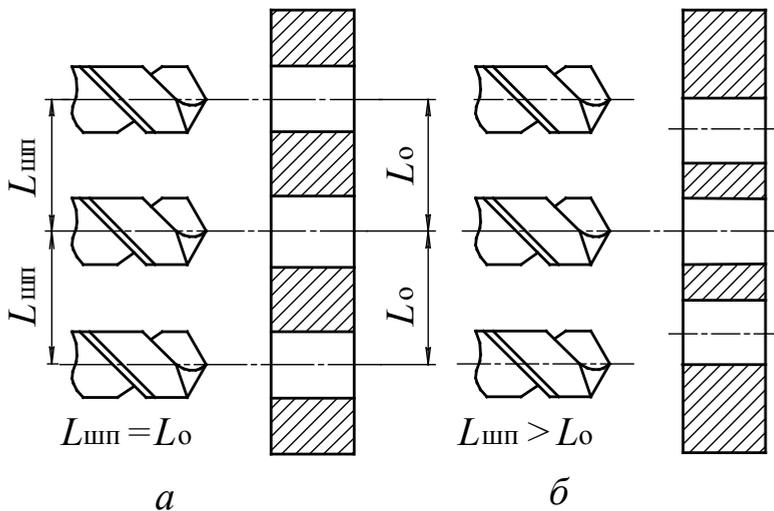


Рис. 7.3. Конструкция корпусных деталей с отверстиями:  
*a* — технологичная; *б* — нетехнологичная

Многошпиндельная сверлильная головка для вертикально сверлильного станка показана на рис. 5.3. Она предназначена для одновременной обработки нескольких отверстий за один рабочий ход. В конструкции такой головки предусмотрена возможность изменения межосевого расстояния шпинделей  $L_{\text{шп}}$ . Эти расстояния при обработке должны быть равными межосевым расстояниям отверстий детали  $L_0$ . Если межосевые расстояния отверстий будут больше минимальных межосевых расстояний шпинделей, которые можно обеспечить конструкцией сверлильной головки, то рекомендуется увеличить межосевые расстояния отверстий до минимальных межосевых расстояний шпинделей.

На рис. 7.4 представлена конструкция детали с соосными отверстиями. Эти отверстия используются для установки подшипников. Поэтому к отклонениям от соосности этих отверстий предъявляются повышенные требования. Растачивание отверстий выполняют на горизонтально расточных станках (рис. 7.5). Горизонтально-расточный станок имеет неподвижную стойку 1, на которой установлена шпиндельная бабка 2 с планшайбой 3 и выдвижным шпинделем 4.

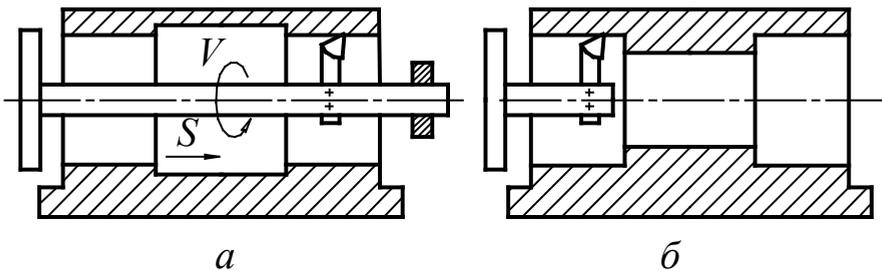


Рис. 7.4. Конструкция корпусных деталей с соосными отверстиями:

*а* — технологичная; *б* — нетехнологичная

На направляющих станины расположены продольный и поперечный суппорта 5 с поворотным столом 6, а также люнет 7 для крепления борштанги. Борштанга с резцом устанавливается в шпиндель консольно или закрепляется свободным концом в люнете. Планшайба и шпиндель имеют раздельное вращение. Растачивание отверстий производится вращением шпинделя с перемещением его вдоль своей оси. Если участок между этими отверстиями имеет меньший диаметр, то сначала растачивают отверстие с одной стороны, затем деталь поворачивают и растачивают отверстие с другой стороны. Когда поворот детали осуществляется со сменой установа, то при растачивании отверстий

возникает погрешность в виде отклонения от соосности. Изменение положения детали поворотом стола повышает точность, т. е. отклонение от соосности уменьшается, но увеличивает время обработки из-за его затрат на поворот стола.

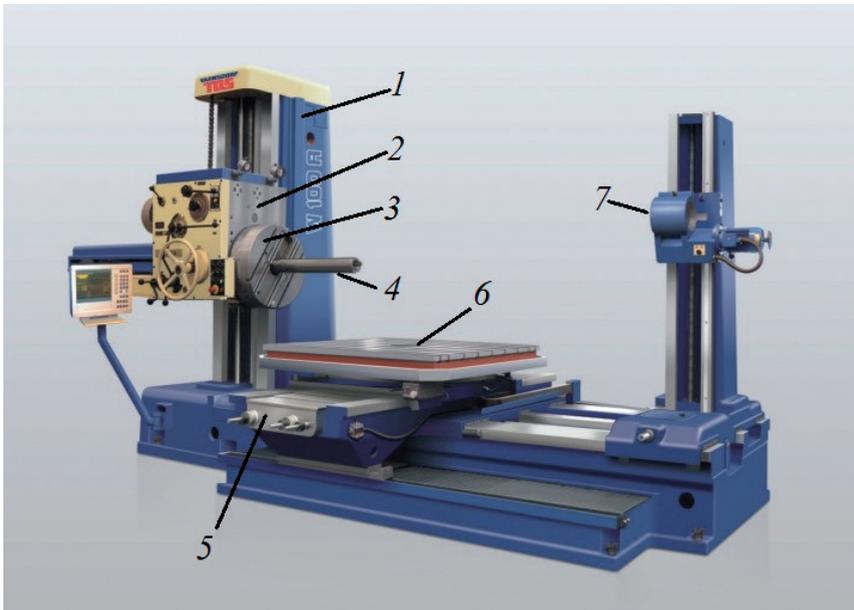


Рис. 7.5. Горизонтально-расточной станок

Растачивание отверстий на проход за один установ полностью исключает погрешность в виде отклонения от соосности. Поэтому для повышения технологичности конструкции необходимо, чтобы диаметр участка между отверстиями был больше диаметра отверстий.

На рис. 7.6 представлена конструкция детали, при обработке которой необходимо получить точный размер между внутренними торцовыми поверхностями. Этот размер обеспечивается подрезкой торцов на горизонтально-расточном станке. Для выполнения данной операции на планшайбе станка имеется специальный суппорт, который работает от индивидуального привода с радиальной подачей за счет перемещения по направляющим планшайбы. На суппорт устанавливается оправка с резцом. Движение резания производится вращением планшайбы. Подрезка внутренних торцевых поверхностей является сложной операцией. Чтобы исключить подрезку этих поверхностей и обеспечить размер между ними, целесообразно установить в отверстия детали втулки по посадке с натягом.

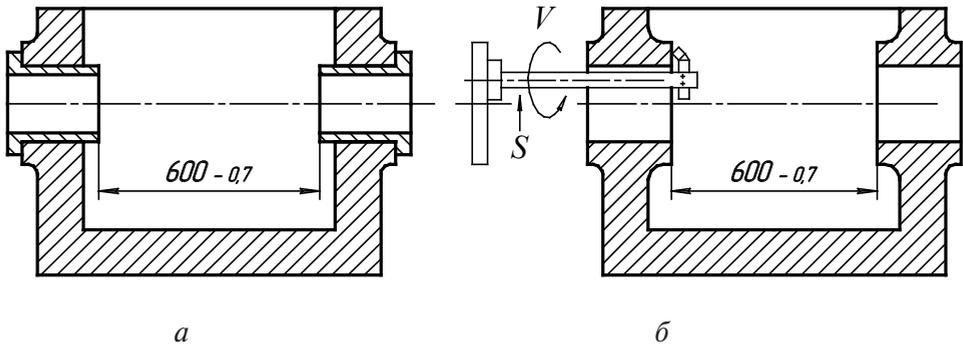


Рис. 7.6. Конструкция корпусных деталей с точным размером между внутренними торцами отверстий:

*a* — технологичная; *б* — нетехнологичная

На рис. 7.7 представлена деталь, отверстия в которой обрабатываются на горизонтально-расточном станке.

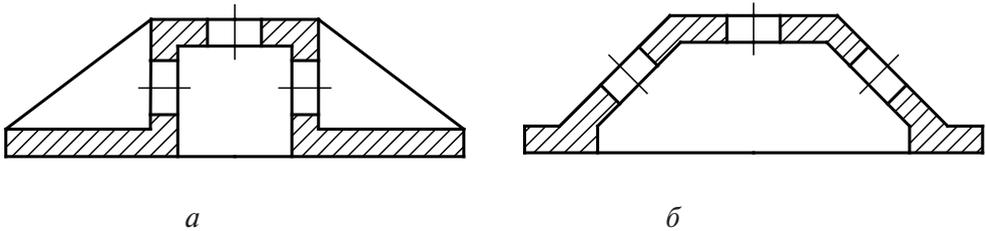


Рис. 7.7. Конструкция корпусных деталей с отверстиями:

*a* — технологичная; *б* — нетехнологичная

Если поверхности с отверстиями расположены наклонно, то при обработке этих отверстий на горизонтально-расточном станке необходимо использовать приспособление, в котором заготовка устанавливается так, чтобы оси отверстий располагались горизонтально. Проектирование и изготовление такого приспособления связано с дополнительными трудозатратами. Кроме того, каждое отверстие необходимо будет растачивать отдельно со сменой станова. Поэтому для повышения технологичности такой конструкции целесообразно располагать поверхности с отверстиями вертикально.

При установке заготовок на станке необходимо обеспечить их устойчивое положение. Для этого опорные поверхности заготовки должны иметь достаточные размеры. Опорная поверхность заготовки, пред-

ставленной на рис. 7.8, *б* имеет небольшие размеры, поэтому ее положение при обработке плоскостей бобышек является неустойчивым.

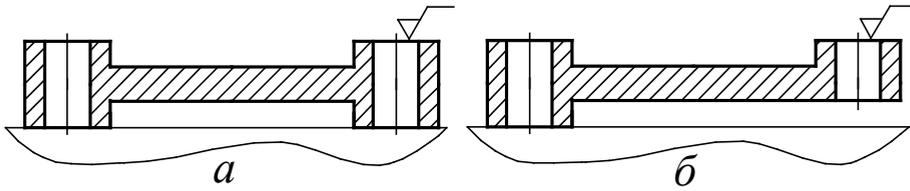


Рис. 7.8. Конструкция деталей с опорными поверхностями:

*а* — технологичная; *б* — нетехнологичная

Повысить устойчивость заготовки можно за счет изменения ее конструкции, дополнив ее элементами с опорными поверхностями.

При проектировании деталей на опорах целесообразно использовать конструкцию с тремя опорами (рис. 7.9). Высота опор из-за погрешностей размеров может быть неодинаковой. Поэтому при большем количестве опор деталь, при установке на плоскость, будет опираться на три точки, причем каждый раз на разные, что создает неопределенность положения детали при закреплении.

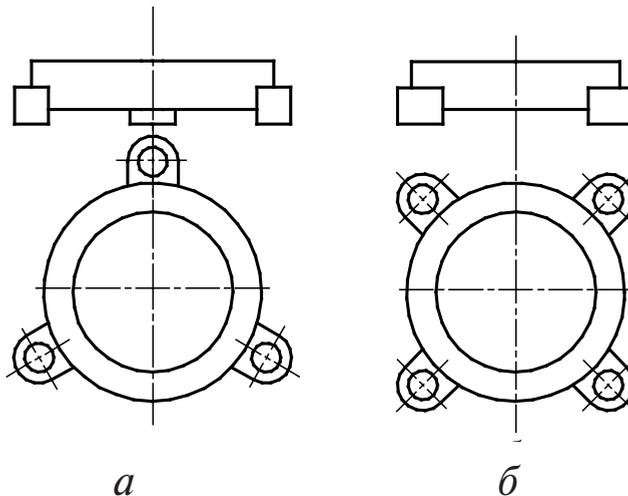


Рис. 7.9. Конструкция корпусных деталей на опорах:

*а* — технологичная; *б* — нетехнологичная

При сверлении отверстий необходимо обеспечивать вход и выход инструмента перпендикулярно поверхности, что исключает его по-

ломку. Поэтому поверхности с уклонами необходимо предварительно обработать так, как показано на рис. 7.10, *а*.

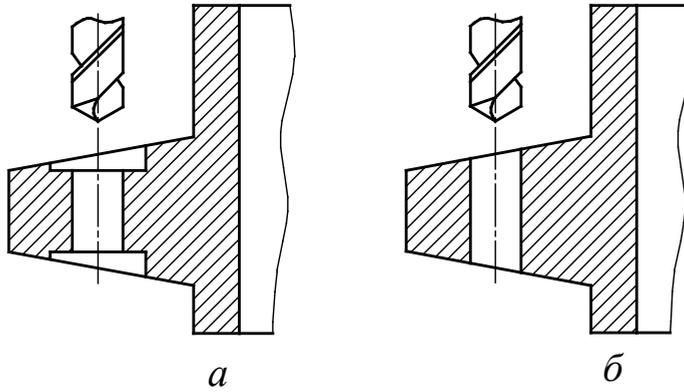


Рис. 7.10. Конструкция корпусных деталей с отверстиями:

*а* — технологичная; *б* — нетехнологичная

На рис. 7.11, *б* представлена деталь с фланцем, отверстия на котором расположены близко к корпусу детали. Для сверления этих отверстий необходимо использовать сверло большой длины, которая может не соответствовать стандарту. Для использования стандартного сверла целесообразно увеличить расстояние между осями отверстий на фланце (рис. 7.11, *а*).

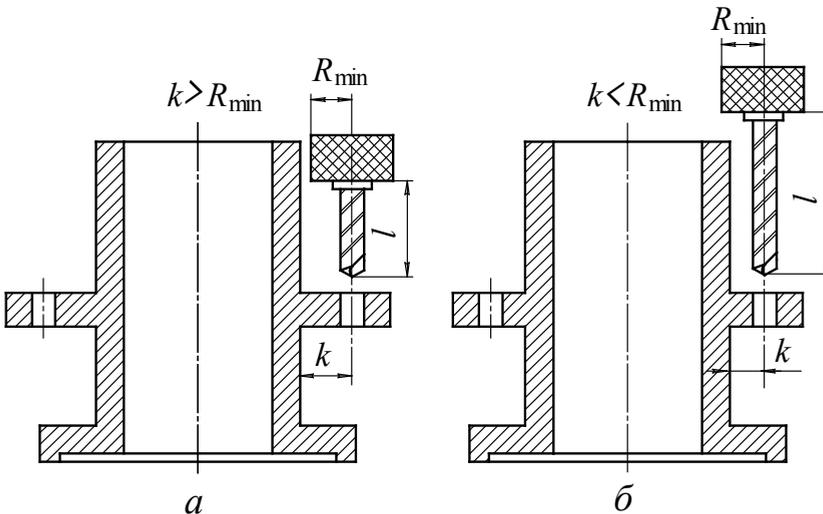


Рис. 7.11. Конструкция корпусных деталей с отверстиями на фланце:

*а* — технологичная; *б* — нетехнологичная

## Валы и оси

По конструкции валы и оси могут быть гладкими, ступенчатыми, полыми и сплошными. На валах и осях размещаются зубчатые колеса, шкивы, подшипники. Базовым элементом валов и осей является геометрическая ось, относительно которой в основном производится нормирование точности элементов этих деталей. Примеры требований к технологичности валов и осей:

1. Точные валы и оси необходимо обрабатывать в центрах с поводковым патроном.
2. Там, где возможно, следует применять гладкие оси и валы. Это позволяет использовать при изготовлении точный калиброванный прокат, что уменьшает трудозатраты на механическую обработку.
3. Для валов, подвергаемых закалке токами высокой частоты (ТВЧ), острые кромки элементов в зоне нагрева следует притупить, чтобы избежать их оплавления из-за более высокой скорости и температуры нагрева.
4. При закалке ступенчатых валов ТВЧ рекомендуется оставлять незакаленными участки перехода от одной ступени к другой с галтелями, чтобы снизить концентрацию напряжений и уменьшить вероятность появления закалочных трещин.
5. При обработке валов на многорезцовых токарных полуавтоматах длину ступеней следует выбирать одинаковой или кратной длине наименьшей ступени. В этом случае вал можно будет обрабатывать по длине за один рабочий ход (рис. 7.12).

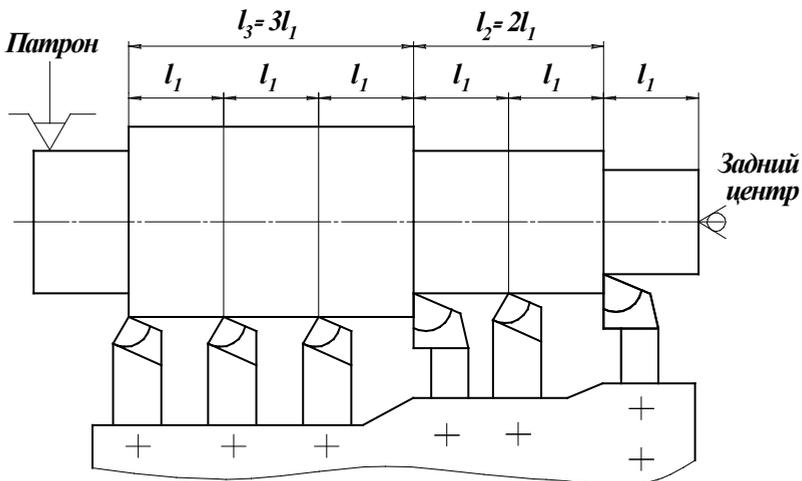


Рис. 7.12. Обработка вала на токарном многорезцовом полуавтомате

6. Ступенчатые валы и оси необходимо проектировать с минимальным перепадом диаметров ступеней, т. к. при этом снижается концентрация напряжений на участках перехода от одной ступени к другой и повышается сопротивление усталости.
7. Заготовку для валов с фланцем на конце целесообразно получать высадкой на горизонтально-ковочных машинах, штамповкой или сваркой, что снижает трудоемкость механической обработки и расход металла.

### Втулки

Детали типа втулок и колец применяют в качестве муфт, распорных элементов и опор для валов. Втулки могут иметь резьбовые, шлицевые поверхности, а также буртики и канавки на наружной и внутренней поверхностях.

При конструировании деталей этого класса рекомендуется:

1. Для обеспечения соосности внутренних и наружных поверхностей обрабатывать эти поверхности за один установ.
2. Не применять глухие отверстия, расположенные с двух сторон втулки, т. к. обработка таких отверстий производится за два установа, а при смене установа возникает отклонение от соосности.
3. Не применять внутренние канавки малого диаметра с точными размерами.
4. Втулки со шлицами выполнять сквозными, чтобы обеспечить свободный выход режущего инструмента и использовать протягивание (рис. 7.13, *а*).

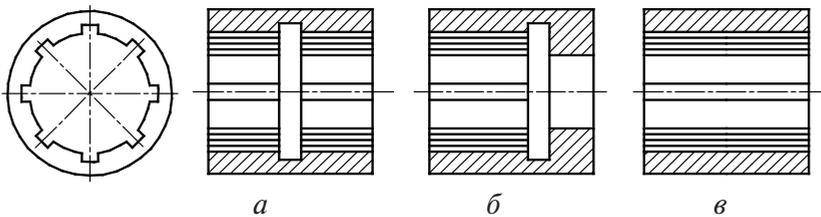


Рис. 7.13. Конструкция втулок со шлицами:

*а, б* — нетехнологичная; *в* — технологичная

5. Не использовать прерывистые поверхности со шлицами, что позволяет уменьшить количество ударов по режущему инструменту при врезании (рис. 7.13, *в*).

Требования к технологичности для других типов изделий (рычагов, зубчатых колес и т. д.) можно найти в специальной литературе.

## 8. ТИПЫ ПРОИЗВОДСТВА И МЕТОДЫ ЕГО РАБОТЫ

---

*Типом производства*, по ГОСТ 14.004–83, называется классификационная категория производства, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности и стабильности объема выпуска продукции.

Иными словами, тип производства определяется объемом и повторяемостью выпуска изделий. Не следует смешивать тип производства с его видом.

*Видом производства*, по ГОСТ 14.004–83, называется классификационная категория производства, выделяемая по признаку применяемого метода изготовления изделий. Примерами видов производства являются литейное, кузнечное, сварочное, механосборочное и т. д.

Согласно ГОСТ 14.004–83 в машиностроении различают три типа производства: единичное, серийное и массовое.

*Единичное* производство характеризуется малым объемом выпуска изделий, повторное изготовление и ремонт которых, как правило, не предусматривается. Характерным признаком единичного производства является изготовление на рабочих местах разнообразных деталей в небольшом количестве. Примерами единичного производства являются: тяжелое машиностроение, судостроение, опытные заводы, ремонтные цеха.

*Серийное* производство характеризуется изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями различного объема. Примерами серийного производства являются: автомобилестроение, станкостроение, производство буровых установок, двигателей внутреннего сгорания и т. д.

В зависимости от объема партии серийное производство подразделяется на мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное. Серийность производства определяется коэффициентом закрепления операций

$$K_{30} = \frac{O}{P},$$

где  $O$  — число всех технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в подразделении за месяц;

$P$  — число рабочих мест в подразделении.

Производство считается мелкосерийным, если:  $20 < K_{30} \leq 40$ .

Для среднесерийного производства:  $10 < K_{30} \leq 20$ .

Для крупносерийного производства:  $1 < K_{30} \leq 10$ .

Серийное производство является основным в машиностроении. Примерно 80 % всей продукции машиностроения изготавливается на производстве этого типа.

*Массовое* производство характеризуется большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна операция. Для массового производства  $K_{30} = 1$ . Примерами массового производства являются автотракторостроение, производство подшипников качения, боеприпасов и т. д.

Тип производства определяется при строительстве новых заводов. На начальном этапе проектирования число операций и число рабочих мест неизвестны, что не позволяет выполнить расчет  $K_{30}$ . Поэтому тип производства определяется ориентировочно по массе и годовой программе выпуска изделий. Данные для определения типа производства представлены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

**Данные для ориентировочного определения типа производства**

Масса детали $m_d$ , кг	Объем годового выпуска деталей $N$ , шт. в зависимости от типа производства			
	Мелкосерийное	Среднесерийное	Крупносерийное	Массовое
$m_d < 1$	< 2000	2000–75000	75000–200000	> 200000
$1 \leq m_d < 2,5$	< 1000	1000–50000	50000–100000	> 100000
$2,5 \leq m_d < 5$	< 500	500–35000	35000–75000	> 75000
$5 \leq m_d < 10$	< 300	300–25000	25000–50000	> 50000
$m_d > 10$	< 200	200–10000	10000–25000	> 25000

Окончательное решение по определению типа производства принимается после окончания проектных работ. Тогда расчет  $K_{30}$  становится

возможным. Тип производства, установленный с помощью  $K_{30}$ , сравнивают с типом производства, выбранным по табл. 8.1. При несовпадении результатов следует принять тип производства, определяемый  $K_{30}$ .

Кроме типа производства на проектирование технологического процесса влияет метод его работы. В машиностроении по методу работы различают поточное производство и непоточное производство.

*Поточное производство*, по ГОСТ 14.004–83, характеризуется расположением средств технологического оснащения в последовательности выполнения операций технологического процесса и определенным интервалом выпуска изделий.

В поточном производстве все рабочие места объединены в поточную линию. На каждом рабочем месте выполняется одна операция. Поточное производство характеризуется двумя параметрами: тактом и ритмом выпуска изделий.

*Тактом выпуска*, по ГОСТ 3.1109–82, называется интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий или заготовок определенного наименования, типоразмера и исполнения. Такт выпуска определяется по формуле

$$T_{\text{в}} = 60 \frac{\Phi_{\text{д}}}{N} \quad (\text{мин/шт.}).$$

Здесь  $\Phi_{\text{д}}$  — действительный фонд времени работы оборудования в планируемом периоде (год, месяц, сутки, смена, час);

$N$  — объем выпуска изделий за тот же период, шт.

Действительный фонд времени не включает временные затраты на ремонт оборудования. Этим он отличается от номинального, или календарного, фонда времени. Действительный фонд времени работы оборудования в одну, две и три смены составляет 2030, 4015 и 5965 часов в год. Номинальный фонд времени для той же сменности работы оборудования соответственно равен 2080, 4140 и 6210 часам в год. Действительный фонд времени для рабочих за одну смену составляет 1860 часов. Уменьшение количества часов связано с отпуском, минимальная продолжительность которого для рабочих составляет 28 календарных дней.

Оценка производительности поточной линии производится расчетом ритма выпуска.

*Ритмом выпуска*, по ГОСТ 3.1109–82, называется количество изделий или заготовок определенного наименования, типоразмера и исполнения, выпускаемых в единицу времени. Очевидно, что ритм выпуска — величина, обратная такту. Существуют две формы организации поточного производства: непрерывно-поточная и прерывно-поточная.

В *непрерывно-поточном производстве* рабочие места располагаются в последовательности выполнения операций технологического процесса (технологической цепочке), каждая операция закреплена за определенным рабочим местом, заготовки передаются с одного рабочего места на другое поштучно, не накапливаясь в заделах, причем длительность каждой операций равна или кратна такту выпуска. Таким образом, условием организации непрерывно-поточного производства является кратность времени выполнения каждой технологической операции такту выпуска изделий. Приведение длительности операции к промежутку времени, кратному такту выпуска, называется синхронизацией. Синхронизацию обеспечивают изменением количества станков на рабочих местах, дифференциацией и концентрацией операций.

*Дифференциацией* операций называется разделение сложной операции на отдельные технологические переходы или группы переходов с выполнением их на вновь организованных рабочих местах, т. е. возведением этих технологических переходов в ранг операций.

*Концентрацией* операций называется соединение ряда операций в одну более сложную операцию, т. е. превращение этих операций в технологические переходы. Данная форма организации производства применяется в массовом и частично в крупносерийном производстве.

В *прерывно-поточном производстве* рабочие места расположены также по технологическому маршруту. Однако длительность выполнения различных операций не равна и не кратна такту выпуска. Поэтому передача заготовок с одного рабочего места на другое из-за разной производительности происходит с остановками и накоплением в расположенных между рабочими местами заделах или буферах. Это приводит к простоею некоторых рабочих мест. Такой метод работы применяется в крупносерийном и среднесерийном производстве.

*Непоточная форма* производства применяется в единичном и мелкосерийном производстве. В этом случае создаются участки из станков одной группы: токарных, фрезерных, шлифовальных и т. д., на которых выполняется один вид обработки. Заготовки партиями передаются с участка на участок, на которых имеются специально отведенные места для складирования. Производительность при непоточной форме производства ниже, чем при поточной форме, однако существование такого производства вполне оправдано при большой номенклатуре изделий.

## 9. ВЫБОР МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВКИ

---

Заготовкой, по ГОСТ 3.1109–82, называется предмет труда, из которого изменением формы, размеров и свойств поверхности и (или) материала изготавливают деталь. Основными методами получения заготовок являются литье, ковка, штамповка, прокатка. Используются также сварные заготовки. Заготовки, полученные этими методами, соответственно называются отливками, поковками, штампованными заготовками и прокатом. Методы получения заготовок и требования к ним подробно рассматриваются в курсе «Производство и механическая обработка заготовок».

Выбор метода получения заготовки может быть осуществлен при проектировании изделия конструктором и откорректирован технологом при анализе рабочей конструкторской документации. Этот выбор осуществляется на основе всестороннего анализа следующих факторов: назначение изделия, условия его эксплуатации, материал, размеры, форма, объем выпуска, техническая оснащенность заготовительного производства. Окончательное решение принимается на основе расчета стоимости получения заготовки различными методами. После выбора метода получения заготовки определяют ее конфигурацию, размеры, допуски на них, припуски на механическую обработку, разрабатывают чертеж и технические условия на изготовление. Рассмотрим основные рекомендации по выбору метода получения заготовки.

*Отливки* используют в качестве заготовок для корпусных деталей, которые выполняют функции несущих конструкций. Чугунные отливки применяют для изделий сложной конфигурации, которые не подвергаются ударным нагрузкам, а также действию растягивающих и изгибающих напряжений. Сталь по сравнению с чугуном об-

ладает меньшей жидкотекучестью, но более высокой прочностью. Поэтому стальные отливки применяют для деталей с менее сложной конфигурацией, однако работающих в более тяжелых условиях нагружения. Отливки из цветных металлов используют для деталей с особыми эксплуатационными свойствами: коррозионной стойкостью, малой массой и т. д.

*Сварные заготовки* используют для корпусных деталей в единичном и мелкосерийном производстве, когда применение дорогостоящей литейной оснастки экономически невыгодно.

*Поковки*, полученные свободной ковкой, используют в качестве заготовок для крупных деталей, а также для деталей меньшего размера в единичном и мелкосерийном производствах, когда применение дорогостоящей оснастки (штампов) экономически невыгодно.

*Штампованные заготовки* имеют ряд преимуществ перед заготовками, полученными другими методами. Так, в частности, они имеют размеры близкие к размерам детали, что уменьшает припуски на механическую обработку, а также более однородную структуру металла, что повышает его механические свойства. Однако из-за высокой стоимости инструмента для штамповки (штампов) ее применение эффективно при большой производственной программе выпуска изделий, т. е. в условиях крупносерийного или массового производства.

*Прокат* с круглым поперечным сечением применяется преимущественно для изготовления гладких и ступенчатых валов, поперечное сечение которых незначительно изменяется по длине. Заготовки для валов с существенным отличием диаметров по ступеням получают штамповкой или высадкой на горизонтально-ковочных машинах, что позволяет уменьшить припуски и сократить отходы при механической обработке.

## 10. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА

---

*Технологическим маршрутом* называется последовательность технологических операций обработки или сборки изделий, записанная в порядке их выполнения. На разработку технологического маршрута влияет ряд факторов. Рассмотрим некоторые из них.

Форма и размеры изделия оказывают влияние на выбор метода и оборудования для обработки поверхностей. Плоские поверхности обрабатываются фрезерованием, строганием, шлифованием, протягиванием, точением на токарно-карусельных станках. Цилиндрические поверхности подвергаются токарной обработке — точению и растачиванию. Таким образом, для каждого вида поверхности существует свой метод или набор методов механической обработки с соответствующим технологическим оснащением: станками, приспособлениями и инструментом.

Точность и шероховатость поверхности, заданная на чертеже детали, достигается поэтапным удалением припуска с обрабатываемой поверхности, что оказывает влияние на выбор технологического маршрута. Обработка поверхности может включать следующие этапы:

- черновой, на котором удаляется с поверхности заготовки основная часть припуска, обеспечивается точность обработки по 12–14 качеству, а шероховатость поверхности по  $R_a$  составляет 6,3–12,5 мкм;
- получистовой, на котором обработка поверхности выполняется с допусками по 8–10 качеству, а ее шероховатость по  $R_a$  составляет 1,25–2,5 мкм;
- чистовой, на котором по точности имеем 7 качество, а шероховатость по  $R_a$  составляет 0,63–1,25 мкм;
- отделочный, на котором точность обработки повышается до 5–6 качества, а шероховатость по  $R_a$  составляет менее 0,32 мкм.

Приведенный перечень этапов является ориентировочным. В технической и учебной литературе можно встретить другие варианты, которые могут отличаться по показателям точности и шероховатости. Однако эти отличия, как правило, несущественные.

Если применяется один метод обработки поверхности, например точение, то все этапы выполняют на станках одной группы. Заданная точность и шероховатость обеспечивается выбором режимов резания, геометрии инструмента и приспособлений. Часто на определенном этапе изменяют метод обработки. Например, после точения применяют шлифование.

Размер производственной программы определяет тип и методы работы производства, что оказывает существенное влияние на выбор технологического маршрута. В единичном и мелкосерийном производстве каждый вид обработки полностью производится на универсальных станках, размещенных на отдельных участках по групповому признаку. Каждая операция может содержать большое количество переходов, выполняемых на одном станке. В крупносерийном и массовом производстве используют поточные методы. При разработке технологического маршрута применяется дифференциация и концентрация операций. В первом случае технологический процесс делят на простые операции, с малым количеством переходов, чаще не более одного, с использованием специальных станков. Во втором случае операции объединяют в более сложные операции, состоящие из большого числа переходов. Обработку ведут на станках-автоматах, полуавтоматах и агрегатных станках.

При любом типе производства эффективным является использование станков с ЧПУ. Применение этих станков обеспечивает высокую точность и производительность. В то же время при мелкосерийном производстве за счет гибких систем программирования и оснащения этих станков большим количеством режущего инструмента можно быстро и дешево выполнить настройку станков на выпуск новой продукции.

При разработке технологического маршрута следует также учитывать следующие рекомендации:

1. Первыми обрабатываются поверхности (базы), на которые затем устанавливается заготовка — в приспособлении или на станке для обработки других поверхностей.
2. Точность обработки поверхности на каждом последующем переходе или операции должна повышаться, а шероховатость — уменьшаться.

3. Очередность обработки поверхностей с различной точностью устанавливается так, что в первую очередь обрабатываются наименее точные поверхности, а в последнюю очередь наиболее точные. Обоснование этого положения представлено в пункте 11.9.2.
4. Если точная поверхность обработана раньше остальных, менее точных, то следует осуществить контроль ее размеров и при необходимости обработать повторно.
5. Очередность обработки поверхностей с различным припуском устанавливается так, что в первую очередь обрабатываются поверхности, которые имеют максимальный припуск. Это позволяет выявить внутренние дефекты материала заготовки, например раковины в отливках.
6. Для чистовой обработки следует использовать более точные станки, а для черновой обработки менее точные станки, т. е. вести чистовую и черновую обработку на разных станках.
7. Если деталь с точными размерами подвергается закалке и шлифованию, то шлифование выполняется после термообработки.
8. При большом количестве операций или переходов с целью исключения брака рекомендуется вводить промежуточный контроль.

Этот перечень не является полным, т. к. не может охватить всего многообразия условий механической обработки изделий в машиностроении.

# 11. БАЗИРОВАНИЕ И БАЗЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

---

За основу этой главы взяты материалы ГОСТ 21495–76 и ГОСТ 3.1107–81.

## 11.1. Понятие базирования и базы

---

*Базированием* называется установка изделия в определенном положении на станке или в сборочной единице.

*База* — это элементы изделия: поверхности, оси, линии или точки, положение которых ориентирует изделие определенным образом на станке или в сборочной единице.

## 11.2. Основной принцип базирования и закрепления изделий при механической обработке (правило шести точек). Примеры базирования и закрепления твердых тел

---

При механической обработке заготовку необходимо надежно установить и закрепить. Из теоретической механики известно, что твердое тело в пространстве имеет шесть степеней свободы, т. е. имеет возможность перемещаться и вращаться относительно трех координатных осей в декартовой системе координат. Накладывая на тело связи, его лишают степеней свободы. Число связей для абсолютно неподвижного тела равно числу степеней свободы, т. е. шести. Таким образом, чтобы обеспечить полную неподвижность изделия, т. е. надежно его

установить и закрепить, необходимо лишить его шести степеней свободы, т. е. наложить на него шесть связей. Лишение твердого тела шести степеней свободы в технологии машиностроения называется правилом *шести точек*.

Связи, полностью исключаяющие возможность перемещений изделия относительно осей координат, называются *двухсторонними*. Двухсторонние связи создаются базированием и закреплением заготовки. В технологии машиностроения эти связи называют *опорными точками* и иногда изображают в виде  $\bullet$ — $\bullet$  и нумеруют. Покажем реализацию правила шести точек на примерах базирования и закрепления некоторых твердых тел.

### Призматическое тело

Прижмем призматическое тело к плоскости  $XOY$  декартовой системы координат, лишив его тем самым трех степеней свободы — перемещения вдоль оси  $Z$  и вращения вокруг осей  $X$  и  $Y$  (рис. 11.1).

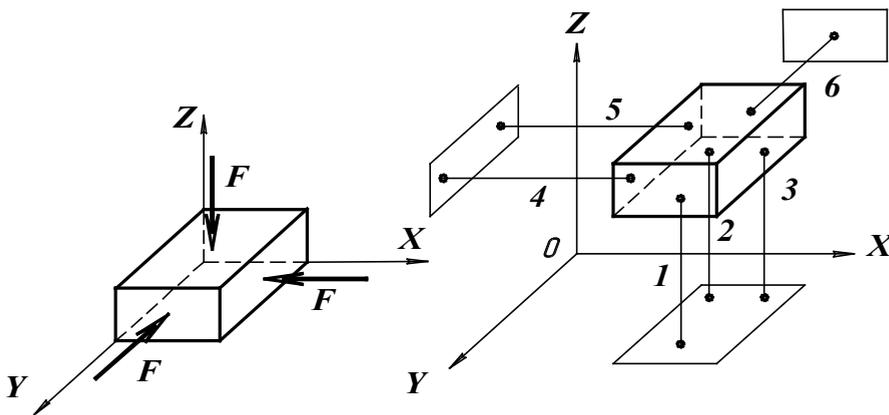


Рис. 11.1. Базирование и закрепление призматического тела:  
1–6 — двухсторонние связи или опорные точки

Таким образом, получим три двухсторонние связи в виде опорных точек 1–3. Теперь прижмем тело к плоскости  $YOZ$ . В этом случае образуются две двухсторонние связи 4 и 5. Общее число опорных точек становится равным пяти. Чтобы лишить тело шестой степени свободы, его необходимо прижать к плоскости  $XOZ$ . Таким образом, возникает шестая двусторонняя связь, и тело лишается всех степеней свободы.

Необходимо, чтобы силы закрепления и резания действовали в одном направлении. Это исключает смещение заготовки под действием сил резания, что может привести к поломке инструмента, порче изделия и травмам.

### Длинное цилиндрическое тело

Рассмотрим применение правила шести точек при базировании и закреплении длинного цилиндрического тела (рис. 11.2).

Установим и закрепим его на призме или в цанге (втулке с разрезами), лишив его тем самым четырех степеней свободы — перемещения и вращения относительно осей  $X$  и  $Z$  (рис. 11.2,  $a, б$ ). Таким образом, получим четыре двухсторонних связи в виде опорных точек 1–4 (рис. 11.2,  $в$ ). Пятую связь получим, прижимая торцевую поверхность цилиндра к координатной плоскости  $XOZ$ . Это будет пятая опорная точка, которая устраняет возможность перемещения цилиндра вдоль собственной оси. Шестую связь, которая препятствует вращению цилиндра вокруг этой оси, можно получить геометрическим или силовым замыканием.

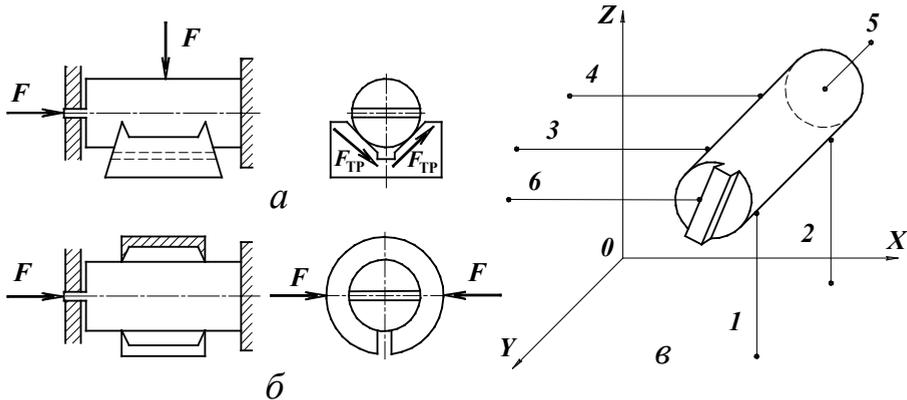


Рис. 11.2. Базирование и закрепление длинного цилиндрического тела

*Геометрическое замыкание* осуществляется соединением цилиндра с опорой с помощью шпонки или шипа, который может быть размещен на торце цилиндра. Эта связь является двухсторонней и представлена в виде опорной точки  $б$  (рис. 11.2,  $в$ ).

В этом случае положение цилиндра будет полностью определено.

Силовое замыкание получим, если цилиндр только прижать к призме или зажать в цанге без соединения шпонки или шипа с опо-

рами. Тогда на базовой поверхности возникнут силы трения, которые будут препятствовать вращению цилиндра вокруг собственной оси. Такие связи будем называть фрикционными. На схеме (рис. 11.2, *a*) эти связи представлены силами  $F_{\text{тр}}$  трения. За счет сил трения осуществляется закрепление заготовки. Однако базирование заготовки в окружном направлении отсутствует, т. к. положение заготовки в этом направлении до закрепления может быть любым, а при базировании заготовка должна занимать вполне определенное положение. Поэтому фрикционная связь не уменьшает число степеней свободы заготовки. Очевидно, что для существования фрикционных связей необходимо, чтобы силы резания не превышали сил трения, которые возникают на опорных поверхностях при закреплении.

### Короткое цилиндрическое тело

Цилиндрическое тело типа диска будем считать коротким, если его длина существенно меньше диаметра ( $l \ll 0,6d$ ).

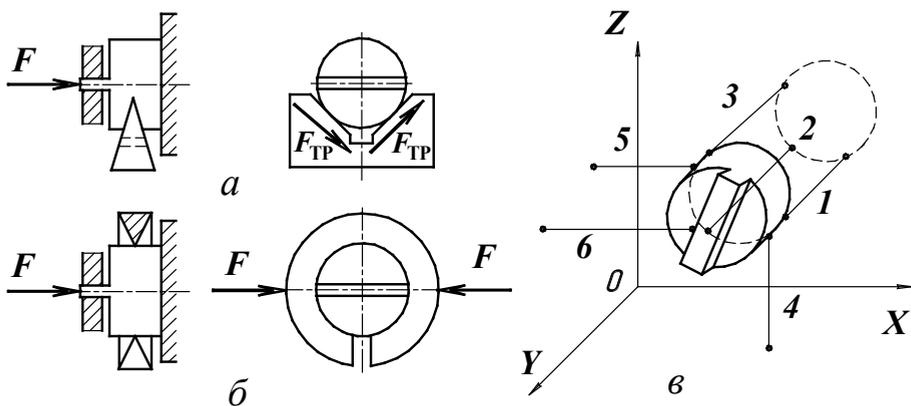


Рис. 11.3. Базирование и закрепление короткого цилиндрического тела

Прижмем диск к плоскости  $XOZ$ , лишив его трех степеней свободы, т. е. перемещения вдоль оси  $Y$  и вращения вокруг осей  $X$  и  $Z$ . Таким образом, получим три двухсторонних связи в виде опорных точек 1–3 (рис. 11.3, *v*).

Контакт боковой поверхности диска с призмой (рис. 11.3, *a*) или втулкой с разрезом (рис. 11.3, *б*) лишает его двух степеней свободы, т. е. перемещений вдоль осей  $X$  и  $Z$  с образованием двухсторонних

связей в виде опорных точек 4 и 5. Шестую связь в виде опорной точки 6 можно получить, как и в предыдущем случае, с помощью шипа.

#### Длинное коническое тело с малой конусностью

Примерами таких тел являются хвостовики различных режущих инструментов: сверл, фрез и т. д. (рис. 11.4, а).

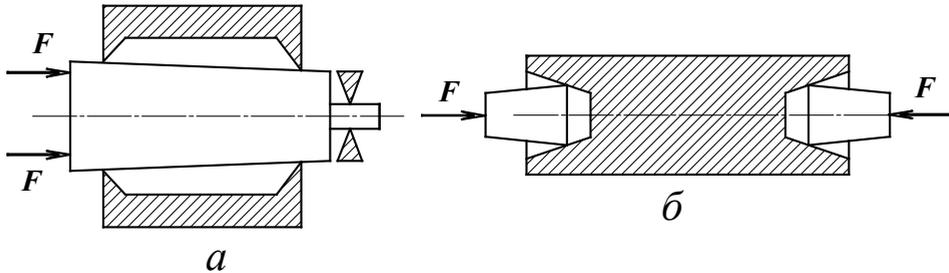


Рис. 11.4. Установка тел с коническими поверхностями

При базировании по такой конической поверхности тело лишается пяти степеней свободы — перемещения относительно всех координатных осей и вращения относительно двух. Шестую степень свободы, вращение вокруг собственной оси, можно устранить с помощью шипа. Препятствовать вращению можно также за счет момента от силы трения на конической поверхности, т. е. фрикционной связи.

#### Цилиндрическое тело с двумя короткими внутренними коническими поверхностями с большой конусностью

Примером такого тела является вал с двумя центровыми отверстиями, выполненными по ГОСТ 14034–74. Схема установки такого тела представлена на рис. 11.4, б. Базирование по одному отверстию лишает тело возможности перемещения вдоль координатных осей. Возможность поворота вокруг осей остается. Поэтому в данном случае тело обладает тремя степенями свободы. При использовании в качестве базы второго отверстия возможность вращения тела вокруг своей оси сохраняется. Шестую связь можно создать путем использования уже известных средств — шипа или шпонки. Однако, например, при токарной обработке валов с установкой в центрах для этой цели применяется поводковый патрон (рис. 11.18). Патрон не принимает участия в базировании, а только закрепляет заготовку в окружном направлении за счет создания фрикционной связи. В то время как положение заготовки в этом направлении остается неопределенным.

### 11.3. Количество баз, необходимых и достаточных для базирования. Комплект баз

При обработке заготовок партиями используют станки, настроенные предварительно на заданные размеры деталей. В этом случае нет необходимости настройки станка на каждую деталь. Такой способ обработки называется методом *автоматического* получения размеров. На универсальных станках автоматическое получение размеров выполняется за счет настройки станка и режущего инструмента относительно заготовки, а на станках с ЧПУ автоматическое получение размеров выполняется за счет программного обеспечения. В любом случае заготовка должна занимать на станке вполне определенное положение, т. е. необходимо произвести базирование заготовки.

При базировании заготовки можно использовать различное количество поверхностей, лишающих заготовку определенного числа степеней свободы. Совокупность этих поверхностей называется *комплект баз*. Если комплект баз лишает заготовку шести степеней свободы, то его называют *полным*. Например, три плоскости параллелепипеда на рис. 11.1, с шестью опорными точками, составляют полный комплект баз.

В рассмотренных выше примерах базирования твердых тел везде использовался полный комплект баз. В то же время при механической обработке часто нет необходимости использовать полный комплект баз. Например, при обработке верхней плоскости призматической заготовки в размер по высоте на фрезерном или шлифовальном станках можно не фиксировать ее положение на горизонтальной плоскости (рис. 11.5, а).

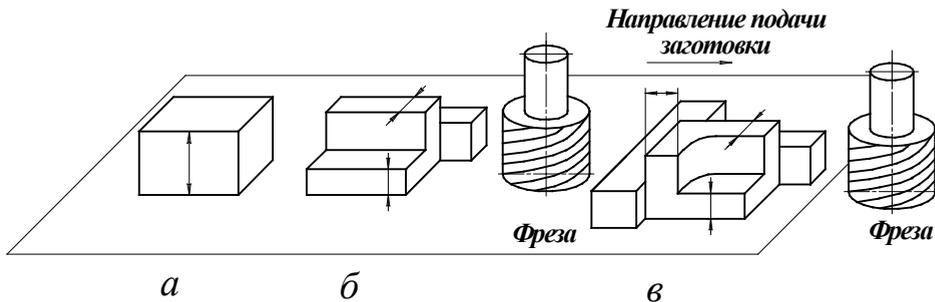


Рис. 11.5. Использование различного количества баз при механической обработке

Однако необходимо, чтобы заготовка была надежно закреплена. Для этой цели можно использовать магнитную плиту. В данном случае используется одна база — нижняя плоскость заготовки. Настройка станка выполняется фиксированной установкой стола относительно фрезы по высоте.

Для обработки ступенчатой детали за один рабочий ход фрезы достаточно использовать две базы — нижнюю и боковую плоскости заготовки, которые лишают заготовку пяти степеней свободы (рис. 11.5, б). В направлении подачи положение заготовки можно не фиксировать. Настройка станка для получения необходимых размеров выполняется установкой стола относительно фрезы по высоте и положением упора на столе.

Для обработки глухой ступени в детали используется полный комплект баз, составленный из трех плоскостей, которые лишают заготовку шести степеней свободы (рис. 11.5, в). Настройка станка для получения необходимых размеров выполняется установкой стола относительно фрезы по высоте, положением двух упоров на столе и ограничением перемещения стола в направлении подачи. Очевидно, что чем меньше баз входит в комплект, тем проще и дешевле конструкция приспособления. Поэтому при проектировании технологических процессов число баз в комплекте должно быть минимальным.

#### 11.4. Стандартные базы. Классификация баз по ГОСТу

Согласно ГОСТ 21495–76 классификация машиностроительных баз производится по трем признакам: по назначению, лишаемым степеням свободы и характеру проявления. По назначению машиностроительные базы подразделяются на конструкторские, измерительные и технологические базы.

*Конструкторской* называется база, которая используется для определения положения детали или сборочной единицы в изделии.

Конструкторские базы подразделяются на основные и вспомогательные базы.

*Основной* называется конструкторская база данной детали, которая определяет ее положение при присоединении к другой детали.

*Вспомогательной* называется конструкторская база данной детали, которая определяет положение другой, присоединяемой к ней детали.

Примеры основных и вспомогательных конструкторских баз показаны на рис. 11.6. В данном случае колесо при сборке присоединяется к валу и поверхности 1, 2, 3 зубчатого колеса являются основными конструкторскими базами, а поверхности 4, 5, 6 шпонки и вала являются вспомогательными конструкторскими базами. Очевидно, что выбор конструкторских баз в качестве основных или вспомогательных зависит от последовательности сборки, т. е. какая из деталей присоединяется к другой детали.

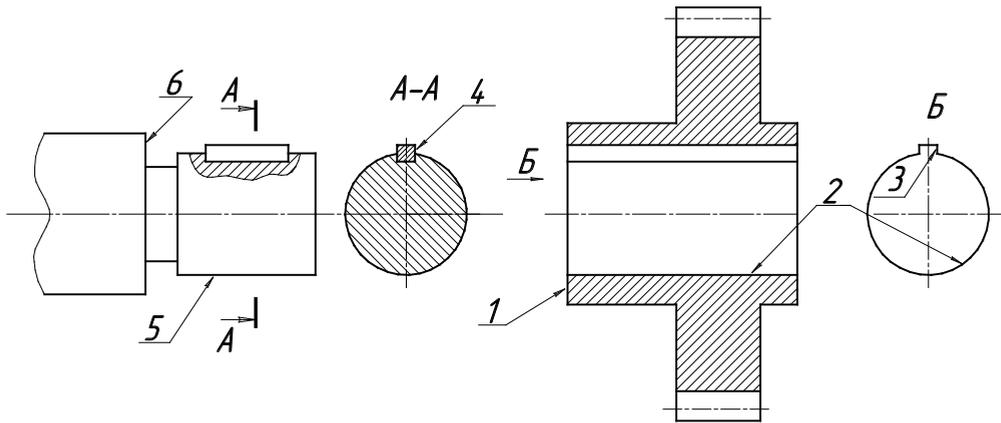


Рис. 11.6. Конструкторские базы:  
1, 2, 3 — основные; 4, 5, 6 — вспомогательные

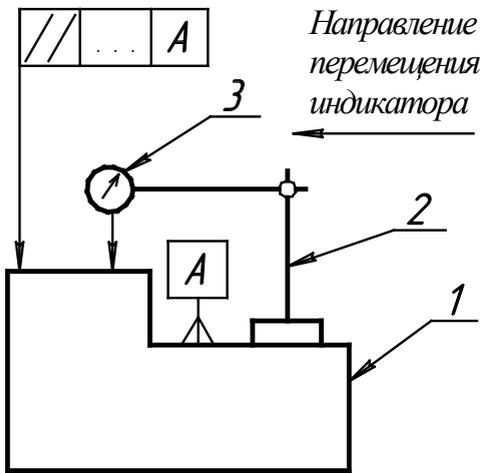


Рис. 11.7. Пример измерительной базы

*Измерительной* называется база, используемая для определения относительного положения изделия и средств измерения. Иными словами, измерительной базой называется элемент изделия, от которого производится отсчет размеров или отклонений размеров при измерительном контроле.

Пример для измерительной базы показан на рис. 11.7. Здесь измерительная база определена нормированием отклонения от параллельности верхней плоскости относительно базов-

вой. Для контроля этого отклонения стойку 2 с индикатором 3 перемещают по базовой плоскости  $A$  детали 1.

*Технологической* называется база, которая используется для определения положения заготовки или изделия при изготовлении или ремонте. Иными словами, это поверхности, линии или точки, которые определяют положение заготовки на станке при механической обработке.

По лишаемым степеням свободы, независимо от назначения, базы делятся на установочные, направляющие, опорные, двойные направляющие, двойные опорные.

*Установочной* называется база, которая используется для наложения на изделие связей, лишаящих его трех степеней свободы — перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей.

*Направляющей* называется база, которая используется для наложения на изделие связей, лишаящих его двух степеней свободы — перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси.

*Опорной* называется база, которая используется для наложения на изделие связей, лишаящих его одной степени свободы — перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси.

*Двойной направляющей* называется база, которая используется для наложения на изделие связей, лишаящих его четырех степеней свободы перемещения вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей.

*Двойной опорной* называется база, которая используется для наложения на изделие связей, лишаящих его двух степеней свободы — перемещения вдоль двух координатных осей.

Применим классификацию баз по лишаемым степеням свободы для вышерассмотренных примеров базирования тел. Для призматического тела, представленного на рис. 11.1, плоскости с одной, двумя и тремя опорными точками, являются соответственно опорной, направляющей и установочной базами. Для длинного цилиндрического тела на рис. 11.2 боковая поверхность является двойной направляющей базой, а торцевая поверхность и поверхность шипа являются опорными базами. Для диска на рис. 11.3 торцевая поверхность является установочной базой, боковая поверхность — двойной опорной базой, а поверхность шипа — опорной базой. Для длинного конического тела с малой конусностью (рис. 11.4, *a*) коническая поверхность совмещает в себе функции двойной направляющей и опорной баз, ко-

торые использовались при базировании длинного цилиндрического тела. Такую коническую поверхность называют иногда опорно-направляющей базой. Аналогичные функции выполняют два центровых отверстия в детали на рис. 11.4, б. В обоих случаях тела лишаются пяти степеней свободы.

По характеру проявления базы делятся на явные и скрытые.

*Явной* называется база в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок. Все базы, рассмотренные выше, были представлены реальными поверхностями. Поэтому они относятся к явным базам.

*Скрытой* называется база в виде воображаемой плоскости, оси или точки. Такие базы проявляют себя только при закреплении заготовок в самоцентрирующих зажимах. Самоцентрирующими зажимами называются приспособления, в которых при закреплении заготовок оси симметрии зажимов и заготовок совмещаются. Это достигается за счет синхронного перемещения зажимных элементов в направлении осей симметрии приспособления или за счет центрирования заготовок в самих зажимных элементах (губках) приспособлений. Примеры скрытых технологических баз при установке деталей в самоцентрирующих зажимах представлены на рис. 11.8.

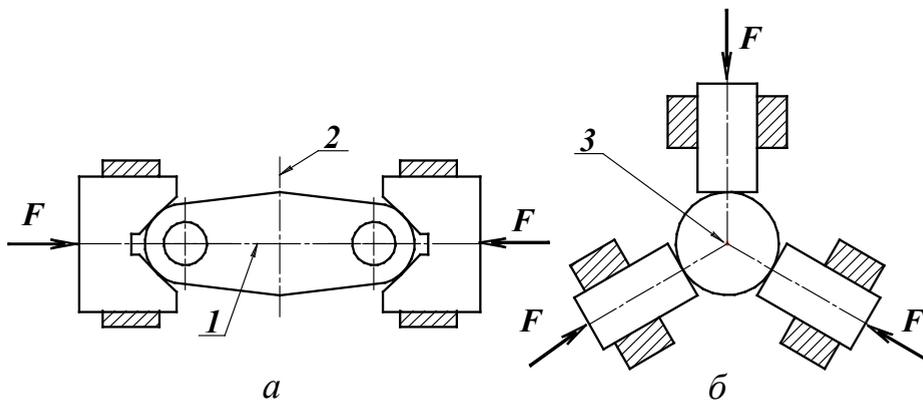


Рис. 11.8. Технологические скрытые базы 1, 2, 3

В самоцентрирующем устройстве, представленном на рис. 11.8, а, совмещение осей симметрии заготовки и зажимного устройства достигается за счет синхронного перемещения зажимов в виде призм. Эти зажимы перемещаются одновременно с одинаковой скоростью навстречу друг другу.

Оси заготовки 1 и 2 после закрепления будут совмещены с осями симметрии приспособления и зажимов. Новая заготовка той же конфигурации, если не учитывать погрешности ее размеров, формы и расположения поверхностей, займет положение предыдущей.

При установке цилиндрической заготовки в самоцентрирующем трехкулачковом патроне будут совмещаться оси заготовки и патрона (рис. 11.8, б). Согласно ГОСТ 21495–76 такие оси при установке заготовок в самоцентрирующих устройствах следует принимать в качестве баз. Однако фактическое базирование осуществляется за счет контакта реальных поверхностей заготовок, которые имеют различного рода погрешности. Поэтому в реальных условиях оси заготовок с осями самоцентрирующих устройств не совпадают и скрытые базы таковыми не являются. Практическое значение скрытых баз заключается в том, что их обозначение в технологической документации указывает на необходимость закрепления заготовки в самоцентрирующем устройстве для повышения точности при механической обработке.

При образовании терминов баз (названий) признаки классификации должны располагаться в следующей последовательности: по назначению, лишаемым степеням свободы и характеру появления. Например: «Конструкторская основная установочная явная база», «Технологическая направляющая скрытая база», «Измерительная опорная явная база». Кроме того, в стандарте имеются следующие определения баз.

*Проектная база* — поверхность, выбранная при проектировании изделия, технологического процесса изготовления или ремонта этого изделия.

*Действительная база* — поверхность, фактически используемая в конструкции, при изготовлении, эксплуатации и ремонте изделия.

В стандарте нет пояснений относительно этих определений. Поэтому можно предполагать, что проектная база используется при проектировании в конструкторской и технологической документации, от которой проставлены конструкторские или технологические размеры, а действительная является элементом реального изделия.

### 11.5. Нестандартные базы

Рассмотренная классификация баз представлена в ГОСТ 21495–76. Однако в технической литературе используется еще ряд определений для баз. Часть из них уже устарела. Стандарт запрещает их использо-

вание. Например, нельзя называть конструкторскую базу сборочной, технологическую базу установочной, а измерительную базу контрольной. В то же время за рамками стандарта остались такие важные понятия, как черновая, чистовая, настроечная, проверочная и искусственная базы, которые используются в технологической практике и, следовательно, являются технологическими базами. Дополним классификацию баз ГОСТа этими понятиями.

*Черновой базой* называется необработанная поверхность заготовки. По ней заготовку базируют в начальной стадии обработки на первом установе или первой операции для обработки поверхностей, которые затем используются как базы на последующих операциях.

*Чистовой базой* называется обработанная поверхность. По ней базируют заготовку на последующих установках или операциях.

*Настроечной базой* называется поверхность заготовки, которая обрабатывается на данном установе и связана размером с технологической базой. По этой базе производится настройка станка для обработки на том же установе других поверхностей, связанных с ней размерами. Понятие настроечной базы используется при обработке заготовок партиями на предварительно настроенных станках. Такой вид обработки называется *автоматическим* получением размеров. Обработку по этому методу ведут на токарно-револьверных станках (ТРС).

Общий вид этого станка показан на рис. 11.9. Станок имеет два суппорта, как у обычного универсального токарно-винторезного станка (ТВС). Продольный суппорт 1 и поперечный суппорт 2. Они работают с продольной и поперечной подачами. На поперечном суппорте установлен поворотный резцедержатель 3. На этом суппорте возможна установка еще одного резцедержателя, расположенного за заготовкой. Поэтому его называют задним. Для закрепления заготовки используется патрон 4. Револьверная головка 5 размещена на револьверном суппорте 6. Он установлен вместо задней бабки на направляющих станины и работает только с продольной подачей. Револьверная головка представляет собой поворотное устройство на шесть позиций. Для установки режущего инструмента: резцов, сверл, зенкеров, сверл, метчиков — используются оправки 7, которые закрепляются в гнездах револьверной головки. Крестовый и револьверный суппорты могут перемещаться независимо друг от друга. За счет установки на револьверной головке в одной позиции двух и более инструментов можно

при обработке совмещать переходы. Например, одновременно точить поверхность и сверлить отверстие.

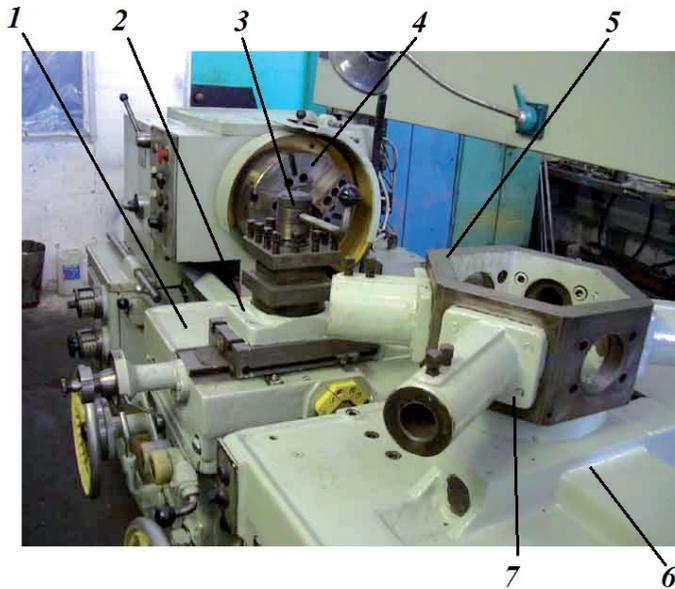


Рис. 11.9. Общий вид токарно-револьверного станка:

- 1 — продольный суппорт, 2 — поперечный суппорт, 3 — резцедержатель,  
 4 — патрон, 5 — револьверная головка; 6 — револьверный суппорт,  
 7 — оправки для инструмента

Точность диаметральных и линейных размеров деталей при обработке на ТРС обеспечивается наладкой станка, т. е. оснащением станка необходимым режущим инструментом с установкой его в определенном положении. Точность диаметральных размеров обеспечивается мерным инструментом, сверлами, зенкерами, развертками, а также регулировкой вылета резцов, установленных на оправках. Точность диаметральных и линейных размеров обеспечивается ограничением хода суппортов упорами.

Пример наладки токарно-револьверного станка при обработке втулки показан на рис. 11.10. Деталь зажимают в патроне и обрабатывают инструментами, установленными в резцедержателях суппорта и в гнездах револьверной головки. Смена инструмента производится поворотом резцедержателя и револьверной головки. Пример использования настроечной базы при обработке на токарно-револьверном станке рассмотрен на рис. 11.11.

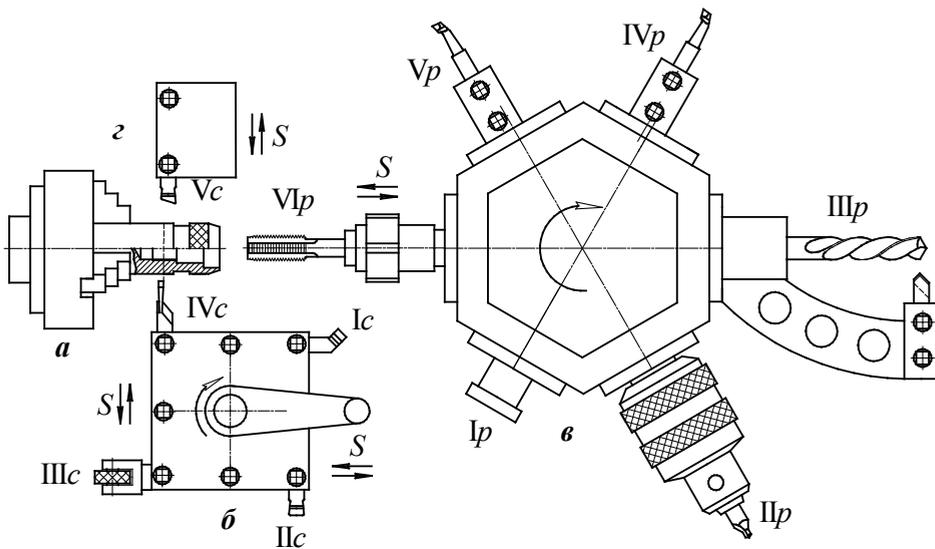


Рис. 11.10. Схема наладки токарно-револьверного станка для обработки втулки:

*a* — патрон, *б* — поворотный резцедержатель; *в* — револьверная головка; *z* — задний резцедержатель; *Ic*÷*Vc* — позиции суппортов; *Ip*÷*Vp* — позиции револьверной головки

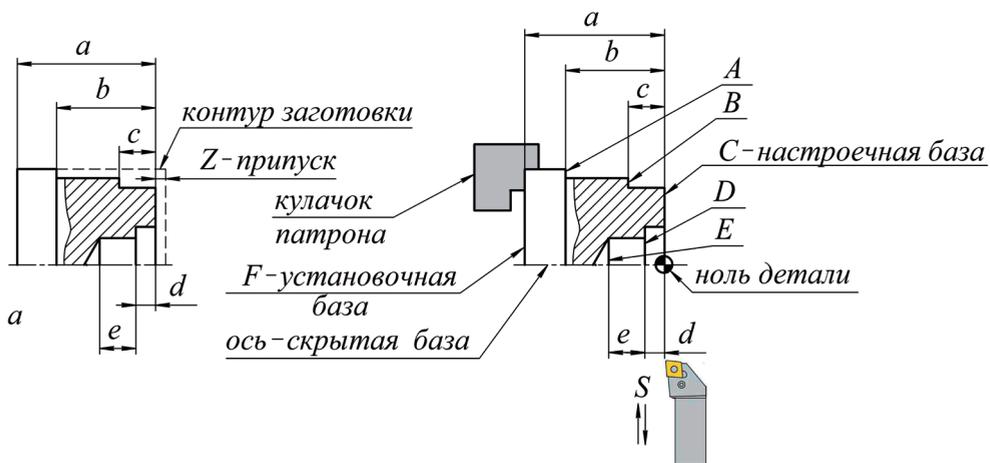


Рис. 11.11. Пример настроечной базы

На данном рисунке представлен чертеж детали с линейными размерами. Диаметральные размеры на чертеже не указаны. Технологический процесс механической обработки этой детали состоит из двух

операций. На первой операции от прутка отрезают заготовки длиной  $a+Z$  в количестве, равном партии деталей. Здесь  $Z$  — припуск на подрезку торца при последующей обработке. Вторую операцию выполняют на токарно-револьверном станке. Заготовку зажимают в самоцентрирующем трехкулачковом патроне с упором в кулачки, подрезают торец резцом, установленным в резцедержателе крестового суппорта.

Остальные поверхности обрабатывают перемещением суппорта с револьверной головкой в осевом направлении, ограничивая это перемещение по упорам. В данном случае возможны два варианта настройки станка по упорам.

В первом случае, для ограничения продольного хода револьверного суппорта, станок можно настроить по упорам относительно поверхности кулачка, контактирующей с установочной базой  $F$ . При такой настройке размеры  $b, c, d, e$ , которые проставлены от поверхности  $C$ , зависят от размера  $a$ . Из-за рассеяния этого размера в пределах допуска, положение поверхности  $C$  от заготовки к заготовке будет меняться, в то время как перемещения револьверного суппорта будут всегда постоянными, т. к. они ограничены упорами. Поэтому размеры  $b, c, d, e$  после обработки на данном установе у каждой детали будут разными.

Второй вариант настройки станка дает возможность обеспечить точность этих размеров. В этом случае станок следует настраивать по упорам относительно поверхности  $C$ . Однако положение этой поверхности при закреплении детали в патроне с упором в поверхность  $F$ , как было отмечено ранее, меняется от заготовки к заготовке. Чтобы положение поверхности  $C$  стало вполне определенным, ее дополнительно подрезают на данном установе резцом, установленным в резцедержателе станка.

Для получения размера  $a$  резец настраивают, т. е. устанавливают в определенном положении относительно технологической базы  $F$ . Поверхность  $C$  по данному выше определению является настроечной базой. Во-первых, она обрабатывается на данном установе и связана размером с технологической базой. Во-вторых, относительно этой поверхности производится настройка станка для обработки других поверхностей, связанных с ней размерами. Строго говоря, настройка станка по упорам для получения линейных размеров производится относительно вершины резца, которым обрабатывается настроечная база. В свою очередь положение вершины резца определяется расстоянием  $a$  до опорной поверхности кулачка.

Пример использования настроечной базы при обработке на горизонтально-фрезерном станке рассмотрен на рис. 11.12.

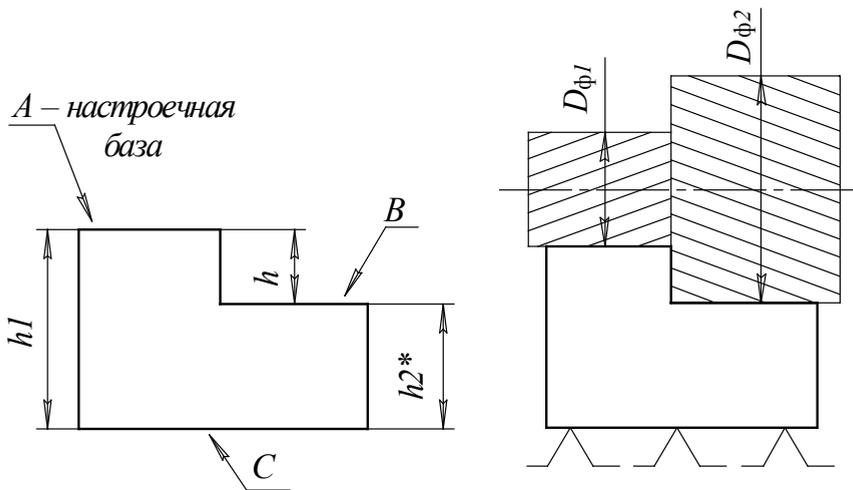


Рис. 11.12. Пример использования настроечной базы при фрезеровании

По чертежу необходимо обеспечить размеры  $h1$  и  $h$ . Размер  $h2^*$  является справочным. Как было отмечено ранее, настроечная база должна быть связана с технологической базой и обрабатываться на одном установе с поверхностями, которые связаны с ней размерами. Поверхность  $A$  связана с технологической базой  $C$  размером  $h1$ . Поэтому ее следует принять за настроечную базу. Затем она должна обрабатываться на одном установе с поверхностью  $B$ , которая связана с ней размером  $h$ . Осуществить такую обработку на горизонтально-фрезерном станке за один установ возможно блоком фрез, установленных на одной оправке.

Диаметр фрез для получения размера  $h$  определяется по формуле

$$h = (D_{\phi 2} - D_{\phi 1}) / 2.$$

Если на чертеже в качестве выполняемого размера будет указан размер  $h2$ , а размер  $h1$  будет справочным, то за настроечную базу следует принять поверхность  $B$ , которая связана размером с технологической базой. Настройка станка производится касанием поверхности эталона, установленного на столе станка, одной из фрез в зависимости, какая поверхность детали является настроечной базой. Использование настроечной базы повышает точность обработки, т. к. исключает появление погрешностей размеров из-за влияния рассеяния размеров, по-

лученных на предыдущей стадии обработки, на размеры, полученные на следующей стадии. Если обрабатывать заготовку на рис 11.12 за две операции по методу автоматического получения размеров, то рассеяние размера  $h1$  в пределах допуска будет оказывать влияние на размер  $h$ , который будет получен на второй операции. Пример такого влияния рассматривается в пункте 11.9.2.

*Проверочной базой* называется поверхность, линия или точка заготовки, по которым производится выверка положения заготовки на станке. Выверкой называется процесс установки заготовки на станке в определенном положении. Проверочные базы используются в условиях мелкосерийного и единичного производства. Рассмотрим пример использования проверочной базы при растачивании отверстий  $1$  в заготовке на горизонтально-расточном станке (рис. 7.5). Схема установки детали представлена на рис. 11.13.

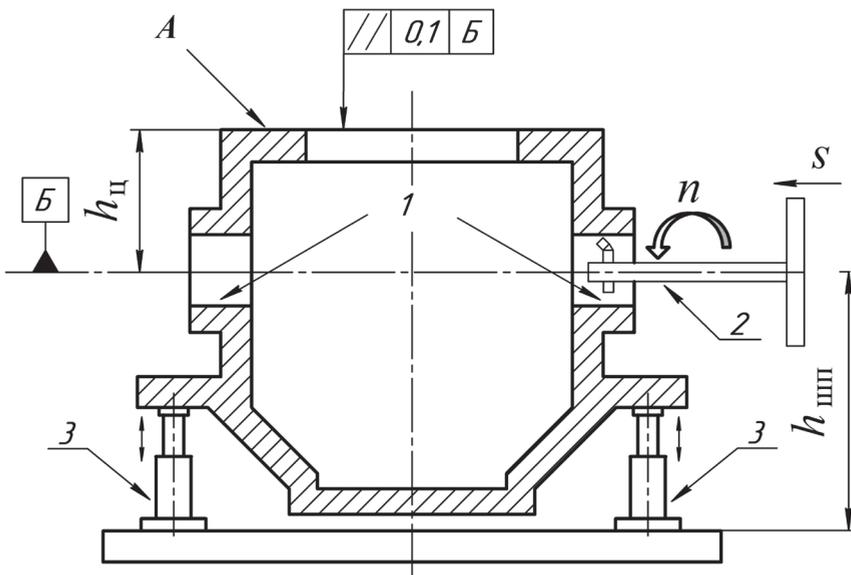


Рис. 11.13. Использование проверочной базы при расточке гнезд подшипников

Согласно рисунку при обработке необходимо обеспечить параллельность плоскости  $A$  общей оси отверстий. Пусть поверхность  $A$  предварительно обработана, но установить на нее деталь при растачивании нельзя, т. к. минимальное расстояние от плоскости стола до оси вращения шпинделя станка  $2$  больше, чем расстояние от плоскости  $A$  до оси отверстий, т. е.  $h_{шп} > h_{ц}$ .

Опустить ниже шпиндель не позволяет конструкция станка. Установка заготовки на противоположную необработанную поверхность не обеспечивает горизонтального положения поверхности  $A$  из-за погрешностей формы и размеров заготовки, в то время как горизонтальное положение общей оси отверстий при растачивании обеспечивается точностью станка. Таким образом, после обработки возникает отклонение от параллельности между плоскостью  $A$  и общей осью отверстий. Поэтому заготовку устанавливают на необработанную поверхность фланца. В качестве опор используются домкраты  $Z$ , которыми можно поднимать и опускать заготовку, регулируя изменением высоты домкратов положение плоскости  $A$ . В процессе выверки на поверхность  $A$  устанавливают приборы контроля горизонтального положения — уровни. Поэтому эта плоскость называется проверочной базой.

*Искусственной базой* называется поверхность, которая отсутствует у детали, но создается специально на заготовке, если нельзя или трудно использовать другие поверхности для ее надежного базирования и закрепления при обработке с заданной точностью. Пример заготовки с искусственной технологической базой представлен на рис. 7.8. В данном случае конструкция заготовки для повышения устойчивости дополнена элементом с опорной поверхностью. Искусственными технологическими базами являются центровые отверстия вала, которые при его эксплуатации не используются. Искусственные технологические базы затем могут быть удалены, если они мешают работе конструкции.

### *11.6. Схемы базирования и установка заготовок на станках и в приспособлениях*

При проектировании технологических процессов механической обработки необходимо решать задачу базирования и закрепления заготовки на станке или в приспособлении. Решение этой задачи заключается в выборе баз и устройств, необходимых для закрепления заготовки. Результаты этого решения оформляются в виде схем базирования и установка.

*Схемой базирования*, по ГОСТ 21495–76, называется схема расположения опорных точек на базах. На схеме базирования изображается контур изделия в проекциях и опорные точки на базах, которые сим-

волизируют двухсторонние связи. Схема базирования призматической детали по трем взаимно-перпендикулярным плоскостям с условным изображением опорных точек приведена на рис. 11.14.

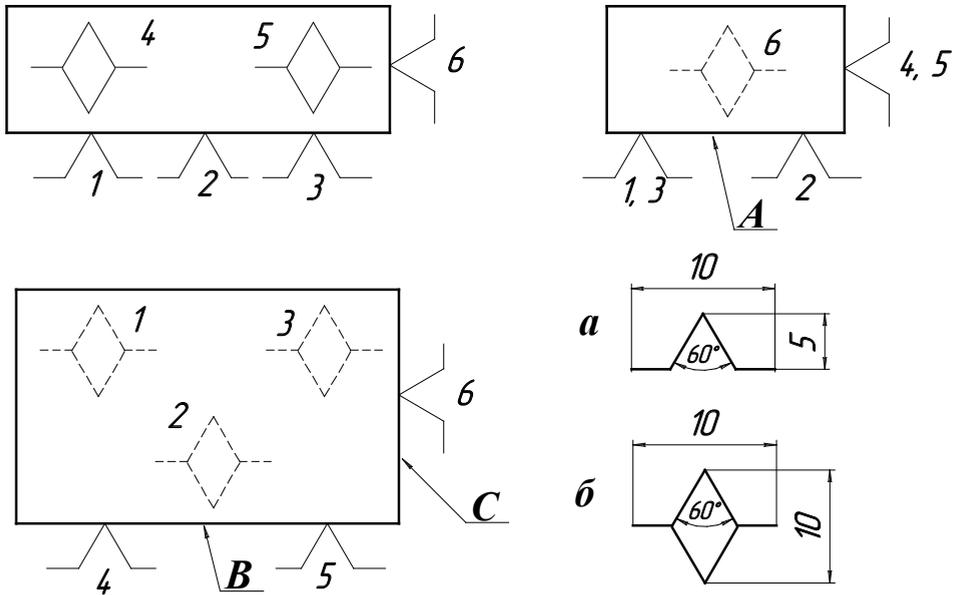


Рис. 11.14. Схема базирования призматической детали с условным обозначением опорных точек 1–6:

*а* — на линии (контуре), *б* — на поверхности (плоскости), *А*, *В*, *С* — базы детали

Стандартом установлены следующие правила изображения схемы базирования:

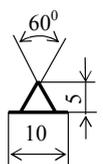
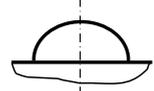
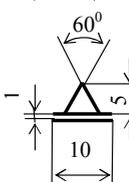
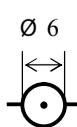
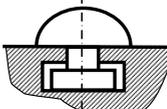
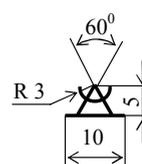
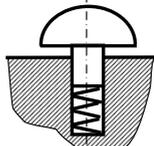
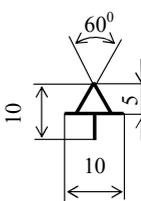
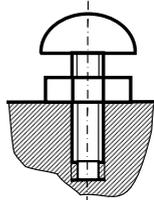
- все опорные точки на схеме изображают условными знаками и нумеруют порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагается наибольшее количество опорных точек;
- при наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую изображается одна точка, а около нее проставляют номера совмещенных точек;
- если опорные точки расположены на втором плане за контуром детали, то они изображаются штриховыми линиями;
- число проекций заготовки на схеме базирования должно быть достаточным для четкого представления о размещении опорных точек.

На схеме базирования указаны базы с опорными точками. Однако схема базирования не определяет, каким образом и с помощью ка-

ких устройств реализована та или иная двухсторонняя связь. Для этой цели в технологической документации оформляется схема установка, на которую наносят контур изделия, а также условные обозначения опор, зажимов и установочных устройств, с помощью которых производится базирование и закрепление заготовки. Графические обозначения установлены ГОСТ 3.1107–81 и представлены в таблицах 11.1, 11.2 и 11.4. В технологической документации для условных обозначений зажимов, опор и установочных устройств следует применять сплошную тонкую линию, по ГОСТ 2.303–79. В таблице 11.1 приведен один из вариантов конструкций опор.

Таблица 11.1

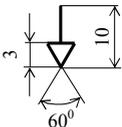
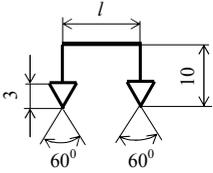
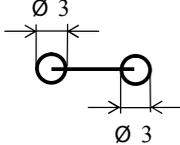
Условное обозначение опор в технологической документации

Наименование опоры	Обозначение опоры на видах			Варианты конструкции
	Спереди, сзади	Сверху	Снизу	
1. Неподвижная				
2. Подвижная				
3. Плавающая				
4. Регулируемая				

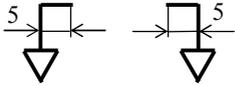
Примечание: допускается обозначение подвижной, плавающей и регулируемой опор изображать как обозначение неподвижной опоры на аналогичных видах.

Таблица 11.2

Условное обозначение зажимов в технологической документации

Наименование зажима	Обозначение зажимов на видах		
	Спереди, сзади	Сверху	Снизу
1. Одиночной			
2. Двойной			

Примечания: 1. Для двойных зажимов длина плеч  $l$  устанавливается разработчиком в зависимости от расстояния между точками приложения сил; 2. Обозначение двойного зажима на виде спереди или сзади при совпадении точек приложения силы допускается изображать как обозначение одиночного зажима на аналогичных видах; 3. Допускается упрощенное обозначение двойного зажима в виде:



На рис. 11.15 показаны принципиальные схемы действия одиночного и двойного зажимов.

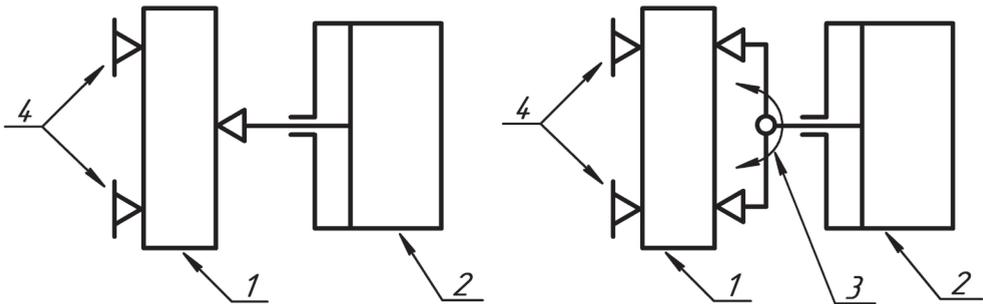


Рис. 11.15. Схема действия одиночного и двойного зажима:

1 — заготовка; 2 — пневмо- или гидроцилиндр; 3 — шарнир;  
4 — неподвижные опоры

Применение двойного зажима уменьшает прогиб заготовки, что повышает точность обработки. Шарнирное соединение коромысла зажимов со штоком цилиндра обеспечивает одновременный контакт обоих зажимов с заготовкой.

Условные обозначения зажимов различного типа и действия представлены на рис. 11.16. Количество точек приложения сил зажима к изделию показывают справа от обозначения зажима, а принцип действия обозначают слева, за исключением цанговых устройств.

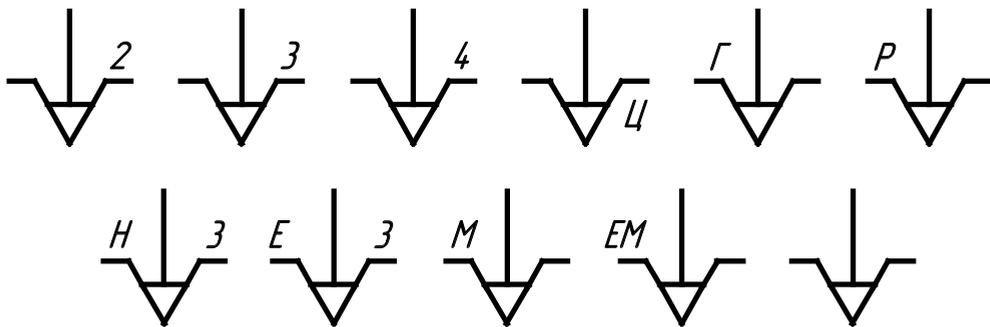


Рис. 11.16. Условные обозначения зажимов различного типа и действия:

2, 3, 4 — патроны двух-, трех- и четырехкулачковые;

Ц — патроны и оправки цанговые; Г — патроны и оправки с гидропластовым зажимом; патроны и зажимы: Р — пневматические;

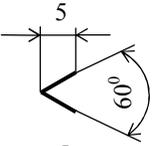
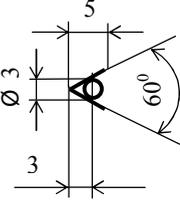
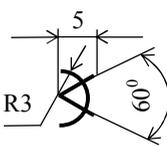
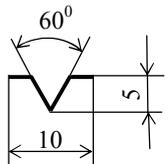
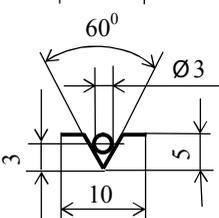
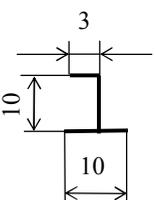
Н — гидравлические; Э — электрические; М — магнитные;

ЭМ — электромагнитные; без обозначения — прочие

К установочным устройствам стандартом отнесены: центр неподвижный, центр вращающийся, центр плавающий, оправка цилиндрическая, оправка шариковая (роликовая), патрон поводковый (табл. 11.3). Для указания формы рабочей поверхности опор, зажимов и установочных устройств применяются обозначения, представленные в табл. 11.4. Обозначение форм рабочих поверхностей наносят слева от обозначения опоры, зажима или установочного устройства.

Таблица 11.3

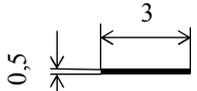
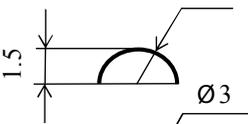
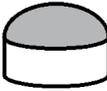
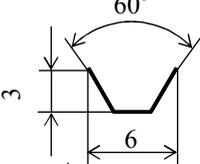
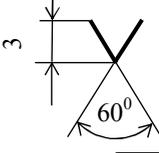
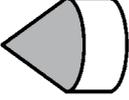
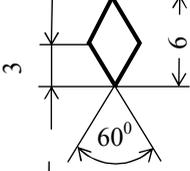
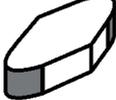
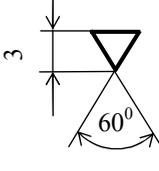
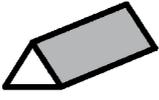
**Условное обозначение установочных устройств  
в технологической документации**

Наименование установочного устройства	Обозначение установочного устройства на видах	
	Спереди, сзади, сверху, снизу	Слева, справа
1. Центр неподвижный		Без обозначения
2. Центр вращающийся		Без обозначения
3. Центр плавающий		Без обозначения
4. Оправка цилиндрическая		
5. Оправка шариковая (роликовая)		
6. Патрон поводковый		

Примечание: допускается обозначение опор и установочных устройств, кроме центров, наносить на выносных линиях соответствующих поверхностей.

Таблица 11.4

**Условные обозначения формы рабочей поверхности опор, зажимов и установочных устройств**

Наименование формы рабочей поверхности	Обозначение формы рабочей поверхности на всех видах	Форма реальной поверхности
1. Плоская		
2. Сферическая		
3. Цилиндрическая (шариковая)		
4. Призматическая		
5. Коническая		
6. Ромбическая		
7. Трехгранная		

Примечание: рабочие поверхности опор, зажимов и установочных устройств выделены серым цветом.

Для указания рельефа рабочих поверхностей (рифленая, резьбовая, шлицевая) следует применять обозначения, приведенные на рис. 11.17.

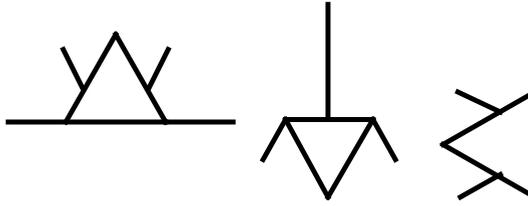


Рис. 11.17. Условное обозначение опоры, зажима и неподвижного центра с рифленой поверхностью

### 11.7. Примеры оформления схем базирования и установка при обработке заготовок на токарных станках

На рис. 11.18, *a* представлена схема обработки вала в центрах с поводковым патроном на токарном станке.

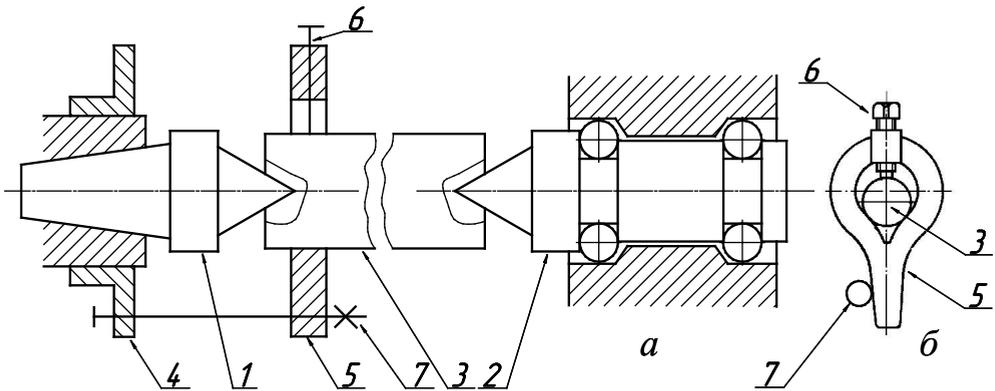


Рис. 11.18. Схема установки вала в центрах с поводковым патроном на токарном станке

При установке используются передний неподвижный центр *1*, задний вращающийся центр *2* и поводковый патрон. Передний неподвижный центр вставлен в коническое отверстие шпинделя станка и вращается вместе с ним. Этот центр называют неподвижным, т. к. он неподвижен относительно шпинделя. Задний вращающийся центр аналогичным образом вставлен в пиноль задней бабки. Поводковый патрон состоит из планшайбы *4*, хомута *5* и поводка *7*. Хомут закреп-

плен на валу 3 винтом б и связан с планшайбой поводком, которым на вал передается вращение от шпинделя (рис. 11.18, б).

С точки зрения теории базирования вал представляет собой цилиндрическое тело с двумя внутренними коническими поверхностями с большой конусностью (рис. 11.4, б). Базирование такого тела по этим поверхностям лишает его пяти степеней свободы. При оформлении схемы базирования целесообразно различать фактическую и теоретическую схемы. Если заготовка устанавливается в самоцентрирующем устройстве, то на теоретической схеме базирования опорные точки расположены на скрытых базах. На фактической схеме опорные точки размещаются на явных базах. На рис. 11.19 представлены фактическая и теоретическая схемы базирования при установке вала в центрах с поводковым патроном.

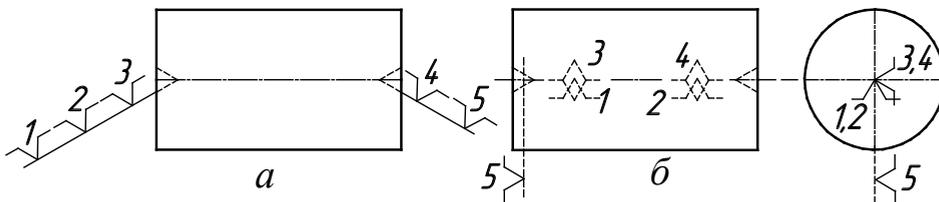


Рис. 11.19. Схемы базирования при обработке вала в центрах с поводковым патроном:

*a* — фактическая; *б* — теоретическая

На фактической схеме базами являются центровые отверстия. Согласно ГОСТ 21495—76 на теоретической схеме базой является ось заготовки. По стандарту эта база определена как технологическая двойная направляющая скрытая. На ней размещаются четыре опорные точки. Пятая опорная точка расположена на поверхности левого центрового отверстия и представляет связь, которой ограничено перемещение вала вдоль его оси. В окружном направлении положение вала не определено, т. к. хомут на валу в этом направлении можно закрепить в любом положении.

При обработке вала в центрах по методу автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках необходимо, чтобы положение заготовок в осевом направлении было постоянным. Это связано с тем, что перемещения инструмента при обработке по данному методу заданы настройкой станка и тоже постоянны. Различное положение заготовок на станке в осевом направлении приводит к по-

грешностям линейных размеров. Причиной является рассеяние глубины центровых отверстий. Для повышения точности линейных размеров применяют плавающий центр (рис. 11.20).

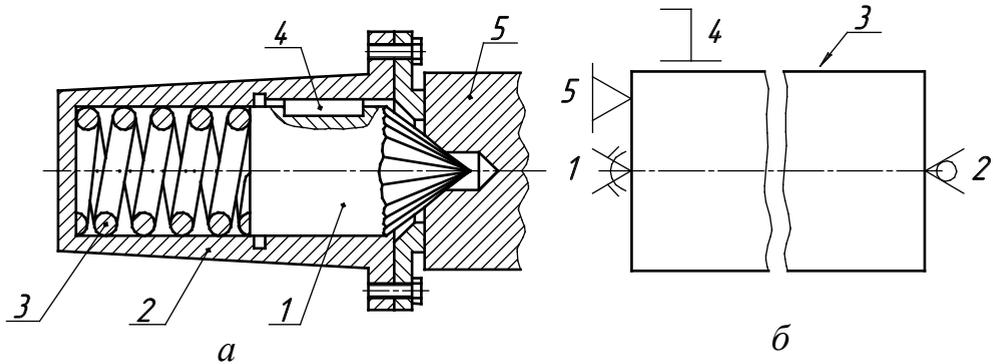


Рис. 11.20. Плавающий передний центр:

*а* — конструкция; *б* — схема установка при обработке вала в центрах с поводковым патроном и плавающим центром

Это установочное устройство состоит из центра *1*, корпуса *2*, пружины *3* и шпонки *4*. Коническая часть корпуса предназначена для установки центра в шпинделе станка. Крутящий момент от шпинделя передается на вал *5* через шпонку и рифления на конусе центра, а также через хомут. Необходимость применения хомута для передачи крутящего момента зависит от жесткости пружины и силы резания.

При установке заготовки в центрах она поджимается к шпинделю задним центром. За счет сжатия пружины плавающий центр перемещается вдоль оси до упора вала в корпус плавающего центра. Торец вала становится базой. При базировании по переднему торцу положение заготовок в осевом направлении будет всегда постоянным, что исключает влияние рассеяния глубины центровых отверстий на точность линейных размеров при обработке вала в центрах на предварительно настроенных станках.

Схема установка при обработке вала в центрах с поводковым патроном и плавающим центром представлена на рис. 11.20, *б*. На ней обозначены: плавающий центр с рифленой поверхностью *1*, вращающийся центр *2*, контур заготовки *3*, поводковый патрон *4* и неподвижная опора *5* в виде корпуса плавающего центра.

Для обработки наружной поверхности колец и втулок применяют оправки различной конструкции. На рис. 11.21, *а* представлена схема установки длинной втулки на цилиндрической оправке.

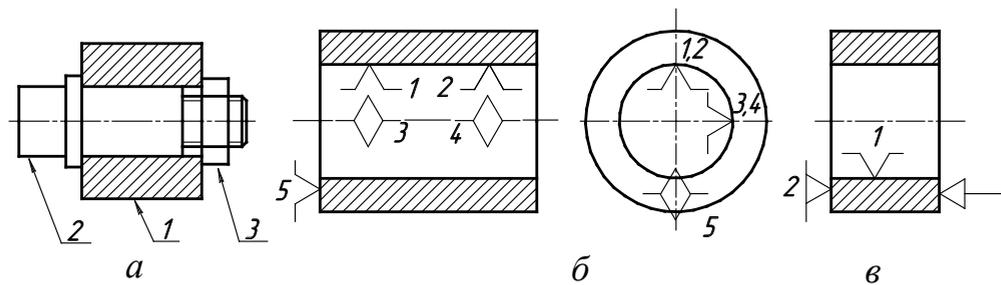


Рис. 11.21. Установка длинной втулки на цилиндрической оправке:  
*а* — схема установки; *б* — теоретическая схема базирования; *в* — схема установка

Втулку *1* устанавливают на оправку *2* и зажимают гайкой *3*. При обработке оправку зажимают в патроне или устанавливают в центрах с поводковым патроном. Если между оправкой и втулкой имеется зазор, то базой является внутренняя поверхность втулки, т. е. реальная поверхность. Согласно принятой классификации она называется технологической двойной направляющей явной базой. Поэтому на теоретической схеме базирования на этой базе расположены четыре опорные точки (рис. 11.21, *б*).

Если втулка установлена на оправке без зазора с натягом, то базой становится ось оправки, и по характеру проявления такая база является скрытой. Пятая опорная точка расположена на торцевой поверхности втулки, которая является опорной базой. Шестая опорная представляет собой фрикционную связь и в базировании вала участия не принимает, т. к. в окружном направлении втулку можно закрепить в любом положении. Схема установка длинной втулки на цилиндрической оправке представлена на рис. 11.21, *в*. На этой схеме обозначены цилиндрическая оправка *1* и неподвижная опора *2*.

Для повышения точности установки широко используются цанговые патроны и оправки. Основной деталью в этих устройствах является цанга. Цанги делятся на зажимные и разжимные. Первые используются для закрепления цилиндрических деталей по наружной поверхности в цанговых патронах, а вторые для закрепления по внутренней поверхности на оправках.

Цанги любой конструкции имеют конический участок, разделенный продольными разрезами на отдельные элементы (лепестки). На рис. 11.22 представлена зажимная цанга. Зажим детали производится затягиванием цанги в коническое отверстие за счет упругого изгиба лепестков.



Рис. 11.22. Зажимная цанга

На рис. 11.23, *а* показана схема установки длинной втулки *1* на цанговой оправке. Оправка состоит из стержня *2*, цанги *3* и гайки *4*. В данном случае цанга представляет собой упругую втулку с продольными разрезами. При затягивании гайки стержень перемещается, и его коническая часть разжимает цангу с увеличением ее наружного диаметра до внутреннего диаметра втулки. Тем самым выбирается (устраняется) зазор между цангой и втулкой. Теоретическая схема базирования представлена на рис. 11.23, *б*. Ось втулки является технологической двойной направляющей скрытой базой, а торец втулки — опорной базой. Схема установка длинной втулки на цанговой оправке приведена на рис. 11.23, *в*.

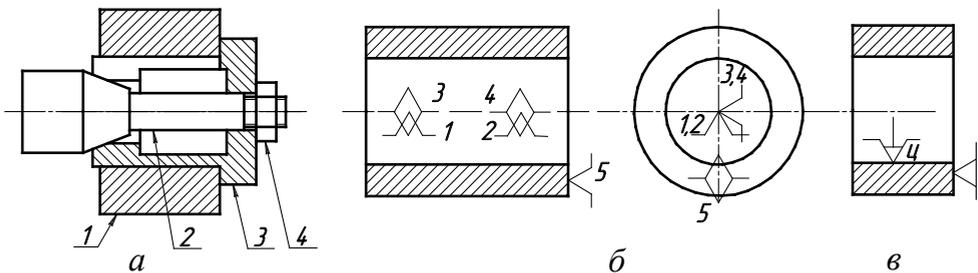


Рис. 11.23. Установка длинной втулки на цанговой оправке:

*а* — схема установки; *б* — теоретическая схема базирования при установке втулки на оправке с зазором; *в* — схема установка

На рис. 11.24, *а* показана схема установки короткой втулки *1* на гидропластовой оправке. В качестве центрирующего элемента здесь используется гидропласт — упругий элемент *2* из резины или полимерного материала. При навинчивании на стержень оправки *3* гайки *4* упругий элемент сжимается, увеличивается по диаметру и заполняет зазор между ним и втулкой.

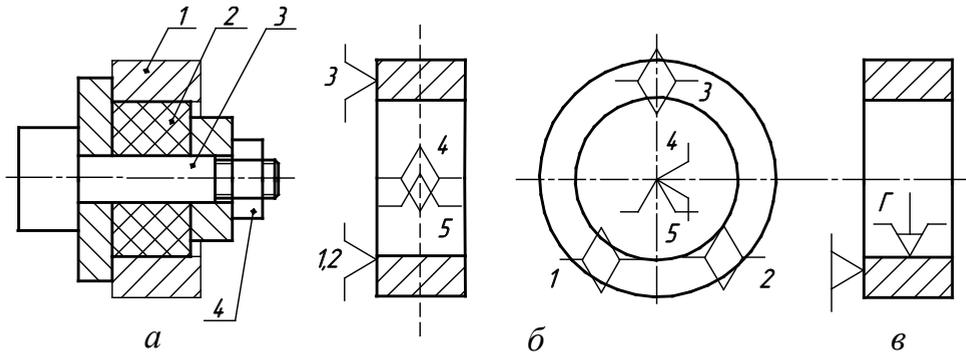


Рис. 11.24. Установка короткой втулки на гидропластовой оправке без зазора:

*а* — схема установки; *б* — теоретическая схема базирования; *в* — схема установка

Теоретическая схема базирования представлена на рис. 11.24, *б*. Ось втулки является технологической двойной направляющей скрытой базой, а торец втулки — установочной базой. Схема установка втулки на гидропластовой оправке приведена на рис. 11.24, *в*.

На рис. 11.25, *а* показана схема установки короткой втулки *1* на шариковой оправке. При завинчивании гайки *2* втулка центрируется относительно оси оправки шариками *3* за счет перемещения их в осевом направлении шайбой *4* по конической поверхности стержня *5* оправки. Затяжкой контргайки *б* втулка прижимается торцом к буртику стержня оправки, что предотвращает ее вращение на шариках. Схема базирования здесь та же, что и в предыдущем случае. Схема установка втулки на этой оправке приведена на рис. 11.25, *б*.

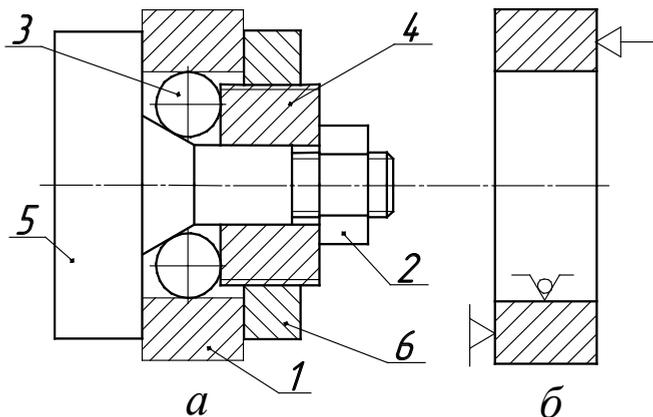


Рис. 11.25. Установка короткой втулки на шариковой оправке

На рис. 11.26, *а* представлена схема установки заготовки *1* в самоцентрирующем трехкулачковом патроне *2*.

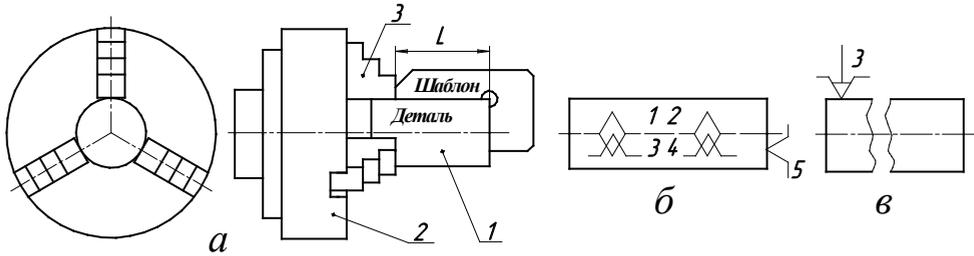


Рис. 11.26. Установка заготовки в самоцентрирующем трехкулачковом патроне

В этом патроне кулачки *3* предназначены для закрепления заготовки и перемещаются синхронно в радиальном направлении, что обеспечивает центрирование заготовки в патроне. На схеме базирования при установке заготовки в этих патронах ее ось является технологической, двойной направляющей, скрытой базой (рис. 11.26, *б*). Если при установке заготовки необходимо обеспечить вылет детали на величину *L*, то ее свободный торец будет технологической измерительной базой с опорной точкой *5*. Вылет детали обеспечивается с помощью шаблона. Схема установка заготовки в трехкулачковом патроне приведена на рис. 11.26, *в*.

На рис. 11.27, *а* показана схема установки заготовки *1* в цанговом патроне, который состоит из корпуса *2* и цанги *3*.

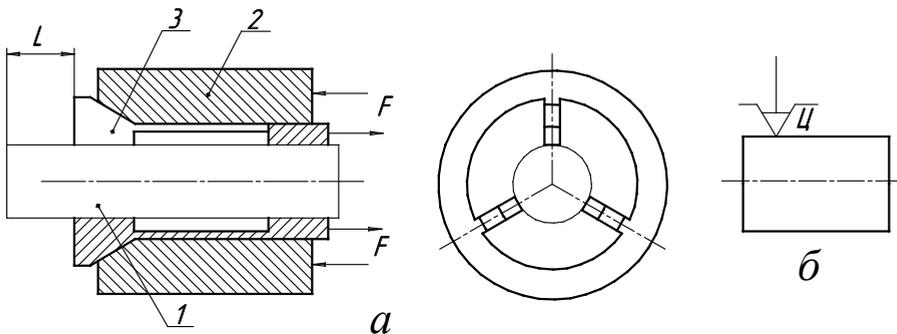


Рис. 11.27. Установка заготовки в цанговом патроне

Принцип работы цангового патрона такой же, как и цанговой оправки. Здесь рабочей поверхностью цанги является ее внутренняя ци-

цилиндрическая поверхность, которая используется для центрирования и закрепления заготовки. Внешний вид цанги для этого патрона представлен на рис. 11.22. Зажим заготовки производится затягиванием цанги в коническую втулку. Схема базирования при установке заготовки в цанговом патроне аналогична схеме, представленной на рис. 11.26, б. Схема установка приведена на рис. 11.27, б. Цанговые патроны применяются при изготовлении деталей из длинномерных заготовок — прутков и труб.

### 11.8. Примеры оформления схем базирования и установка при обработке заготовок на сверлильных и фрезерных станках

На рис. 11.28, а показана схема установки заготовки 1 на сверлильном станке для обработки центрального отверстия или на фрезерном станке для обработки заготовки по контуру. Базирование заготовки выполнено по плоскости и двум отверстиям меньшего диаметра, которые предварительно обработаны. В эти отверстия вставлены короткие пальцы. В эти отверстия вставлены короткие пальцы.

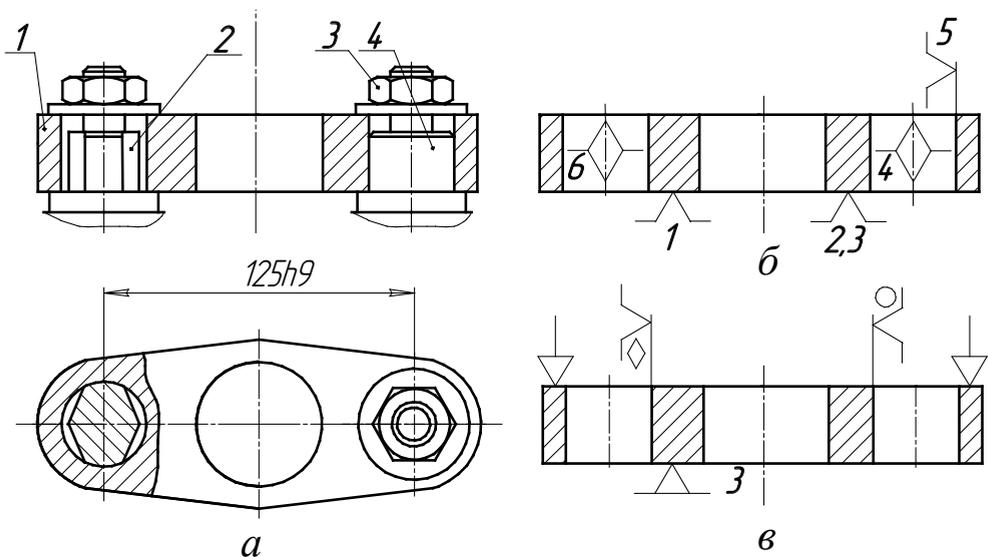


Рис. 11.28. Установка заготовки на плоскость и два пальца:

а — чертеж; б — схема базирования; в — схема установка

Палец 2 срезанный — ромбический. Палец 4 цилиндрический. Плоскость заготовки является установочной базой, что лишает ее трех степеней свободы. Цилиндрический палец является двойной опорной базой и лишает заготовку двух степеней свободы. Срезанный палец является опорной базой, что лишает заготовку одной степени свободы. Применение срезанного пальца позволяет базировать заготовки по отверстиям с большим допуском на межосевое расстояние этих отверстий, чем при установке на цилиндрические пальцы. Схемы базирования и установка заготовки представлены соответственно на рис. 11.28, б и в.

На рис. 11.29, а приведена схема установки заготовки 1 на сверлильном станке в самоцентрирующих тисках с призматическими губками 2. Форма губок позволяет центрировать заготовку по одной из осей. Центрирование по другой оси производится за счет синхронного перемещения губок. Синхронизация осуществляется вращением винта 3 с правой и левой резьбой. Согласно ГОСТ 21495—76 в данном случае базами следует считать оси заготовки. Поэтому на этих осях на схеме базирования размещены опорные точки 4, 5 и 6 (рис. 11.29, б). На схеме установка совмещены условные обозначения опоры и одинарного зажима (рис. 11.29, в). Форма опорной поверхности обозначена соответствующим знаком рядом с опорой.

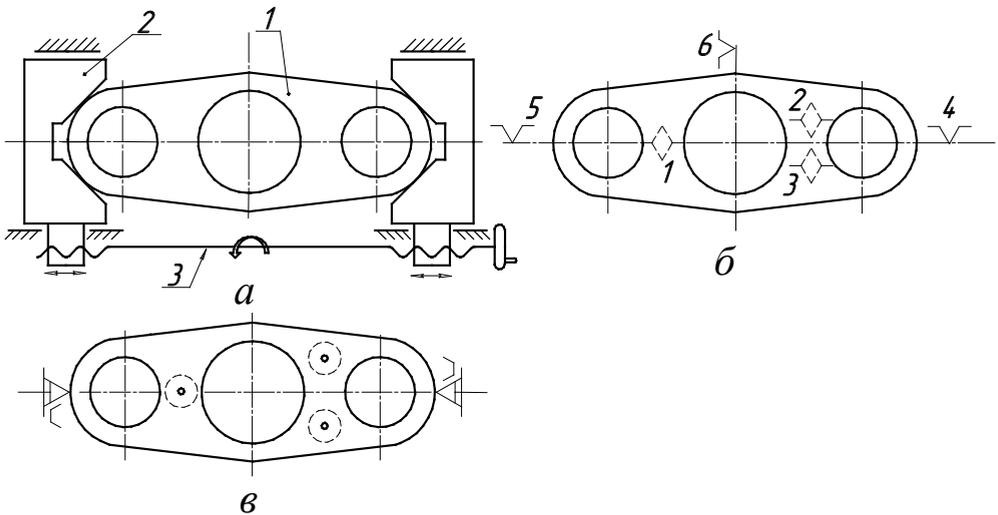


Рис. 11.29. Установка заготовки в самоцентрирующих тисках

Схемы базирования и установка других деталей в различных приспособлениях можно найти в приложениях к ГОСТ 21495–76 и ГОСТ 3.1107–81.

### *11.9. Основные принципы базирования при механической обработке*

Механическая обработка заготовок производится за несколько установов с использованием различных технологических баз. На первой операции используются черновые базы, т. е. необработанные поверхности. Обработанные на первой операции поверхности используются затем в качестве чистовых баз при последующей обработке. Рассмотрим основные принципы выбора баз при механической обработке.

#### 11.9.1. Выбор черновых баз

При выборе черновых баз необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

1. Для надежного базирования и закрепления черновая база должна иметь простую форму, ровную поверхность, достаточные размеры и наименьшую шероховатость поверхности. Недопустимо использовать поверхности с остатками прибылей, литниковых систем, со следами разъема опок, штампов, пресс форм и т. д. Черновые базы следует использовать только один раз. Дальнейшую обработку необходимо вести при установке заготовок на обработанные поверхности, т. е. чистовые базы. Положение заготовки при повторной установке на черновые базы из-за погрешностей их формы и расположения отличается от предыдущего. Обработка различных поверхностей с разных положений заготовки влияет на точность их взаимного расположения.
2. В качестве черновых баз следует выбирать поверхности, которые у готовой детали остаются необработанными.

В этом случае у готовой детали будет обеспечена точность взаимного расположения обработанных и необработанных поверхностей, например их параллельность. Для иллюстрации этого положения рассмотрим следующий пример. На рис. 11.30, *a* представлена деталь, у которой поверхности (*A*) и (*B*) должны быть обработаны согласно чертежу.

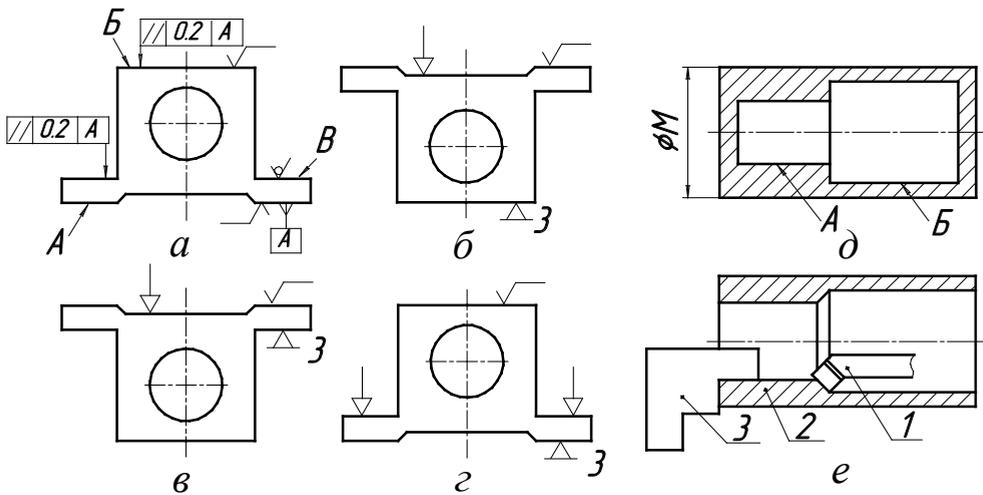


Рис. 11.30. Иллюстрации к выбору черновых баз:

1 — резец; 2 — заготовка; 3 — кулачок патрона

Пусть поверхность (А) из-за ее больших размеров выбрана в качестве установочной базы и обрабатывается первой. Затем будет обработана поверхность (В). На первой операции при обработке поверхности (А) возможна установка на поверхность (В) (рис. 11.30, б) или на поверхность (А) (рис. 11.30, в). Второй вариант установки является более рациональным, т. к. в этом случае на первой операции обеспечивается параллельность поверхностей (А) и (В), а затем на второй операции — параллельность им поверхности (В) (рис. 11.30, з).

3. Если на детали обрабатывается несколько поверхностей, то на первом установе в качестве черновой базы следует выбирать поверхность, которая имеет на именьший припуск. Иначе некоторые участки этой поверхности могут остаться необработанными. При обработке резанием такие участки поверхности называют «черными». Рассмотрим пример. На рис. 11.30, д представлен вал, который обрабатывается на токарном станке. Пусть обработка производится с закреплением заготовки в трехкулачковом патроне за два установка. Закрепление детали по необработанной поверхности в патроне вызывает биение детали при вращении из-за погрешностей ее формы — овальности или огранки. Влияет также на величину биения отклонение от соосности патрона и шпинделя. Удаление припуска в этом случае происходит

неравномерно. Поэтому чем больше биение, тем больший припуск приходится назначать на поверхность, которая обрабатывается. Так как заготовка имеет постоянный по длине диаметр, то поверхность (А) имеет больший припуск, чем на поверхность (Б). В этой связи на первом установе следует сначала обработать поверхность (А), снизив тем самым погрешности ее формы, а следовательно, и биение заготовки при базировании по ней. Затем на втором установе обрабатывается поверхность (Б).

4. При токарной обработке тел вращения необходимо в качестве черновой базы выбирать поверхность, которая обрабатывается на данном установе. Это уменьшает биение обрабатываемой поверхности, что позволяет снизить припуск на обработку. Рассмотрим пример. На рис. 11.30, е представлена схема растачивания отверстия в литой заготовке. Такие отливки могут иметь значительное отклонение от соосности наружной и внутренней поверхностей. Если базирование осуществляется по внутренней поверхности, то минимальная величина припуска, удаляемого при обработке, будет определяться погрешностями ее формы и закрепления в трехкулачковом патроне. При базировании по наружной поверхности к этим погрешностям добавится погрешность из-за отклонения от соосности наружной и внутренней поверхностей исходной заготовки. В этой связи припуск на механическую обработку внутренней поверхности следует увеличить на величину этой погрешности, чтобы исключить образование на ней черных, т. е. необработанных участков.

#### 11.9.2. Выбор чистовых баз

Выбор этих баз связан с соблюдением следующих принципов.

##### **Принцип последовательности перемены баз**

Согласно этому принципу если обработка заготовки производится за несколько установов с переменной баз, то смену баз надо производить так, чтобы сначала обрабатывались поверхности с менее точными размерами и отклонениями, а затем с более точными. Если по технологии поверхность с точной геометрией обрабатывается в первую очередь, то в конце обработки изделия обработку этой поверхности следует повторить для получения окончательных размеров. Необходимость следовать этому принципу заключается в том, что при производстве заготовок литьем или обработкой давлением в металле из-за неравномерности нагрева, охлаждения, упрочнения и т. д. возника-

ют внутренние (остаточные) напряжения. Эти напряжения снимают отжигом или старением заготовок. Полностью снять эти напряжения не удастся. Металл заготовки под действием внутренних напряжений находится в статическом равновесии. Удаление слоя металла с поверхности при механической обработке приводит к нарушению этого равновесия и перераспределению внутренних напряжений. При нарушении равновесия под действием напряжений возникают деформации, которые искажают геометрию изделия. Поэтому каждый акт снятия припуска с поверхности сопровождается деформациями заготовки.

В этой связи поверхности, которые были обработаны в первую очередь и имели правильную геометрическую форму, могут ее потерять, что вызывает необходимость повторной обработки этих поверхностей.

### Принцип совмещения или единства баз

Данный принцип следует использовать при обработке деталей партиями на предварительно настроенных станках по методу автоматического получения размеров. Метод автоматического получения размеров изложен в пункте 12.3.2. Суть принципа совмещения баз заключается в том, что для повышения точности обработки в качестве технологических баз следует выбирать поверхности, которые являются одновременно измерительными базами. Если технологическая база не совпадает с измерительной базой, то возникает погрешность базирования.

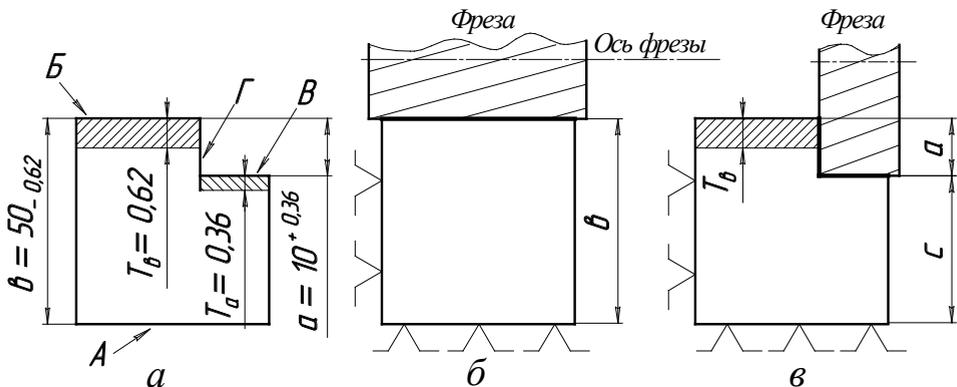


Рис. 11.31. Иллюстрации к образованию погрешности базирования

Погрешность базирования возникает из-за влияния рассеяния размера, полученного на предыдущей операции, на точность размера,

который получается на текущей операции. Рассмотрим, как возникает эта погрешность. На рис. 11.31, *а* представлена деталь, при обработке которой необходимо выдержать размеры (а) и (в) с допусками  $T_a = 0,36$  мм и  $T_b = 0,61$  мм.

Эскизы операций механической обработки, т.е. рисунки с изображением положения заготовки, режущего инструмента, указанием баз, обрабатываемых поверхностей и их размеров, представлены на рис. 11.31, *б, в*. Пусть на первой операции на горизонтально-фрезерном станке обрабатывается поверхность (Б) в размер (в) с установкой на поверхность (А), которая является технологической установочной базой (рис. 11.31, *а*).

На второй операции с той же базы при удалении напуска образуется поверхность (Г), а также поверхность (В), привязанная к поверхности (Б) размером (а) (рис. 11.31, *в*). Поверхность (Б) является измерительной базой, т.к. от этой поверхности методом пробных ходов и замеров производилась настройка станка для получения размера (а). Допустим, что заготовки после первой операции имеют рассеяние размера (в) в пределах допуска (0,62 мм). Тогда любой вариант настройки станка на второй операции не позволяет получить размер (а) в пределах его допуска для всей партии заготовок. Часть заготовок при этом может оказаться бракованной. Причиной брака является образование погрешности базирования из-за нарушения принципа совмещения технологической и измерительной баз, точнее из-за влияния рассеяния размера, полученного на предыдущей операции, на размер, который получается на текущей операции.

Рассмотрим возможность использования принципа совмещения баз для данного примера. Установим на второй операции заготовку на поверхность (Д) с упором в поверхность (Б) (рис. 11.32, *а*). Поверхность (Д) станет технологической установочной базой, а поверхность (Б) технологической направляющей базой. В то же время поверхность (Б) была определена ранее как измерительная база, т.к. от этой поверхности был задан размер (а). Таким образом, имеет место совмещение технологической и измерительной баз. При такой установке поверхность (Б) для каждой заготовки будет занимать одно и то же положение, а положение поверхности (А) будет зависеть от рассеяния размера (в). Погрешность базирования из-за влияния рассеяния размера (в) на размер (а) не возникает, а допуск на размер (в) может быть теперь любым.

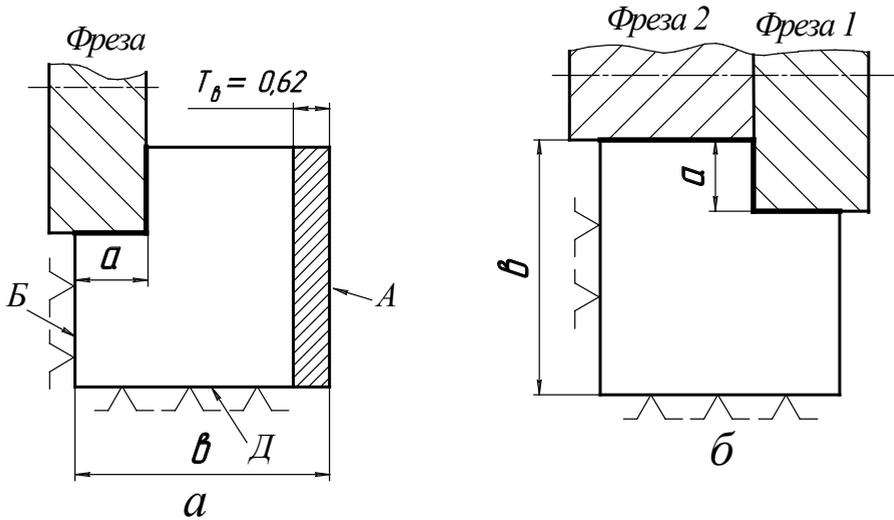


Рис. 11.32. Совмещение измерительной базы с технологическими:  
 $a$  — направляющей;  $b$  — настроечной

Другим вариантом решения является совмещение измерительной базы с технологической настроечной. В этом случае обработка ведется за один рабочий ход комплектом фрез, диаметр которых подобран так, чтобы выдерживался размер ( $a$ ) в пределах заданного допуска (рис. 11.32, б). Определение соответствующей поверхности в виде настроечной базы при обработке заготовки блоком фрез рассмотрено в параграфе 11.5.

#### Принцип постоянства баз

При механической обработке заготовок, особенно сложной конфигурации, возникает необходимость менять их положение. Если при установке в новом положении меняются базы, то возникают отклонения от перпендикулярности, параллельности, соосности и другие погрешности между ранее и вновь обработанными поверхностями. Каждая новая смена баз увеличивает эти погрешности. В пределах одной операции, когда обработка ведется с одного установа, они минимальны. Таким образом, суть принципа постоянства баз можно сформулировать следующим образом. При механической обработке изделий для повышения точности расположения поверхностей число баз на всех операциях должно быть минимальным, и если это возможно, следует использовать одну и ту же базу. В пределах одной операции необходимо стремиться вести обработку с одного установа.

Рассмотрим влияние смены баз на примере токарной обработки валика (рис. 11.33).

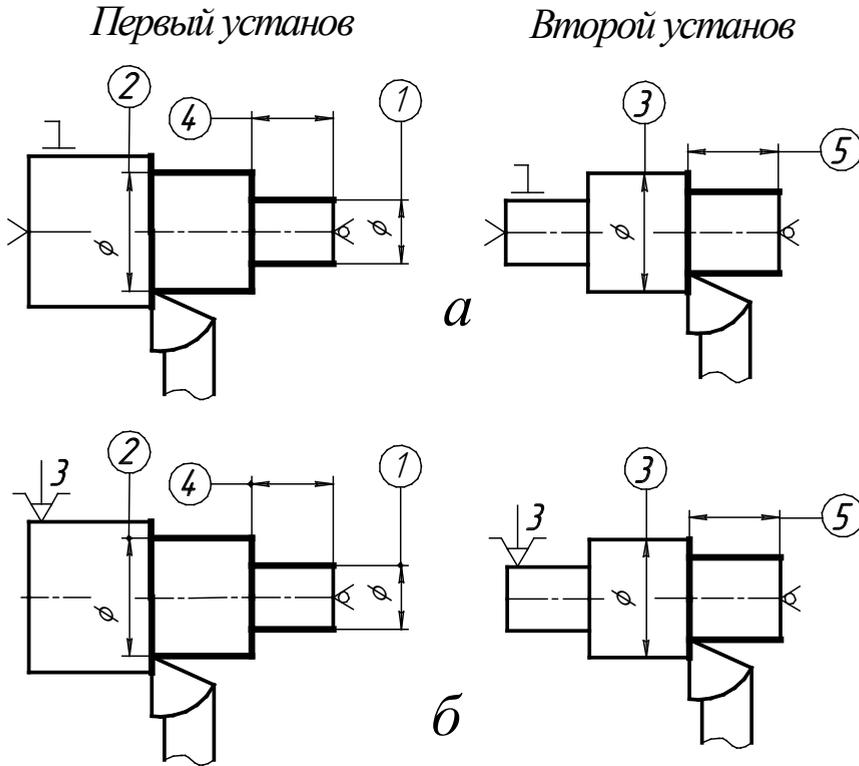


Рис. 11.33. Иллюстрация принципа постоянства баз при токарной обработке вала:

*а* — в центрах без смены баз; *б* — в трехкулачковом патроне со сменой баз

Для данного случая возможны два варианта обработки: в центрах с поводковым патроном и в трехкулачковом патроне с поджатием вала с правого торца, вращающимся центром. Структура операции в том и другом случае одинакова. Операция выполняется за два установа. На первом установе обрабатываются поверхности 1 и 2. На втором установе обрабатывается поверхность 3.

При обработке вала в центрах (рис. 11.33, *а*) базами являются центровые отверстия на торцах вала. При смене установа базы не меняются. Поэтому отклонения от соосности поверхностей, которые обрабатываются на разных установах, не возникает. При точении вала

в трехкулачковом патроне базой является наружная поверхность заготовки. Ось этой поверхности совпадает с осью патрона. Ось обрабатываемой поверхности совпадает с осью шпинделя. Однако между осями патрона и шпинделя из-за погрешности приспособления имеется отклонение. Поэтому возникает отклонение от соосности базовой и обработанной поверхностей. При обработке вала в патроне согласно рис. 11.33, б поверхности 1 и 2 будут соосными, т. к. они обрабатывались на одном установе. При смене установка базой становится поверхность 1, с которой будет обрабатываться поверхность 3. В силу вышеуказанных причин возникает отклонение от соосности этих поверхностей.

## 12. Точность МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

---

Точность является важным показателем качества изделий. Повышение точности увеличивает долговечность и надежность эксплуатации изделия, повышает взаимозаменяемость. За последние 100 лет точность механической обработки возросла более чем в 2000 раз.

В настоящее время минимальный стандартный допуск на размеры до 3 мм по 01 качеству составляет 0,3 мкм (0,01 % от размера), на размеры 1250–1600 мм — 8 мкм (0,0005 %). В то же время повышение точности должно быть экономически оправданным. На рис. 12.1 представлена качественная зависимость (без цифр) стоимости обработки от допуска на размер. Из рисунка следует, что с уменьшением допуска стоимость обработки возрастает по экспоненте.

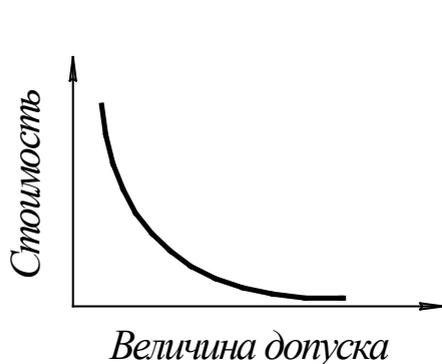


Рис. 12.1. Зависимость стоимости обработки от допуска на размер

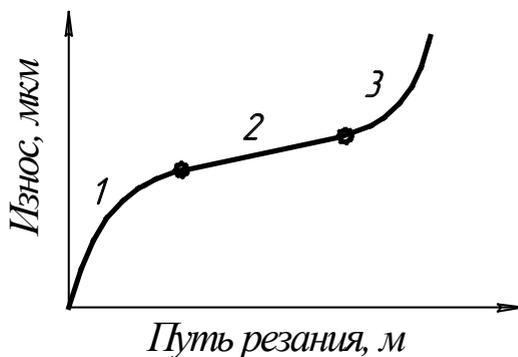


Рис. 12.2. Зависимость износа лезвийного инструмента от пути резания

Очевидно, что требования к точности и шероховатости поверхности оказывают существенное влияние на технологический процесс, т. к.

выбор методов и этапов обработки, расчет режимов резания, припусков на обработку и т. д. во многом зависят от этих требований.

### 12.1. Точность и погрешность

*Точность изделия* — это степень соответствия действительного значения геометрического параметра его заданной величине. Количественным показателем точности (нормой точности) является допуск. Назначение величины допуска называется нормированием точности. Нормированию подлежат допуски размеров, отклонения формы и расположения поверхностей.

*Погрешностью* называется численное отклонение действительного (измеренного) значения параметра от его заданного значения. Заданным значением параметра могут быть предельные и номинальный размеры, а также параметры, определяющие номинальную форму и расположение поверхностей (круглость, прямолинейность, соосность и т. д.).

Погрешность может быть абсолютной и относительной. Представленное выше определение относится к абсолютной погрешности. Отношение абсолютной погрешности к заданному значению параметра называется относительной погрешностью. Эта погрешность обычно выражается в процентах. Таким образом, погрешность тоже является количественным показателем точности. Очевидно, что при изготовлении деталей с большими погрешностями невозможно обеспечить высокую точность.

Погрешность может быть детерминированной (закономерной) или случайной (статистической) величиной. Согласно принятой в технологии машиностроения терминологии детерминированные погрешности называются систематическими. Систематические погрешности делят на два вида: постоянные и переменные.

*Постоянными* называются такие погрешности, которые при обработке партии заготовок не изменяются от заготовки к заготовке. К ним можно отнести погрешности, которые зависят от точности станков и размеров мерного (калиброванного) инструмента (сверла, зенкера, развертки, метчики).

*Переменные* погрешности меняются от заготовки к заготовке при обработке партии. К ним следует отнести погрешности из-за постепенного износа режущего инструмента и тепловых деформаций системы

ДИПС (деталь — инструмент — приспособление — станок). Не рекомендуется использовать устаревший термин СПИД.

*Случайные* погрешности не подчиняются видимой закономерности. Для каждой заготовки из партии они имеют свое значение. Можно предполагать и даже знать причину появления случайной погрешности. Однако корни этой причины, как правило, находятся в малоисследованных областях, что не позволяет точно определить эти погрешности. Например, причиной разной величины погрешностей могут быть колебания механических свойств, связанные с металлургическими факторами, и т. д.

При механической обработке в силу разнообразных причин возникают все виды погрешностей. Поэтому погрешность механической обработки состоит из трех составляющих: постоянной, переменной и случайной

## *12.2. Факторы, влияющие на точность изделий при механической обработке*

Нормы точности изделия устанавливаются конструктором и заданы на чертеже. Для технолога эти нормы являются законом. Чтобы обеспечить требования чертежа, необходимо знать факторы, которые влияют на точность и шероховатость поверхности при механической обработке, и уметь управлять ими. Основные из этих факторов рассмотрены ниже.

### *12.2.1. Износ режущего инструмента*

Износ режущего инструмента приводит к изменению его размеров. Из-за износа инструмента при обработке деталей по методу автоматического получения размеров возникает переменная систематическая погрешность. Для исключения брака при обработке крупных партий заготовок детали периодически контролируют и выполняют при необходимости корректировку настройки станков.

Согласно общим закономерностям износа твердых тел при трении скольжения, кривая зависимости износа лезвийного инструмента от времени его работы или пути резания имеет три участка (рис. 12.2). В пределах первого участка идет приработка инструмента при интенсивном его износе. Обычно длина пути резания при приработке инструмента составляет 500–2000 м. После приработки интенсивность

износа инструмента уменьшается. Его величина становится пропорциональной пути резания. Этому периоду работы инструмента на кривой износа соответствует второй участок. Длина пути резания на этом этапе составляет 8000–30000 м. Начало третьего участка характеризуется катастрофическим ростом износа инструмента. В результате режущая часть инструмента быстро разрушается.

Вопросы, связанные с износом инструмента, изучаются в соответствующих курсах по резанию металлов. Данные по износу инструмента приведены в справочной литературе.

### 12.2.2. Точность станков

Точность станков делят на два вида: геометрическую и кинематическую. Геометрическая точность станка определяется в его ненагруженном состоянии. Она зависит от погрешностей изготовления деталей и сборки станка. Кинематическая точность зависит от погрешностей перемещения звеньев в кинематических цепях механизмов станка, что нарушает теоретические законы движений инструмента и заготовки при формообразовании.

Станки по точности делятся на следующие группы: Н — нормальная; П — повышенная; В — высокая; А — особо высокая; С — особо точная. При переходе от группы к группе точность станков возрастает примерно в 1,58 раза. Допуски на геометрическую точность станков группы Н составляют сотые доли миллиметра. В частности, допускаемое радиальное биение шпинделя токарных и фрезерных станков нормальной группы точности составляет 0,01–0,015 мм, торцевое — 0,01–0,02 мм. Допуск отклонений от прямолинейности и параллельности направляющих токарных и продольно-строгальных станков на длине 1000 мм составляет 0,02 мм. Допуски на геометрическую точность особо точных станков меньше примерно в 5–6 раз. Соответственно, во столько же раз возрастает стоимость станков. Очевидно, что в процессе эксплуатации станков их точность понижается.

Точность станков оказывает непосредственное влияние на геометрию обработанных поверхностей. Многочисленные примеры нарушения геометрии из-за неточности станков можно найти в специальной и учебной литературе. Так, при точении в центрах в результате отклонения в горизонтальной плоскости от соосности шпинделя и пиноли задней бабки токарного станка возникает погрешность формы — конусообразность. Тогда вместо цилиндра получается усеченный конус (рис. 12.3, а).

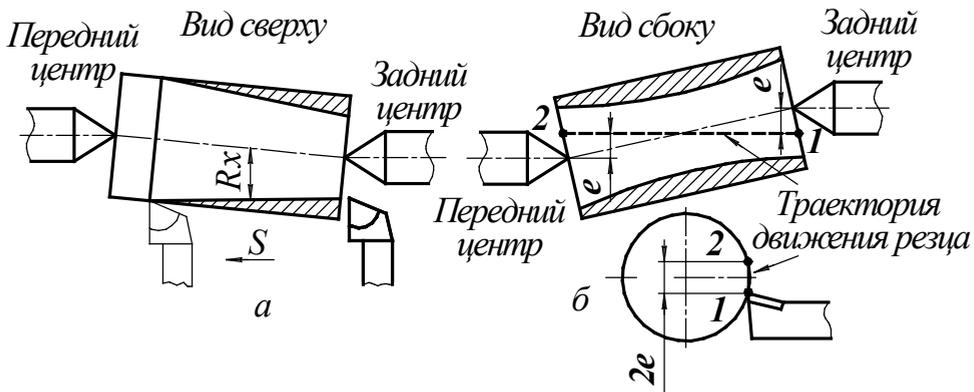


Рис. 12.3. Образование погрешностей формы деталей при отклонении от соосности центров токарного станка:

*a* — в горизонтальной плоскости; *б* — в вертикальной плоскости

Такая же погрешность формы возникает при консольном закреплении заготовки в самоцентрирующем патроне. Здесь причиной является отклонение от параллельности оси шпинделя и направляющих станины в вертикальной плоскости. Отклонение в вертикальной плоскости от соосности шпинделя и пиноли задней бабки токарного станка приводит к появлению седлообразности на обработанной детали. Тогда вместо цилиндра получается гиперboloид вращения (рис. 12.3, б).

Примерами влияния кинематической точности станков на геометрию обработанных поверхностей являются погрешность шага резьбы при ее нарезании резцом на токарно-винторезных станках или погрешности геометрии зубьев, возникающие при нарезании зубчатых колес.

### 12.2.3. Температурные деформации системы ДИПС

Известно, что при нагреве тела его размеры увеличиваются. Так, изменение линейного размера определяется по формуле

$$\Delta L = \alpha L (\Delta t),$$

где  $\alpha$  — температурный коэффициент линейного расширения, град<sup>-1</sup>;  $L$  — линейный размер до нагрева;  $\Delta t$  — разность температуры до и после нагрева.

При механической обработке выделяется значительное количество тепла. Основным его источником является процесс резания металла.

Температура в зоне резания может превышать 1000 °С. Кроме того, тепло выделяется в узлах трения механизмов станка. Поток тепла, которое выделяется при резании, распределяется между стружкой, деталью и инструментом. В количественном отношении это распределение зависит от метода обработки. При наружном точении поток тепла распределяется следующим образом: в стружку — 50–85 %, в резец — 10–40 %, в заготовку — 3–4 %, в окружающую среду — 1 %. При сверлении в стружку уходит до 28 % тепла, в заготовку — 55 %, в сверло — 14 %, в окружающую среду — остальное.

При выделении тепла система ДИПС нагревается и под воздействием температуры деформируется. Температурные деформации могут оказывать значительное влияние на точность обработки деталей, особенно по 5–6 качеству. Источниками погрешностей являются температурные деформации системы ДИПС. При токарной обработке наружной поверхности удлинение резца за счет нагрева может достигать 0,05–0,06 мм. Диаметр обработанной поверхности уменьшается при этом на 0,1–0,12 мм. Смещение оси шпинделя станка за счет нагрева передней бабки — узла, в котором сосредоточена почти вся механическая часть станка — по экспериментальным данным, составляет 0,1 мм. Чтобы уменьшить влияние нагрева заготовки на точность, применяют СОЖ — смазочно-охлаждающую жидкость. Это снижает температуру в зоне резания в 3–3,5 раза. Кроме того, не рекомендуется производить измерения заготовки сразу после обработки в нагретом состоянии, а также препятствовать зажимами развитию температурных деформаций при обработке.

#### 12.2.4. Упругие деформации системы ДИПС под действием сил резания

Упругой называется деформация твердого тела, которая исчезает после снятия внешней нагрузки, и тело восстанавливает свои первоначальные размеры и форму. При механической обработке между заготовкой и инструментом возникают силы взаимодействия — силы резания. Под действием этих сил элементы системы ДИПС упруго деформируются. В результате упругой деформации режущая кромка инструмента отклоняется от первоначального настроенного положения. Поэтому геометрические параметры обработанной поверхности получаются с погрешностями.

Деформация системы ДИПС состоит из деформации отдельных деталей и деформации контактных поверхностей в местах соединения

деталей (на стыках). Величину деформации деталей можно рассчитать с достаточной степенью точности методами сопротивления материалов. Деформация контактных поверхностей имеет следующую природу. Поверхность деталей не бывает идеально ровной и гладкой. Она имеет рельеф, который определяется ее шероховатостью и волнистостью. Поэтому контакт поверхностей осуществляется по выступам. Под действием внешней нагрузки выступы упруго деформируются и контактирующие поверхности сближаются. Определить эти деформации простыми инженерными методами сопротивления материалов довольно трудно. Для этого проводятся исследования экспериментального характера.

Величина упругих деформаций зависит от жесткости системы. Жесткостью называется способность тела сопротивляться деформациям под действием внешней нагрузки. Количественно жесткость оценивается как отношение силы, действующей на тело, к величине его деформации. Размерность жесткости — н/м. Жесткость  $j$  системы ДИПС определяется как отношение радиальной составляющей силы резания  $P_y$ , направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, к смещению  $y$  лезвия инструмента относительно заготовки. Величина, обратная жесткости, называется податливостью  $\omega$ . Таким образом,

$$j = \frac{P_y}{y}, \quad \omega = \frac{1}{j}.$$

Допустим, система ДИПС состоит из  $n$  элементов. Обозначим деформацию каждого элемента под действием силы резания  $P_y$  соответственно  $y_1, y_2, \dots, y_n$ .

Тогда смещение  $y$  лезвия инструмента относительно заготовки будет равно

$$y = y_1 + y_2 + \dots + y_n.$$

Если разделить обе части этого равенства на  $P_y$ , получим следующие формулы:

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n, \quad \frac{1}{j} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \dots + \frac{1}{j_n}.$$

Рассмотрим влияние жесткости элементов системы ДИПС на погрешности размеров изделий при механической обработке.

Жесткость детали (заготовки) является основной причиной возникновения погрешностей. На рис. 12.4 представлены схемы дефор-

мации вала при токарной обработке вала в центрах и самоцентрирующем патроне.

Из этих схем следует, что деформация вала зависит от положения резца в процессе обработки. С увеличением прогиба вала уменьшается глубина резания и возрастает его диаметр. При обработке в центрах наибольший прогиб заготовки имеет место, когда резец находится посередине. Поэтому погрешностью формы является бочкообразность (рис. 12.4, а). При обработке в патроне заготовка закреплена консольно, и наибольший прогиб возникает в начальной стадии обработки. Погрешностью формы в данном случае является конусообразность (рис. 12.4, б). Приблизительно максимальный прогиб  $f$  заготовки можно рассчитать, рассматривая заготовку как балку, расположенную на двух опорах, или как консольно-закрепленную по следующим формулам сопротивления материалов.

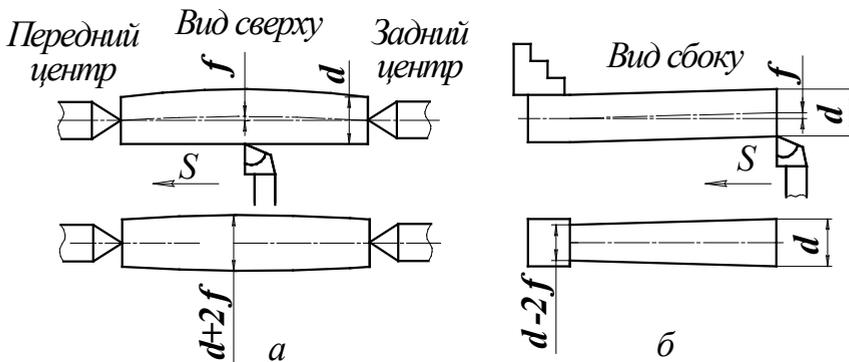


Рис. 12.4. Образование погрешностей формы вала при токарной обработке:  
а — в центрах, б — в патроне

$$f = \frac{P_y l^3}{48EI}, \quad f = \frac{P_y l^3}{3EI},$$

где  $l$  — длина вала,  $E$  — модуль упругости материала,  $I$  — осевой момент инерции поперечного сечения вала. Из этих формул следует, что прогиб вала при обработке в патроне в 16 раз больше, чем при обработке в центрах.

Для уменьшения прогиба вала при токарной обработке используют неподвижные и подвижные люнеты. Первые устанавливают на направляющих суппорта, вторые — на суппорте станка (рис. 12.5).

Жесткость инструмента (резцов) при токарной обработке валов оказывает незначительное влияние на погрешности геометрических параметров этих деталей, т. к. под действием составляющей силы резания  $P_y$ , направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, резец работает на сжатие. Однако при растачивании отверстий резец закрепляется в резцедержателе консольно и работает на изгиб. Поэтому жесткость резца небольшая. Для определения жесткости инструмента можно использовать расчетные методы, т. к. инструмент, как правило, имеет простую форму, что позволяет составить для расчета несложную схему.

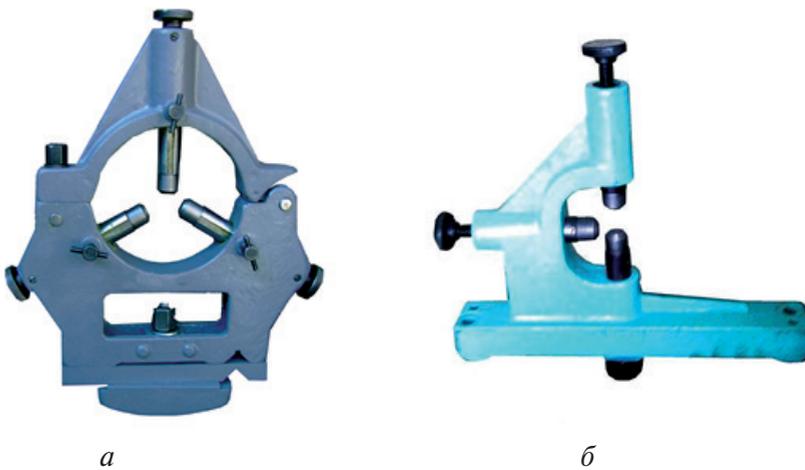


Рис. 12.5. Люнеты для токарной обработки:  
*a* — неподвижный люнет; *b* — подвижный люнет

Жесткость приспособлений определяется преимущественно экспериментально, т. к. составить простую расчетную схему для сложной механической системы и получить с ее помощью адекватные действительности результаты весьма непросто.

Жесткость станков в настоящее время исследована достаточно хорошо. Для большинства станков установлены паспортные значения жесткости, которые позволяют вести необходимые расчеты с достаточно высокой точностью.

Определение жесткости станков расчетным путем является сложной задачей. Поэтому эту жесткость определяют экспериментальными методами. Существуют два экспериментальных метода определения жесткости.

### 1. Статический метод.

В данном случае жесткость определяется при неработающем станке. Станок нагружают силами, имитирующими нагрузки при обработке резанием, и регистрируют деформации системы. При необходимости регистрацию деформаций производят и при разгрузке. По известным силам и деформациям производят расчет жесткости.

### 2. Динамический, или производственный, метод.

При определении жесткости статическим методом не учитываются динамические нагрузки (удары, вибрация и т. д.), которые возникают при работе станка. В этой связи жесткость, найденная статическим методом, больше жесткости, определенной динамическим методом. Жесткость определяется по следующей методике. На станок устанавливается ступенчатая цилиндрическая заготовка с размером ступени

$$\Delta_3 = \frac{D_1 - D_2}{2},$$

где  $D_1$  и  $D_2$  — диаметры ступеней (рис. 12.6).

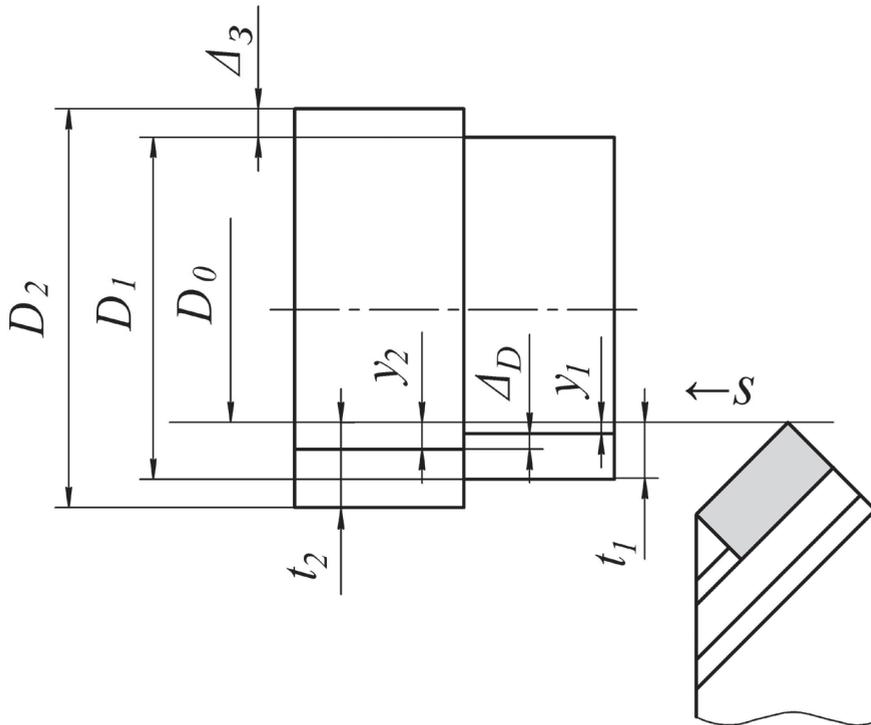


Рис. 12.6. Схема к определению жесткости динамическим методом

После обработки за один рабочий ход за счет различной глубины резания по ступеням на обработанной поверхности также образуется ступень

$$\Delta_d = y_2 - y_1,$$

где  $y_1$  и  $y_2$  — величины радиального смещения вершины резца при обработке вала по ступеням.

Эти величины определяются по формулам

$$y_1 = \frac{P_{y1}}{j}, \quad y_2 = \frac{P_{y2}}{j},$$

где  $j$  — жесткость системы ДИПС, которая для данной системы является постоянной величиной.

В результате вычитания получаем:

$$j = \frac{P_{y2} - P_{y1}}{y_2 - y_1}.$$

Для радиальных сил резания по ступеням имеем:

$$P_{y1} = C \cdot t_1, \quad P_{y2} = C \cdot t_2.$$

где  $C$  — коэффициент, зависящий от материала заготовки, геометрии резца и величины подачи;  $t$  — глубина резания. Формулы и рекомендации для определения коэффициента  $C$  приведены в специальной литературе. Вычитание дает:

$$P_{y2} - P_{y1} = C(t_2 - t_1), \quad j = C \cdot \frac{(t_2 - t_1)}{y_2 - y_1}.$$

Однако

$$t_1 = \frac{D_1 - D_0}{2}, \quad t_2 = \frac{D_2 - D_0}{2},$$

где  $D_0$  — теоретический диаметр обработки вала. Откуда

$$j = C \cdot \frac{D_2 - D_1}{y_2 - y_1}, \quad j = C \frac{\Delta_3}{\Delta_d}.$$

Величины  $\Delta_3$  и  $\Delta_d$  определяются замерами. Очевидно, что при использовании этого метода следует применять заготовку и резец повышенной жесткости, чтобы уменьшить влияние их деформации на результаты определения жесткости станка.

### 12.2.5. Погрешности установки заготовок на станках и в приспособлениях

*Установкой*, согласно ГОСТ 21495–76, называется базирование и закрепление заготовки или изделия.

*Погрешностью установки*, по ГОСТ 21495–76, называется отклонение фактически достигнутого положения заготовки от заданного положения. Фактическое положение заготовки определяется ее базированием и закреплением. Кроме того, на фактическое положение заготовки влияет точность изготовления деталей приспособления, а также точность его положения на станке. Необходимо отметить также влияние износа рабочих поверхностей приспособления в процессе эксплуатации. Поэтому погрешность установки  $\Delta_y$  определяется как совокупность погрешностей базирования  $\Delta_6$  закрепления  $\Delta_3$  и приспособления  $\Delta_{пр}$ . Когда указанные погрешности рассматриваются как случайные величины, погрешность установки определяется по правилу сложения случайных величин:

$$\Delta_y = \sqrt{\Delta_6^2 + \Delta_3^2 + \Delta_{пр}^2}.$$

Погрешность базирования возникает при нарушении принципа совмещения или единства баз, когда технологическая и измерительная базы не совпадают. Эта погрешность образуется при обработке заготовок партиями на предварительно настроенных станках по методу автоматического получения размеров. Если размеры получаются методом пробных ходов и замеров, то погрешности базирования не возникает. Пример для иллюстрации этого принципа представлен на рис. 11.31. Как было уже рассмотрено ранее, погрешность базирования возникает из-за влияния рассеяния размера (в), полученного на предыдущей операции, на размер (а), который получается на текущей операции. При совмещении баз за счет установки заготовки на текущей операции в положении, представленном на рис. 11.32, погрешность базирования исключается.

Погрешность закрепления возникает от действия сил, которые удерживают заготовку при механической обработке. Эта погрешность возникает из-за упругих деформаций заготовки, деталей приспособления, а также контактных поверхностей на стыке технологических баз и установочных элементов. Упругая деформация зависит от величины и схемы приложения сил к заготовке, ее конфигурации, свойств материала, а также конструкции приспособления.

Погрешность приспособления возникает из-за неточностей изготовления деталей приспособления и установки его на станке, а также из-за изнашивания рабочих поверхностей приспособления в процессе эксплуатации.



Рис. 12.7. Иллюстрация к образованию погрешностей установки

Рассмотрим образование погрешностей установки на примере механической обработки на токарном станке тонкостенной втулки. Чертеж втулки представлен на рис. 12.7, а. Заготовкой для втулки может быть пруток или труба. Пусть заготовкой для втулки будет труба с припуском на обработку, т. е. большим наружным диаметром и более толстой стенкой. Использование заготовки с отверстием позволяет уменьшить отходы металла в виде стружки. Для установки заготовки используется трехкулачковый самоцентрирующий патрон (рис. 12.7, б).

Будем рассматривать два варианта обработки. Сначала примем, что обработка производится за две операции. Содержание первой операции включает три технологических перехода: подрезку торца, обработку наружной поверхности и отрезку втулки по длине. На второй операции втулку растачивают по внутреннему диаметру. Схема растачивания представлена на рис. 12.7, в.

При обработке по данной технологии образуются все три вида погрешностей: базирования, закрепления и приспособления. Погрешность базирования возникает при обработке по методу автоматического получения размеров из-за нарушения принципа совмещения баз, когда технологическая и измерительная базы не совпадают. Причи-

ной образования погрешности является влияние рассеяния размера, полученного на предыдущей операции, на размер, который получается на следующей операции.

Схема базирования и схема установка при обработке втулки в трехкулачковом патроне представлены на рис. 12.8.

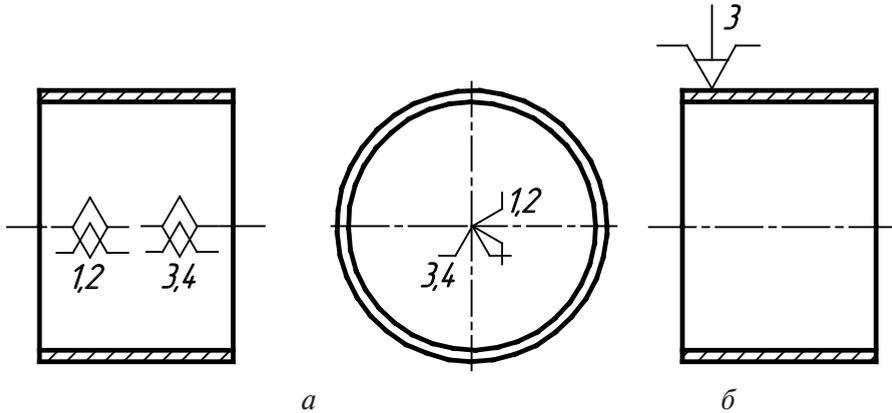


Рис. 12.8. Схема базирования (а) и схема установка (б) при установке втулки в самоцентрирующем трехкулачковом патроне

Согласно принятой классификации баз в машиностроении при установке втулки в самоцентрирующем трехкулачковом патроне базой принято считать ось втулки под названием: технологическая, двойная направляющая, скрытая база.

Для контроля толщины стенки на второй операции после растачивания за базу принимается наружная или внутренняя поверхности втулки. В данном случае имеет место несовпадение баз с нарушением вышеуказанного принципа и образованием погрешности базирования. На толщину станка будет влиять рассеяние наружного диаметра втулки, полученного на предыдущей операции.

Определим границы рассеяния наружного диаметра втулки, в пределах которых обеспечивается заданная точность толщины стенки. На рис. 12.9 представлена схема для определения этих границ. На первой операции заготовка обрабатывается по наружному диаметру, который может меняться в пределах допуска от наименьшего  $TD_{нар.мин} = 59,6$  мм до наибольшего  $TD_{нар.макс} = 60$  мм.

На второй операции для растачивания заготовки по внутреннему диаметру необходимо станок настроить так, чтобы получить толщину стенки в пределах допуска  $Tt = 0,1$  мм.

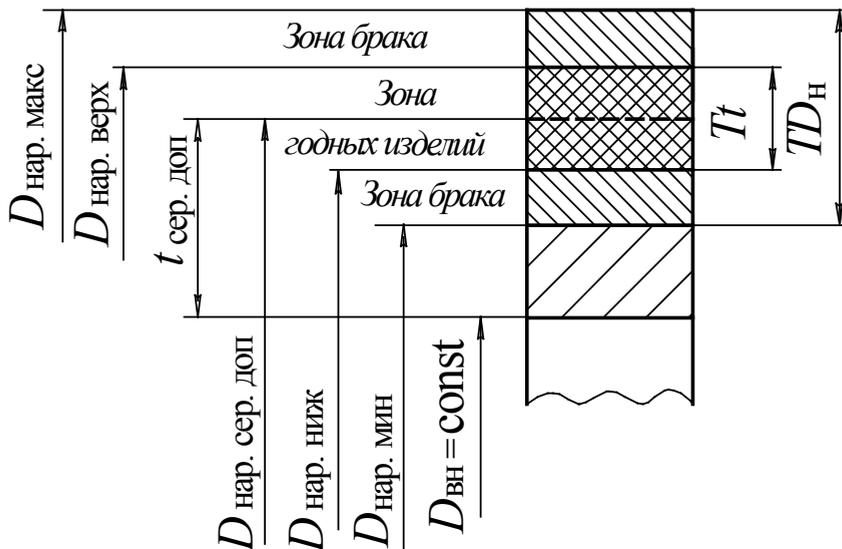


Рис. 12.9. Границы рассеяния наружного диаметра втулки

Настройка станка производится при обработке первой заготовки. Допустим, наружный диаметр этой заготовки соответствует середине допуска на этот диаметр и равен

$$D_{\text{нар. сер. доп}} = \frac{D_{\text{нар. макс}} + D_{\text{нар. мин}}}{2} = \frac{60 + 59,6}{2} = 59,8 \text{ (мм)}.$$

На рис. 12.9 середина поля допуска по диаметру обозначена штриховой линией.

Если настроить станок так, чтобы получить при растачивании толщину стенки, которая соответствует середине ее допуска:

$$t_{\text{сер. доп}} = \frac{t_{\text{макс}} + t_{\text{мин}}}{2} = \frac{2,5 + 2,4}{2} = 2,45 \text{ (мм)},$$

то величина внутреннего диаметра втулки будет равна:

$$D_{\text{вн}} = D_{\text{нар. сер. доп}} - 2 \cdot t_{\text{сер. доп}} = 59,8 - 2 \cdot 2,45 = 54,9 \text{ (мм)}.$$

Очевидно, что средние линии полей допусков наружного диаметра и стенки втулки будут совпадать.

При условии, что внутренний диаметр втулки не будет меняться в процессе обработки других заготовок на этой операции, границами наружного диаметра, в которых обеспечивается толщина стенки в пределах допуска, будут размеры:

$$D_{\text{нар. верх}} = D_{\text{нар. сер. доп}} + \frac{Tt}{2} = 59,8 + \frac{0,1}{2} = 59,85 \text{ (мм)};$$

$$D_{\text{нар. ниж}} = D_{\text{нар. сер. доп}} - \frac{Tt}{2} = 59,8 - \frac{0,1}{2} = 59,75 \text{ (мм)}.$$

У деталей с наружным диаметром вне этих границ толщина стенки будет выходить за пределы допуска. Поэтому некоторая часть деталей из партии может оказаться годной по наружному диаметру, но бракованной по толщине стенки.

Рассмотрим образование погрешности закрепления в виде отклонения от круглости внутренней поверхности втулки при растачивании. При закреплении тонкостенной втулки в трехкулачковом патроне под действием сил от зажимов возникнет деформация ее поперечного сечения. На рис. 12.10 в первой позиции показано поперечное сечение заготовки втулки до закрепления.

После закрепления в трехкулачковом патроне поперечное сечение втулки примет форму, показанную на рис. 12.10 во второй позиции.

Как следует из рисунка, возникнет отклонение от круглости как внутренней, так и наружной поверхности. Растачиванием внутренней поверхности погрешность ее формы будет устранена, в то время как погрешность формы наружной поверхности останется. Это состояние изделия показано в третьей позиции. После открепления детали первоначальная форма наружной поверхности, которую она имела до закрепления, будет восстановлена, а внутренняя поверхность приобретет форму, показанную в четвертой позиции. Таким образом, при закреплении заготовки в трехкулачковом патроне в результате ее упругой деформации возникла погрешность в виде отклонения от круглости внутренней поверхности втулки.

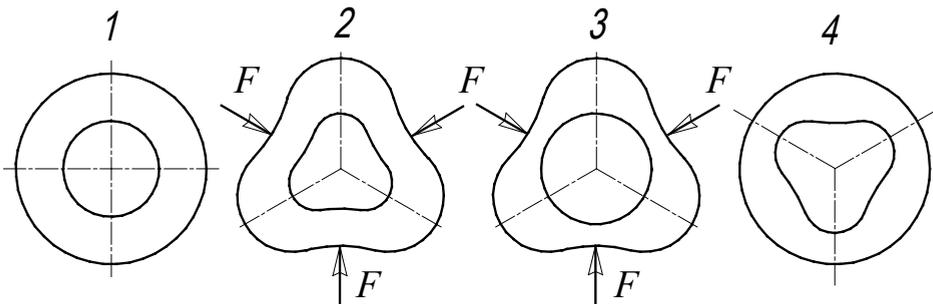


Рис. 12.10. Последовательность формирования погрешностей формы отверстия втулки под действием сил закрепления в самоцентрирующем трехкулачковом патроне

Теперь рассмотрим образование погрешности приспособления в виде отклонения от соосности наружной и внутренней поверхностей втулки. Как было отмечено ранее, растачивание втулки производится при закреплении ее в трехкулачковом патроне. Ось втулки после закрепления до растачивания будет совпадать с осью патрона. Ось патрона из-за неточностей его установки на шпинделе и износа деталей механизма перемещения кулачков не совпадает с осью шпинделя. Однако после растачивания ось внутренней поверхности станет совпадать с осью шпинделя, в то время как ось наружной поверхности останется совмещенной с осью патрона. Таким образом, после растачивания возникнет отклонение от соосности наружной и внутренней поверхности втулки, т. е. появится погрешность приспособления.

Рассмотрим другой вариант механической обработки втулки, когда вышеуказанные погрешности не возникают. Будем вести обработку за одну операцию по методу автоматического получения размеров на предварительно настроенном токарно-револьверном станке (рис. 11.9). Заготовкой для втулки будет также труба. На первом переходе точением обрабатываются одновременно наружная и внутренняя поверхности втулки. Резцы установлены на оправке, размещенной в гнезде револьверной головки (рис. 12.11).

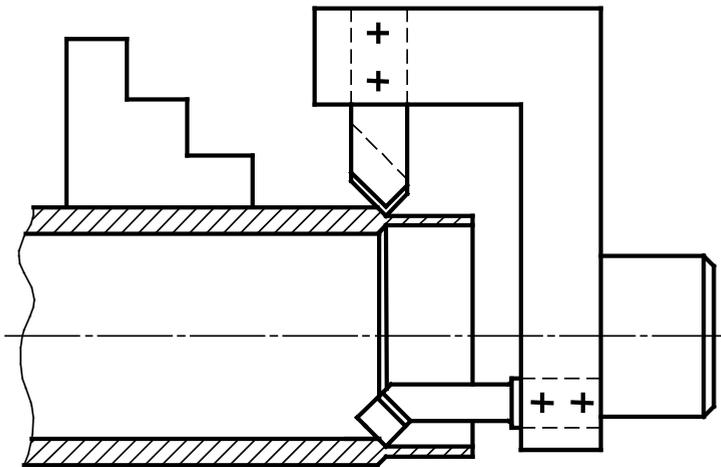


Рис. 12.11. Схема обработки втулки на токарно-револьверном станке при совмещении настроечной и измерительной баз

Точение поверхностей производится продольным перемещением револьверного суппорта. На следующем переходе готовая деталь отрезается от заготовки.

Рассмотрим, как в данном случае реализован принцип совмещения баз, что исключает погрешность базирования в виде влияния рассеяния наружного диаметра втулки на толщину ее стенки. Очевидно, устранить погрешность базирования за счет совмещения измерительной и технологической скрытой базы нельзя, т. к. ось втулки не является материальным объектом. Произведем настройку станка для одновременной обработки наружной и внутренней поверхностей втулки. За настроечную базу можно принять любую из этих поверхностей. Обе они обрабатываются на одном установе, связаны диаметральным размером с технологической базой — осью заготовки, а также между собой толщиной стенки. Одновременно каждая из этих поверхностей может быть выбрана за измерительную базу, т. к. между ними есть размерная связь. Следовательно, имеет место совмещение технологической настроечной и измерительной баз. Погрешности базирования в этом случае не возникает, т. к. исключается влияние рассеяния наружного диаметра на толщину стенки.

Применение указанной технологии дает возможность практически исключить погрешность закрепления в виде отклонения от круглости внутренней поверхности втулки при растачивании, т. к. труба зажата кулачками вне зоны обработки, где формируется будущее изделие. Деформация поперечного сечения от сил зажима будет небольшой.

Погрешности приспособления в виде отклонения от соосности наружной и внутренней поверхностей втулки тоже не возникает, т. к. эти поверхности обрабатываются за один установ и их оси после обработки будут совпадать с осью шпинделя.

### *12.3. Обеспечение точности механической обработки*

#### *12.3.1. Методы и этапы механической обработки поверхности*

Механическая обработка поверхности производится в основном резанием металла со снятием стружки лезвийным или абразивным инструментом, реже пластическим деформированием. Резание лезвийным инструментом осуществляется точением, фрезерованием, сверлением и другими методами. При абразивной обработке применяется шлифование, хонингование, суперфиниширование. Пластическое деформирование осуществляется обкаткой и раскаткой ролика-

ми, дорнованием (калибровкой) отверстий шариками или оправками, дробеструйной обработкой. Каждый метод имеет свои технологические возможности по обеспечению точности и шероховатости поверхности. В то же время одинаковые показатели можно получить различными методами. Например, тонкое точение обеспечивает 7–9 квалитет точности, и шероховатость поверхности по  $R_a$  составляет 0,63–1,25 мкм. Такие же показатели можно получить шлифованием.

Технологический процесс представляет собой совокупность операций, при выполнении которых обработке подвергается одна или несколько поверхностей. В результате заготовка превращается в готовую деталь. Обработать каждую поверхность по требованиям чертежа за одну операцию или один технологический переход удастся не всегда. Чтобы обеспечить эти требования, возникает необходимость разделить обработку на этапы с распределением по ним припуска. Так, в простейшем случае все этапы выполняют на одном станке. Режимы резания, инструмент и приспособления выбираются так, чтобы обеспечивались требования чертежа. В более сложном случае изменяют метод обработки поверхности. Например, после точения применяют шлифование или обкатку роликами. Таким образом, обработка одной поверхности тоже представляет собой дискретный процесс, который выполняется разными методами за несколько этапов. Точность и шероховатость поверхности на различных этапах зависит от метода обработки и поверхности, которая обрабатывается на данном этапе. В самом сложном варианте обработка поверхности включает следующие этапы:

- черновой, на котором удаляется с поверхности заготовки основная часть припуска, обеспечивается точность обработки по 12–14 квалитету, а шероховатость поверхности по  $R_a$  составляет 6,3–12,5 мкм;
- получистовой, на котором обработка поверхности выполняется с допусками по 8–10 квалитету, а ее шероховатость по  $R_a$  составляет 1,25–2,5 мкм. На первых двух этапах применяются в основном точение и фрезерование;
- чистовой, на котором по точности имеем 7 квалитет, а шероховатость по  $R_a$  составляет 0,63–1,25 мкм. Здесь применяются точение, фрезерование, шлифование, развертывание и протягивание;
- отделочный (тонкая обработка), на котором за счет применения тонкого точения, растачивания, хонингования, суперфини-

ширования, точность обработки повышается до 5–6 качества, а шероховатость по  $R_a$  составляет менее 0,32 мкм.

Приведенный перечень этапов является ориентировочным. В технической и учебной литературе можно встретить другие варианты, которые могут отличаться по показателям точности и шероховатости. Однако эти отличия, как правило, незначительны. На количество этапов оказывает влияние метод получения заготовок. Если заготовка получена точным литьем или холодной штамповкой с точностью по 12–14 качеству с шероховатостью поверхности не более 10 мкм, то необходимость чернового этапа обработки отпадает. Однако в большинстве случаев процесс механической обработки состоит из нескольких этапов. Каждый этап выполняется соответствующим методом обработки и на соответствующем оборудовании. Например, черновой этап токарной обработки можно выполнять на старых изношенных станках, в то время как для чистового этапа требуются точные станки.

### 12.3.2. Методы получения размеров при механической обработке

Для получения заданных на чертеже размеров применяются два метода.

Метод пробных ходов и замеров, или метод взятия пробных стружек, заключается в удалении со всей обрабатываемой поверхности или ее участка части припуска (снятие пробной стружки) с последующим замером изделия. По результатам замера делают корректировку настройки станка и пробную стружку снимают снова. Этот процесс повторяют до тех пор, пока не будет получен размер в пределах заданного допуска. Точность размера в данном случае зависит от минимально допустимой толщины стружки, снимаемой за один рабочий ход. Эта толщина зависит от качества заточки и геометрии инструмента и находится в пределах 0,005–0,05 мм, что не позволяет изменить размер на меньшую величину. Указанный метод применяется в единичном и мелкосерийном производстве.

Метод автоматического получения размеров применяется при обработке деталей партиями в крупносерийном и массовом производстве. В простейшем случае станок предварительно настраивается на заданный размер и поверхность обрабатывается за один рабочий ход. Затем деталь снимается со станка, и на станок устанавливается следующая заготовка. Примеры иллюстрации этого метода представлены на рис. 11.5 и 11.10. Основными его преимуществами являются

высокая производительность, снижение брака, уменьшение потребности в высококвалифицированных рабочих и, как следствие, низкая себестоимость обработки. Точность размеров в данном случае зависит от точности настройки, упругих и температурных деформаций системы ДИПС, износа режущего инструмента и прочих факторов. Этот метод применяется также при обработке деталей на станках с ЧПУ при любом типе производства. В этом случае станок работает по программе, по которой заданы траектории перемещения инструмента.

### 12.3.3. Методы настройки системы ДИПС

*Настройкой* называется процесс установки относительного положения инструмента и заготовки в приспособлении на станке для получения заданной точности изделия. После настройки на станке обрабатывается одна деталь или партия деталей. При обработке деталей на универсальных станках по методу автоматического получения размеров применяются два способа настройки.

**Метод динамической настройки.** В данном случае настройка на размер производится методом пробных ходов и замеров. После получения заданного размера обрабатывается вся партия изделий. Точность настройки в данном случае зависит от минимальной толщины стружки, снимаемой за один рабочий ход.

**Метод статической настройки.** В этом случае настройку производят на неработающем станке по эталону или упорам. При настройке станка по эталону на станок устанавливают эталон с соответствующими размерами и приводят в соприкосновение с ним режущую кромку инструмента (рис. 12.12, а). Таким образом, инструмент устанавливается в положение, в котором обеспечивается заданный размер детали. В данном случае возникают погрешности, связанные с изготовлением эталона, его установкой на станок, и погрешности установки инструмента относительно эталона. Поэтому точность обработки довольно низкая (8–9 квалитет). Для повышения точности статическую настройку дополняют динамической.

Статическую настройку станков выполняют также по жестким упорам или упорам, снабженным индикаторными устройствами. Упором ограничивают перемещение рабочих органов станка с инструментом так, чтобы при обработке выдерживался настроечный размер. На рис. 12.12, б перемещение продольного суппорта к патрону ограничено упором. Настроечный размер обеспечивается подрезкой переднего торца детали перемещением поперечного суппорта с базиро-

ванием детали в приспособлении по заднему торцу. Для более точной установки инструмента регулировку упора производят с помощью индикатора (рис. 12.12, в).

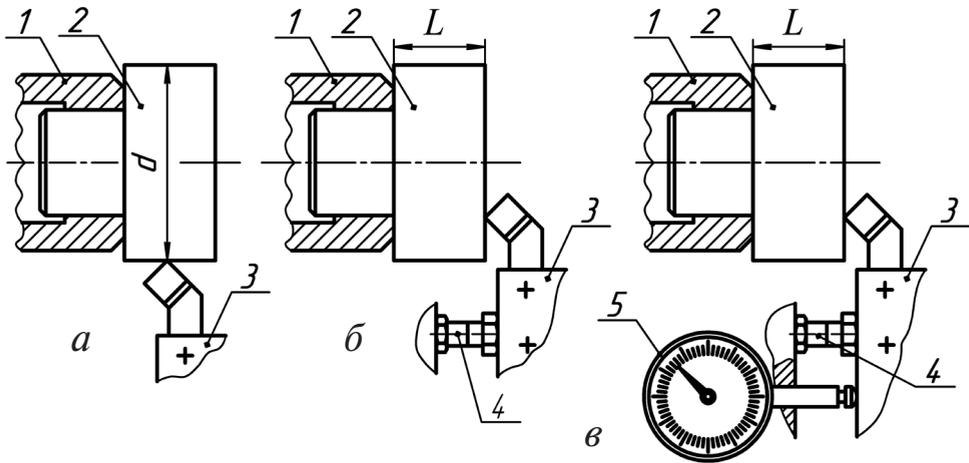


Рис. 12.12. Настройка станков:

*a* — по эталону, *б* — по жесткому упору, *в* — по упору с индикатором;  
 1 — патрон, 2 — эталон, 3 — резцедержатель; 4 — упор, 5 — индикатор  
 (стрелками показаны настроечные размеры)

## **13. Анализ точности МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ**

.....

Как было отмечено ранее, погрешности размеров при механической обработке делятся на систематические (закономерные) и случайные (статистические). Физические законы появления систематических погрешностей известны, поэтому они могут быть достаточно точно определены расчетным или опытным путем. К систематическим погрешностям относятся тепловые и упругие деформации системы ДИПС, размерный износ режущего инструмента.

Законы появления случайных погрешностей имеют вероятностный характер. Эти законы изучает математическая статистика. Точное значение случайных погрешностей заранее определить нельзя, т. к. они зависят от множества независимых случайных факторов. Можно указать лишь интервал, в пределах которого эти погрешности принимают то или иное значение. Среди причин появления случайных погрешностей можно выделить колебания механических свойств обрабатываемого материала и припусков на механическую обработку.

Таким образом, точное значение размеров при механической обработке из-за случайных погрешностей заранее определить невозможно. В пределах одной партии деталей, обработанных по методу автоматического получения размеров, каждая деталь будет иметь свой размер. Размеры деталей будут изменяться в некоторых пределах и группироваться около некоторого центра. Это явление в математической статистике называется *рассеянием* случайных величин. Величина, в пределах которой изменяются случайные величины, обозначается  $\omega_x$  и называется *полем рассеивания*, или *полем распределения*.

### 13.1. Анализ точности методом кривых распределения

Рассеяние размеров может привести к тому, что у некоторой части изделий размеры выйдут за пределы допуска. В этой связи при изготовлении деталей большими партиями на предварительно настроенных станках необходимо прогнозировать, какая часть изделий из-за случайных погрешностей может оказаться бракованной и сколько материальных и трудовых ресурсов потребуется дополнительно для выполнения производственной программы с учетом брака. Анализ точности механической обработки методом кривых распределения дает возможность по результатам измерений малого количества деталей, изготовленных на предварительно настроенных станках, сделать такой прогноз, т. е. оценить вероятность получения годных и бракованных деталей уже при массовом производстве деталей по той же технологии.

#### 13.1.1. Методика построения эмпирической кривой распределения

Анализ точности методом кривых распределения начинается с построения эмпирической кривой распределения. Пусть на предварительно настроенном станке по методу автоматического получения размеров изготовлена партия из  $n$  деталей с размерами  $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n$ . Из-за случайных погрешностей размеры деталей в этой партии являются случайными величинами. Эмпирическая кривая распределения отражает закон распределения размеров деталей в пределах поля их рассеяния. Рассмотрим методику построения этой кривой.

1. Производится измерение деталей. Для этого используется прибор с ценой деления шкалы  $\Pi_d$ . Ценой деления называется разность значений измеряемой величины между двумя соседними отметками шкалы. Рекомендуется выбирать цену деления, а следовательно, и прибор для измерения, в зависимости от размера партии  $n$  и допуска на размер  $T$  по следующему правилу:

$$n = 50 \Rightarrow \Pi_d \leq \frac{T}{13}; \quad n = 100 \Rightarrow \Pi_d \leq \frac{T}{15}; \quad n = 200 \Rightarrow \Pi_d \leq \frac{T}{17}.$$

2. Из совокупности размеров  $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n$  определяются наибольший  $x_{\max}$  и наименьший  $x_{\min}$  размеры, а также их разность, которая называется размахом выборки

$$R = x_{\max} - x_{\min}.$$

3. Размах выборки разбивают на равные интервалы. Величину интервала определяют по формуле

$$x = \frac{R}{1 + 3,322 \lg n}.$$

Полученное значение округляют до величины, кратной  $\Pi_d$  по правилу

$$\Delta x = \Pi_d (1 + g), \quad g = 1, 2, 3, \dots$$

Таким образом,  $\Delta x$  должен превышать цену деления по крайней мере в два раза.

4. За начало первого интервала принимают величину

$$x_{1н} = x_{\min} - \Delta x / 2.$$

Полученное значение округляют до величины, удобной для расчетов. Конец первого интервала определяется сложением этого значения с величиной интервала:

$$x_{1к} = x_{1н} + \Delta x.$$

Очевидно, что конец первого интервала совпадает с началом второго интервала  $x_{1к} = x_{2н}$ . Конец второго интервала определяется как

$$x_{2к} = x_{2н} + \Delta x.$$

Таким образом, конец каждого интервала определяется сложением начала интервала с величиной интервала  $\Delta x$ , а начало следующего интервала совпадает с концом предыдущего интервала

$$x_{jk} = x_{jн} + \Delta x; \quad x_{(j+1)н} = x_{jk}.$$

Количество интервалов определяется неравенством  $x_{pк} \geq x_{\max}$ , где  $p$  — номер последнего интервала. Таким образом, первый интервал содержит значение  $x_{\min}$ . Последний — значение  $x_{\max}$ .

5. Определяют количество деталей, размеры которых попадают в тот или иной интервал  $[x_{jk}; x_{jн}]$ . Это количество обозначают  $f_j$  и называют *частотой*. Отношение  $k_j = f_j / n$  называется *частотью*.

6. Полученные результаты оформляют в виде таблицы распределения размеров (табл. 13.1). В качестве примера заполнения та-

блицы примем: количество деталей в партии  $n = 120$ , количество интервалов  $p = 10$  Количество частот по интервалам:

$$f_1 = 2; f_2 = 1; f_3 = 5; f_4 = 20; f_5 = 18;$$

$$f_6 = 28; f_7 = 27; f_8 = 13; f_9 = 4; f_{10} = 2.$$

Из таблицы следует, что

$$\sum_{j=1}^p f_j = 120; \quad \sum_{j=1}^p k_j = 1.$$

Очевидно, что  $k_j$  можно рассматривать как величину, близкую к вероятности попадания размера детали из партии в тот или иной интервал.

Таблица 13.1

### Распределение размеров по интервалам

№ интервала	Границы интервала, мм		Регистрация частот	Частота, $f_i$	Частость, $k_j$
	$x_{jн}$	$x_{jk}$			
1	$x_{1н}$	$x_{1к}$	xx	2	0,0166
2	$x_{2н}$	$x_{2к}$	x	1	0,0083
3	$x_{3н}$	$x_{3к}$	xxxxx	5	0,0416
4	$x_{4н}$	$x_{4к}$	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	20	0,1666
5	$x_{5н}$	$x_{5к}$	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	18	0,1500
6	$x_{6н}$	$x_{6к}$	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	28	0,2333
7	$x_{7н}$	$x_{7к}$	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	27	0,2250
8	$x_{8н}$	$x_{8к}$	xxxxxxxxxxxxxx	13	0,1083
9	$x_{9н}$	$x_{9к}$	xxxx	4	0,0333
10	$x_{10н}$	$x_{10к}$	xx	2	0,0166
Итого				120	0,9996

#### 13.1.2. Статистические параметры эмпирической кривой распределения

По данным таблицы (табл. 13.1) строят ступенчатый график, состоящий из прямоугольников шириной  $\Delta x$ , высотой  $f_j$  или  $k$ . Этот график называется *гистограммой* распределения. Если соединить середину верхней стороны каждого прямоугольника отрезками прямых линий,

то получим ломаную линию, которая называется *эмпирической кривой распределения*, или *полигоном* (рис. 13.1).

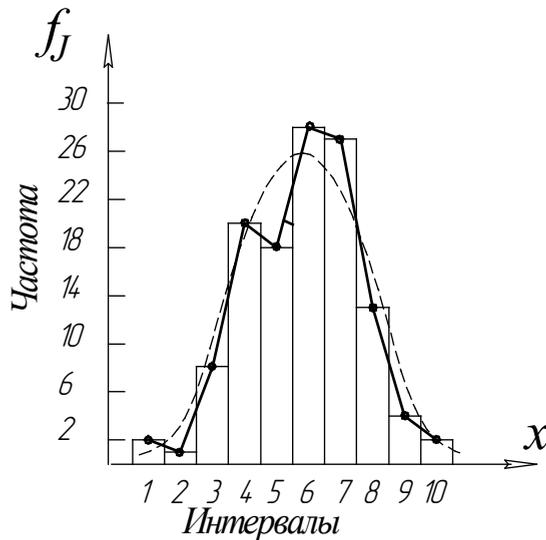


Рис. 13.1. Гистограмма и эмпирическая кривая распределения размеров

Графическая интерпретация полученных результатов позволяет сделать вывод, что размеры деталей группируются около некоторой центральной величины (центра группирования), причем чем больше отличие между этой величиной и выделенным интервалом, тем меньше частота регистрации размеров в данном интервале. Эта центральная величина называется *средним арифметическим значением* случайных величин и определяется по следующим формулам:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^p x_j f_j; \quad x_j = (x_{jn} + x_{jk}) / 2,$$

где,  $x_{jn}$ ;  $x_{jk}$  — начальное и конечное значение случайной величины в интервале под номером  $j$ ;  $x_j$  — значение случайной величины в середине этого интервала,  $p$  — количество интервалов.

Другой характеристикой кривой распределения случайных величин является среднее квадратическое отклонение этих величин от среднего арифметического значения, которое определяется по формулам:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^p (x_j - \bar{X})^2 f_j}.$$

Среднее квадратическое отклонение является мерой рассеивания случайных величин. Среднее арифметическое значение и среднее квадратическое отклонение называются статистическими параметрами эмпирической кривой распределения.

### 13.1.3. Теоретическая кривая распределения

Если постепенно увеличивать размер партии, то эмпирическая кривая распределения будет приближаться по форме к холмообразной кривой, представленной штриховой линией на рис. 13.1, а частота  $f_j$  и частность  $k_j$  на каждом интервале будут стремиться к некоторым значениям  $\bar{f}_j$  и  $\bar{k}_j$  на данном интервале, которые называются теоретической частотой и теоретической частостью. Очевидно, что в пределе при  $n = \infty$   $f_j = \bar{f}_j$ ,  $f_j = \bar{f}_j$ ,  $k_j = \bar{k}_j$  и дискретная случайная величина  $x_j$  становится непрерывной случайной величиной  $x$ . График зависимости  $\bar{f}_j$  или  $\bar{k}_j$  от  $x$  называется *теоретической кривой распределения*.

### 13.1.4. Закон нормального распределения

В математической статистике доказано и подтверждено многочисленными экспериментами, что для многих случайных процессов теоретическая частость подчиняется закону нормального распределения и определяется следующим выражением:

$$\bar{k}_j = \int_{x_{jн}}^{x_{jk}} y(x, \bar{X}, \sigma) dx. \quad (13.1)$$

В нем функция

$$y(x, \bar{X}, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}}$$

называется *плотностью вероятности* непрерывной случайной величины или дифференциальной функцией нормального распределения. График этой функции в виде холмообразной кривой приведен на рис. 13.2. Этот график называется дифференциальной кривой нормального распределения, или просто кривой нормального распределения.

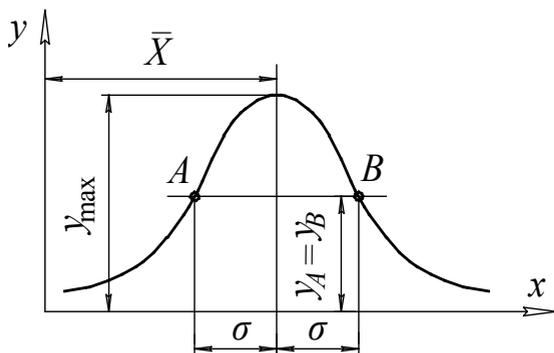


Рис. 13.2. Кривая нормального распределения

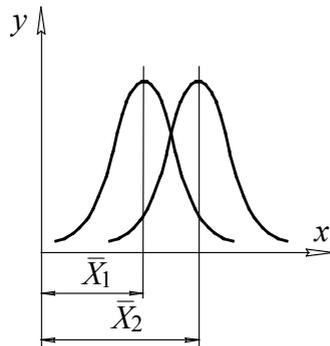


Рис. 13.3. Смещение кривой нормального распределения при изменении  $\bar{X}$

Запись  $y(x, \bar{X}, \sigma)$  означает, что плотность вероятности является функцией от непрерывной случайной величины  $x$  и двух параметров распределения:  $\bar{X}$  — среднего арифметического значения и  $\sigma$  — среднего квадратического отклонения. Плотность вероятности следует рассматривать как вероятность появления случайной величины  $x$  на бесконечно малом отрезке в области ее определения, т. е. в точке. Там, где  $x = \bar{X}$ , вероятность появления случайной величины максимальная. С увеличением разности  $x - \bar{X}$  эта вероятность уменьшается.

Чтобы определить саму вероятность появления случайной величины  $x$  в некотором интервале,  $x_1 \leq x \leq x_2$ , необходимо вычислить интеграл от плотности вероятности

$$P(x) = \int_{x_1}^{x_2} y(x, \bar{X}, \sigma) dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} dx; \quad x_2 > x_1. \quad (13.2)$$

Это выражение называется интегральной функцией нормального распределения, или *интегралом вероятности*. В геометрическом смысле этот интеграл представляет собой площадь под кривой нормального распределения в пределах заданного интервала. Для достаточно узкого интервала, согласно теореме о среднем,

$$P(x) = y(x_{cp}, \bar{X}, \sigma)(x_2 - x_1); \quad x_{cp} = (x_2 + x_1) / 2.$$

Плотность вероятности имеет следующие свойства:

1. Ось  $x$  является асимптотой для ветвей ее графика.
2. При  $x = \bar{X}$  плотность вероятности имеет максимальное значение

$$y_{\max} = y(\bar{X}, \bar{X}, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} = \frac{0,4}{\sigma}.$$

3. График функции имеет две точки перегиба *A* и *B*, которые находятся на расстоянии  $\sigma$  от оси симметрии (рис. 13.2). Ординаты их соответственно равны

$$y_A = y_B = \frac{y_{\max}}{\sqrt{e}} = 0,6y_{\max}.$$

4. Если случайная величина может принимать любые численные значения в интервале  $-\infty \leq x \leq +\infty$ , то независимо от  $\bar{X}$  и  $\sigma$

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} dx = 1.$$

Это свойство вытекает из положения, что вероятность появления случайной величины на бесконечно большом интервале равна единице.

5. Положение кривой относительно начала координат и ее форма определяются двумя параметрами —  $\bar{X}$  и  $\sigma$ . С изменением  $\bar{X}$  при постоянном значении  $\sigma$  форма кривой остается прежней. Изменяется ее положение относительно начала координат (рис. 13.3). С изменением  $\sigma$  центр кривой остается на прежнем месте. Изменяется ее форма (рис. 13.4).

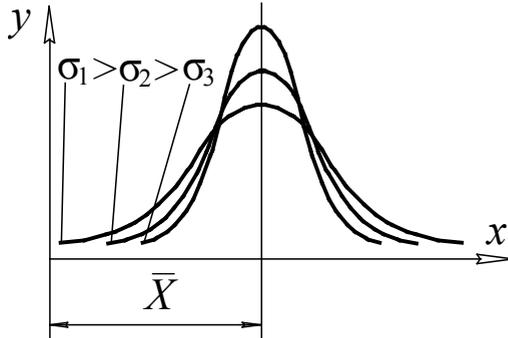


Рис. 13.4. Влияние величины  $\sigma$  на форму кривой нормального распределения

С увеличением  $\sigma$  кривая растягивается и уменьшается по высоте (рис. 13.4). Таким образом, как это уже было отмечено ранее,  $\sigma$  является мерой рассеяния случайной величины.

### 13.1.4. Нормирование распределения

Введем новую переменную  $z = (x - \bar{X}) / \sigma$ . После замены переменной в (13.1) для плотности вероятности получим

$$y(z, 0, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}.$$

Соответственно, для интеграла вероятности (13.2) будем иметь

$$P(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_1}^{z_2} e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (13.3)$$

где  $z_1 = (x_1 - \bar{X})/\sigma$  и  $z_2 = (x_2 - \bar{X})/\sigma$  — новые пределы интегрирования.

Это действие называется *нормированием* распределения случайных величин.

Сущность операции нормирования заключается в приведении множества кривых распределения к одной, зависящей только от нормированной переменной.

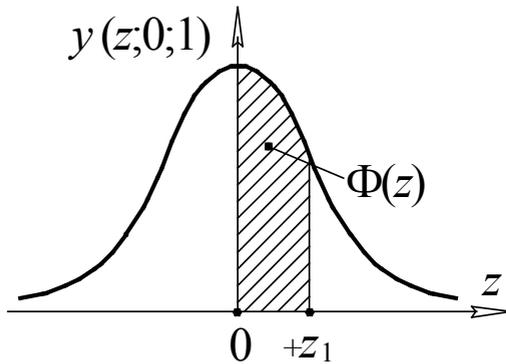


Рис. 13.5. Кривая нормированного нормального распределения и функция Лапласа

множества кривых распределения к одной, зависящей только от нормированной переменной. Для этой кривой среднее арифметическое значение равно нулю, а среднее квадратическое отклонение равно единице. Графическая интерпретация процедуры нормирования заключается в совмещении центра группирования с началом новой системы координат  $(z, y)$  (рис. 13.5).

В этом случае кривая нормированного нормального распределения становится симметричной относительно оси ординат, а функция  $y(z, 0, 1)$  называется плотностью нормированного распределения.

В этом случае кривая нормированного нормального распределения становится симметричной относительно оси ординат, а функция  $y(z, 0, 1)$  называется плотностью нормированного распределения.

### 13.1.5. Функция Лапласа

Применение функции Лапласа позволяет вычислить теоретические частоты и частоту. Примем в формуле (13.3)  $z_1 = -z$ ,  $z_2 = +z$ . Тогда

$$P(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_1}^{z_2} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-z}^{+z} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz.$$

Интеграл

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

называется *функцией Лапласа*. Геометрически функцией Лапласа определяется площадь фигуры под кривой нормированного нормального

распределения в промежутке от 0 до  $z$ . Интеграл в  $\Phi(z)$  нельзя выразить в элементарных функциях. Его значение задано в специальных таблицах.

Выразим теоретическую частоту через функции Лапласа. Выполним операцию нормирования. В результате замены переменной в формуле (13.1) будем иметь

$$\bar{k}_j = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_{jn}}^{z_{jk}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz.$$

Пусть  $z_{jn} < z_{jk}$ . Тогда, выражая  $k_j$  через функции Лапласа, получим:

$$\bar{k}_j = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{z_{jk}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{z_{jn}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = \Phi(z_{jk}) - \Phi(z_{jn}),$$

где  $z_{jn} = (x_{jn} - \bar{X}) / \sigma$ ,  $z_{jk} = (x_{jk} - \bar{X}) / \sigma$  — новые пределы интегрирования.

### 13.1.6. Критерии для оценки точности механической обработки

Данная оценка производится путем сопоставления величины и расположения поля допуска размера  $T$  с величиной и расположением поля рассеяния размеров  $\omega_x$  для теоретической кривой нормального распределения. Однако допуск размера является конечной величиной. Поле рассеяния размера для теоретической кривой нормального распределения — величина бесконечно большая, т. к. кривая уходит своими ветвями в бесконечность. Сравнивать такие величины нельзя. В то же время исследованиями установлено, что если случайная величина подчиняется нормальному закону распределения, то вероятность появления ее в интервале  $\bar{X} - \sigma \leq x \leq \bar{X} + \sigma$  составляет около 68%. Для интервала  $\bar{X} - 2\sigma \leq x \leq \bar{X} + 2\sigma$  эта вероятность достигает примерно 95%, а для интервала  $\bar{X} - 3\sigma \leq x \leq \bar{X} + 3\sigma$  — 99,73%. Таким образом, вероятность появления случайной величины вне последнего интервала составляет менее 0,3%. Поэтому при механической обработке принимают

$$\omega_x = \omega_x^B - \omega_x^H; \omega_x^H = \bar{X} - 3\sigma; \omega_x^B = \bar{X} + 3\sigma, \quad (13.4)$$

где  $\omega_x^H$ ;  $\omega_x^B$  — нижнее и верхнее граничные значения поля рассеяния.

Такой выбор  $\omega_x$  называется правилом «шести сигм». В этом случае ширина кривой нормального распределения равна  $6\sigma$ .

Графическая иллюстрация оценки точности при механической обработке представлена на рис. 13.6, *а*. Из рисунка следует, что при отсутствии брака поле рассеяния размеров находится в пределах поля допуска. В этом случае выполняются следующие условия:

1. Поле рассеяния размера меньше допуска или равно ему, т. е.

$$\omega_x \leq T. \quad (13.5)$$

Если это условие не выполняется, то обе ветви кривой распределения выходят за пределы поля допуска (рис. 13.6, *б*).

2. Нижнее граничное значение поля рассеяния больше наименьшего предельного размера или равно ему, т. е.

$$\omega_x^H \geq x_{\text{наим}}, \quad (13.6)$$

где  $x_{\text{наим}}$  — наименьший предельный размер отверстия (вала).

Если это условие не выполняется, то левая ветвь кривой распределения выходит за пределы поля допуска.

3. Верхнее граничное значение поля рассеяния меньше наибольшего предельного размера или равно ему, т. е.

$$\omega_x^B \leq x_{\text{наиб}}, \quad (13.7)$$

где  $x_{\text{наиб}}$  — наибольший предельный размер отверстия (вала). Если это условие не выполняется, то правая ветвь кривой распределения выходит за пределы поля допуска.

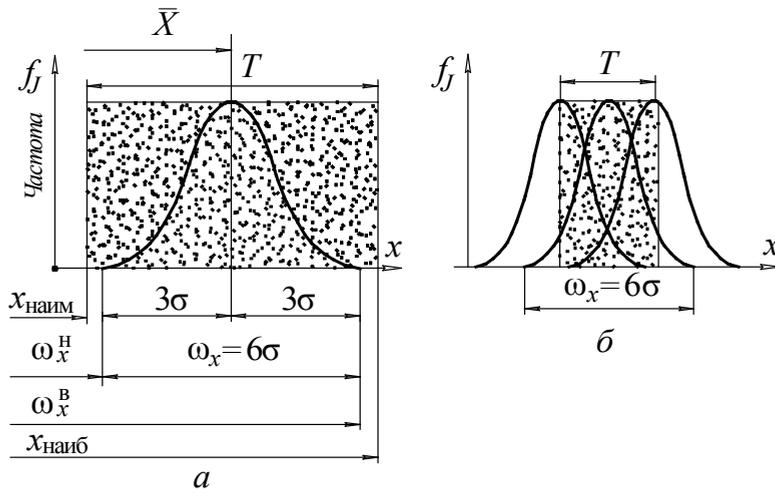


Рис. 13.6. К определению критериев при оценке точности механической обработки

Неравенство (13.5) называют *необходимым условием*. Неравенства (13.6) и (13.7) — *достаточными условиями*. Данные условия являются критериями, по которым выполняется оценка точности механической обработки. Если эти условия выполняются, то можно считать, что вероятность получения бракованной продукции отсутствует.

### 13.1.7. Оценка вероятности получения годных и бракованных деталей

При невыполнении вышеуказанных условий следует количественно оценить вероятность получения годных и бракованных деталей. Эта оценка выполняется с помощью функции Лапласа. Величина этой функции вычислена для различных значений нормированной переменной, начиная от нуля, и представлена в специальных таблицах. Однако, как правило, расчет вероятности необходимо производить, когда границы интервала  $z_1 \leq z \leq z_2$  с нулем не совпадают. Здесь необходимо выделить три случая.

Первый случай, когда значения  $z$  на границах интервала положительны. Второй, когда одно значение  $z$  на границах интервала положительно, а другое отрицательно. Третий, когда оба значения  $z$  на границах интервала отрицательны. На рис. 13.7 для кривой нормированного нормального распределения каждый случай представлен в виде заштрихованных полей, площадь которых определяется через функции Лапласа.

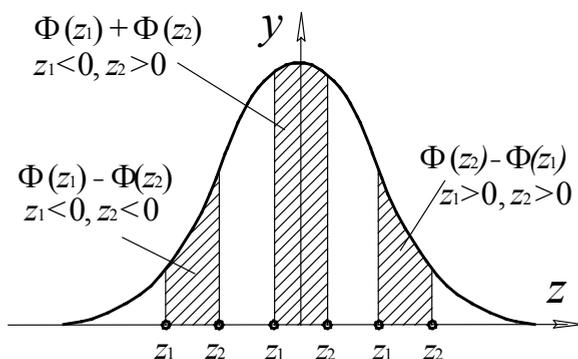


Рис. 13.7. К вычислению интеграла вероятности с использованием функции Лапласа

Как следует из рисунка, в первом случае, чтобы определить заштрихованную площадь, необходимо от значения функции  $\Phi(z_2)$  отнять

значение функции  $\Phi(z_1)$ . Во втором случае эти значения следует сложить. В третьем случае необходимо от значения функции  $\Phi(z_1)$  отнять значение функции  $\Phi(z_2)$ . Чтобы действовать по общему правилу, предлагается следующая формула:

$$P(z_1 \leq z \leq z_2) = \Phi(z_2) - \Phi(z_1). \quad (13.8)$$

В этой формуле принимается, что при отрицательном значении  $z$  функция Лапласа тоже имеет отрицательное значение, т. е.

$$\Phi(-z) = -\Phi(z).$$

Вероятность получения годных деталей в процентах, размеры которых находятся в пределах поля допуска, определяется с использованием формулы (13.8)

$$P_T = \Phi(z_2) - \Phi(z_1) \cdot 100, \quad (13.9)$$

в которой  $z_1 = (x_1 - \bar{X}) / \sigma$ ;  $z_2 = (x_2 - \bar{X}) / \sigma$ .

При вычислении  $z_1$  и  $z_2$  для границ поля допуска следует принять  $x_1 = x_{\text{наим}}$ ;  $x_2 = x_{\text{наиб}}$ . При вычислении  $z_1$  и  $z_2$  для границ поля рассеяния принимается  $x_1 = \omega_x^H$ ;  $x_2 = \omega_x^B$ . В этом случае, с учетом выражений (13.4),

$$z_1 = -3; z_2 = +3; \Phi(\pm 3) \approx \pm 0,5.$$

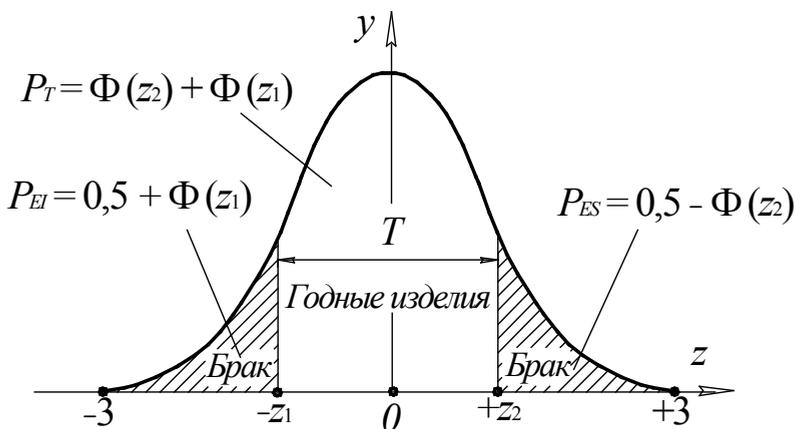


Рис. 13.8. Иллюстрация расчета вероятности получения годных и бракованных деталей

Тогда вероятности получения бракованных деталей в процентах, размеры которых выходят за нижнюю и верхнюю границы поля допуска, определяются по следующим формулам

$$P_{EI} = (0,5 + \Phi(z_1)) \cdot 100; P_{ES} = (0,5 - \Phi(z_2)) \cdot 100. \quad (13.10)$$

Формулы (13.9) и (13.10) являются универсальными при любых значениях  $z$ , как положительных, так и отрицательных. Графическая иллюстрация расчета вероятности получения годных и бракованных изделий на нормированной кривой распределения с использованием функции Лапласа при  $z = -z_1$  и  $z = +z_2$  представлена на рис. 13.8.

### 13.2. Анализ точности методом точечных диаграмм

Анализ точности механической обработки методом кривых распределения позволяет по результатам измерений малого количества деталей, изготовленных на предварительно настроенных станках, прогнозировать вероятность получения годных и бракованных деталей при массовом производстве. Вместе с тем точность этого прогноза существенно зависит от условий массового производства, которые при выпуске продукции в больших объемах могут измениться. Другим может стать характер случайных погрешностей, которые возникают из-за колебания припусков и механических свойств материала. Существенное влияние на точность могут оказать систематические погрешности, такие как износ инструмента, температурные деформации системы ДИПС, а также изменения настройки этой системы, например при смене инструмента. В результате закон распределения размеров может отличаться от нормального, на основе которого был выполнен анализ точности методом кривых распределения. Так, кривая распределения может иметь две вершины из-за смены инструмента в процессе обработки (рис. 13.9).

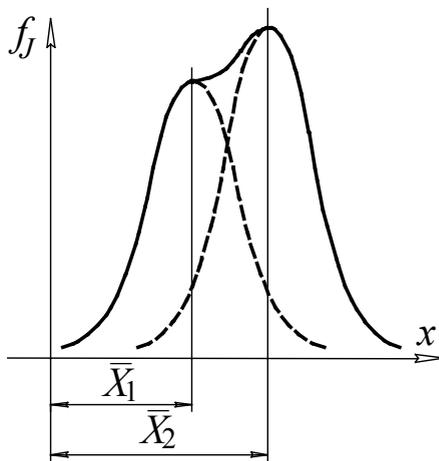


Рис. 13.9. Кривая распределения с двумя вершинами

В этой связи необходим контроль точности изделий в течение всего производственного процесса.

Для контроля точности в процессе изготовления партии деталей за большой промежуток времени применяют метод точечных диаграмм. Суть этого метода заключается в следующем. В процессе обработки деталей через одинаковые промежутки времени ведут отбор деталей небольшими партиями в пределах 5–7 штук. Эту партию деталей называют выборкой. Детали измеряют. Определяют среднее арифметическое значение выборки  $\bar{x}_j$ , которую называют выборочной средней, а также размах выборки  $R_j$  по формулам:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i; R_j = x_{\max} - x_{\min}, \quad (13.11)$$

где  $j$  — номер выборки;  $m$  — объем выборки,  $x_i$  — размер одной детали в выборке,  $x_{\max}$  и  $x_{\min}$  — максимальный и минимальный размеры деталей в выборке.

Выборочной средней определяется расположение центра группирования размеров относительно границ поля допуска, что достигается **настройкой** станка на заданный размер. Размах характеризует рассеяние размеров в выборке. Необходимость контроля точности по размаху выборки обусловлена тем, что при соответствии выборочной средней полю допуска отдельные значения размеров могут выходить за пределы допуска. По результатам расчета строят два графика, которые называются точечными диаграммами (рис. 13.10).

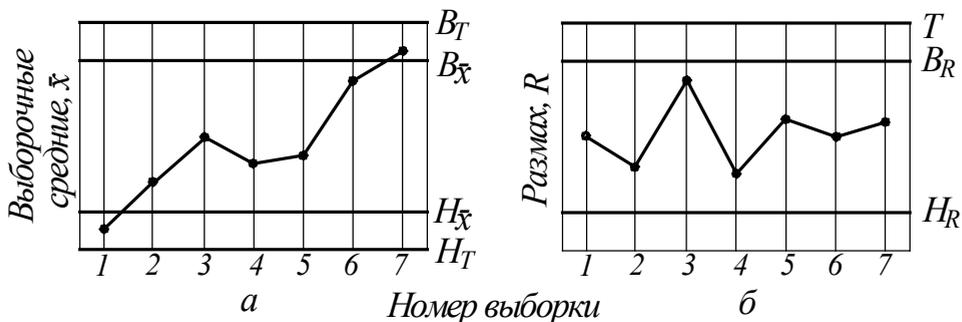


Рис. 13.10. Точечные диаграммы

На первой диаграмме по оси ординат каждый раз после взятия выборки откладывают значения  $\bar{x}_j$ , а на второй значения  $R_j$ . По оси абсцисс на обеих диаграммах указывают время отбора деталей или но-

мера выборок. Таким образом, получают последовательность точек, соединение которых прямыми линиями дает точечные диаграммы. Следовательно, на протяжении всего процесса изготовления партии деталей ведут наблюдение за точностью их изготовления.

На диаграммах предварительно проводят контрольные линии допустимых колебаний выборочных средних и размахов. На точечной диаграмме выборочных средних наносят следующие линии.

Линии верхнего и нижнего технических пределов с ординатами  $B_T$  и  $H_T$ , которые соответствуют наибольшему и наименьшему предельным размерам детали по чертежу. Очевидно, что  $T = B_T - H_T$ .

Верхнюю и нижнюю контрольные линии с ординатами  $B_{\bar{x}}$  и  $H_{\bar{x}}$ , которые соответствуют допускаемым значениям выборочных средних. Эти ординаты определяют по формулам

$$B_{\bar{x}} = x_{\text{cp}} + \frac{T}{2\sqrt{m}}; \quad H_{\bar{x}} = x_{\text{cp}} - \frac{T}{2\sqrt{m}},$$

где  $x_{\text{cp}} = (B_T - H_T) / 2$  — значение размера в середине поля допуска.

На диаграмме размахов наносят три линии. Одну с ординатой допуска  $T$ . Две других — верхнюю и нижнюю контрольные линии — с ординатами  $B_R$  и  $H_R$ , которые определяются по формулам  $B_R = V_1 \cdot T$ ;  $H_R = V_2 \cdot T$ , где  $V_1$  и  $V_2$  — коэффициенты, определяемые в зависимости от размера выборки.

Значения этих коэффициентов приведены в табл. 13.2.

Таблица 13.2

Значения коэффициентов  $V_1$  и  $V_2$ 

$m$	4	5	6	7	8	9	10
$V_1$	0,783	0,820	0,846	0,867	0,885	0,899	0,912
$V_2$	0	0	0	0,034	0,065	0,091	0,115

Выход точек за контрольные линии свидетельствует о том, что необходимо произвести подналадку станка, смену инструмента, изменение режимов резания, повышение точности размеров заготовки.

Рассмотрим точечные диаграммы, представленные на рис. 13.10. Допустим, что эти диаграммы построены по результатам токарной обработки наружной поверхности деталей. На диаграмме выборочных сред-

них точка для выборки под номером 1 вышла за нижнюю контрольную линию. Это свидетельствует, что настройка станка была произведена по наименьшему предельному размеру. При этом часть деталей оказалась бракованной. По диаграмме видно, что из-за влияния систематической погрешности, по всей вероятности из-за износа резца, имеется тенденция к увеличению выборочной средней. Выход последней точки за верхнюю контрольную линию является сигналом для подналадки системы ДИПС. Анализ диаграммы размахов показывает, что в третьей выборке имеет место значительное увеличение размаха. Возможно, это связано с локальным разрушением режущей кромки резца. В результате чего диаметр детали резко увеличился. Поэтому необходимо было прервать производственный процесс, установить причину неполадки и устранить ее.

# 14. Припуски НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

---

## 14.1. Общие термины и определения

---

*Припуск*, по ГОСТ 3.1109–82 — это слой материала, удаляемый с поверхности заготовки для получения заданных размеров изделия.

*Напуск* — объем материала, удаление которого приводит к изменению формы изделия с образованием новых у него поверхностей. Например, объем металла, который удаляется при сверлении отверстий в сплошном материале, является напуском.

Величина припуска на механическую обработку должна быть оптимальной. Большие припуски приводят к повышенному расходу материала, увеличению трудозатрат, энергоресурсов и материальных средств. Это увеличивает себестоимость изделия. При малых припусках с поверхности заготовки полностью не удаляется дефектный слой материала, усложняется выверка заготовки при установке ее на станке, повышаются требования к точности размеров заготовки.

*Общий припуск* называется слой материала, который удаляется с поверхности исходной заготовки для получения заданных размеров готового изделия. Общий припуск определяется по формуле (рис. 14.1):

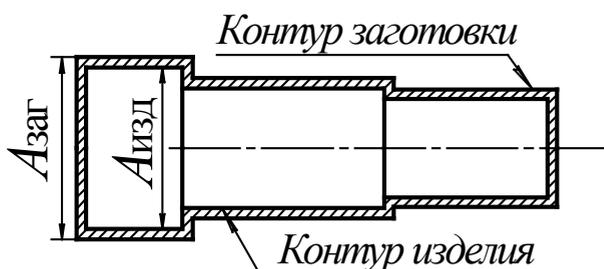


Рис. 14.1. К определению общего припуска

$$Z_o = |A_{\text{заг}} - A_{\text{изд}}|, \quad (14.1)$$

где  $Z_o$  — общий припуск,  $A_{\text{заг}}$  — размер заготовки,  $A_{\text{изд}}$  — размер готового изделия.

Для поверхностей вращения следует различать припуск на диаметр и припуск на сторону. Для этих поверхностей формулой (14.1) определяется припуск на диаметр. Соответственно, припуск на сторону в два раза меньше. Чтобы использовать эту формулу как для наружных, так и для внутренних поверхностей вращения, берется разность размеров по абсолютной величине.

Припуски на обработку могут быть симметричными, асимметричными и односторонними. Симметричные припуски имеют место при обработке наружных и внутренних цилиндрических и конических поверхностей, а также если противоположные, например плоские, поверхности имеют одинаковые припуски. Асимметричный припуск будет в том случае, если противоположные поверхности имеют неодинаковые припуски. Если противоположная поверхность не обрабатывается, то припуск на обрабатываемую поверхность называется односторонним.

*Операционным припуском* называется слой материала, удаляемый с поверхности заготовки при выполнении одной технологической операции.

Операционный припуск определяется по формуле

$$Z_i = |A_{\text{заг}i} - A_{\text{дет}i}|,$$

где  $A_{\text{заг}i}$  — размер заготовки на операции под номером  $i$ ,  $A_{\text{дет}i}$  — размер детали на той же операции.

Если изделие обрабатывается за  $n$  операций, то

$$Z_o = \sum_{i=1}^n Z_i.$$

*Промежуточным припуском* называется слой материала, удаляемый с поверхности заготовки при выполнении одного технологического перехода. Промежуточный припуск определяется по формуле

$$Z_{ij} = |A_{\text{заг}ij} - A_{\text{дет}ij}|,$$

где  $Z_{ij}$  — припуск,  $A_{\text{заг}ij}$  и  $A_{\text{дет}ij}$  — размеры заготовки и детали на  $j$ -м переходе  $i$ -й операции. Если изделие на  $i$ -й операции обрабатывается за  $m$  переходов, то

$$Z_i = \sum_{j=1}^m Z_{ij}.$$

Припуск, как и всякую другую величину, нельзя выдержать абсолютно точно. Поэтому припуски могут изменяться в определенных пределах, т. е. имеют максимальную и минимальную величину, разностью которых определяется допуск на припуск. Определим допуск на припуск.

Максимальный операционный припуск для вала, поверхность которого не является поверхностью вращения, определяется как разность между наибольшим предельным размером до обработки  $A_{i-1}^{\max}$  и наименьшим предельным размером после обработки  $A_i^{\min}$  (рис. 14.2):

$$Z_i^{\max} = A_{i-1}^{\max} - A_i^{\min}.$$

Минимальный операционный припуск для вала определяется как разность между наименьшим предельным размером до обработки  $A_{i-1}^{\min}$  и наибольшим предельным размером после обработки  $A_i^{\max}$

$$Z_i^{\min} = A_{i-1}^{\min} - A_i^{\max}.$$

Тогда допуск на припуск  $i$ -й операции будет равен

$$TZ_i = Z_i^{\max} - Z_i^{\min} = (A_{i-1}^{\max} - A_i^{\min}) - (A_{i-1}^{\min} - A_i^{\max}),$$

но  $TA_{i-1} = A_{i-1}^{\max} - A_{i-1}^{\min}$ ;  $TA_i = A_i^{\max} - A_i^{\min}$ ,

где  $TA_{i-1}$  — допуск размера до обработки,  $TA_i$  — допуск размера после обработки. Тогда

$$TZ_i = TA_{i-1} + TA_i.$$

Таким образом, допуск на операционный припуск, на некоторой операции равен сумме допусков размеров изделия до обработки и после нее.

*Номинальным операционным припуском* называется припуск, равный сумме минимального припуска на текущей операции и допуска размера заготовки на предыдущей операции (рис. 14.2):

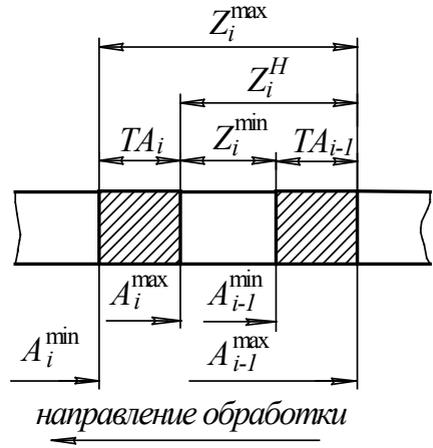


Рис. 14.2. К определению допуска на припуск

$$Z_i^H = Z_i^{\min} + TA_{i-1}. \quad (14.2)$$

При определении припусков на механическую обработку возможны два случая: первый связан с обработкой вала, второй — с обработкой отверстия. При обработке вала его размер уменьшается от операции к операции. При обработке отверстия его операционные размеры увеличиваются. Схемы расположения операционных припусков при обработке вала и отверстия представлены на рис. 14.3. В данном случае поверхности «вал» и «отверстие» являются поверхностями вращения. На обеих схемах допуски на операционные размеры отложены «в металл», т. е. для вала в «минус», а для отверстия в «плюс». Для той и другой схемы можно вести расчет симметричных, асимметричных и односторонних припусков.

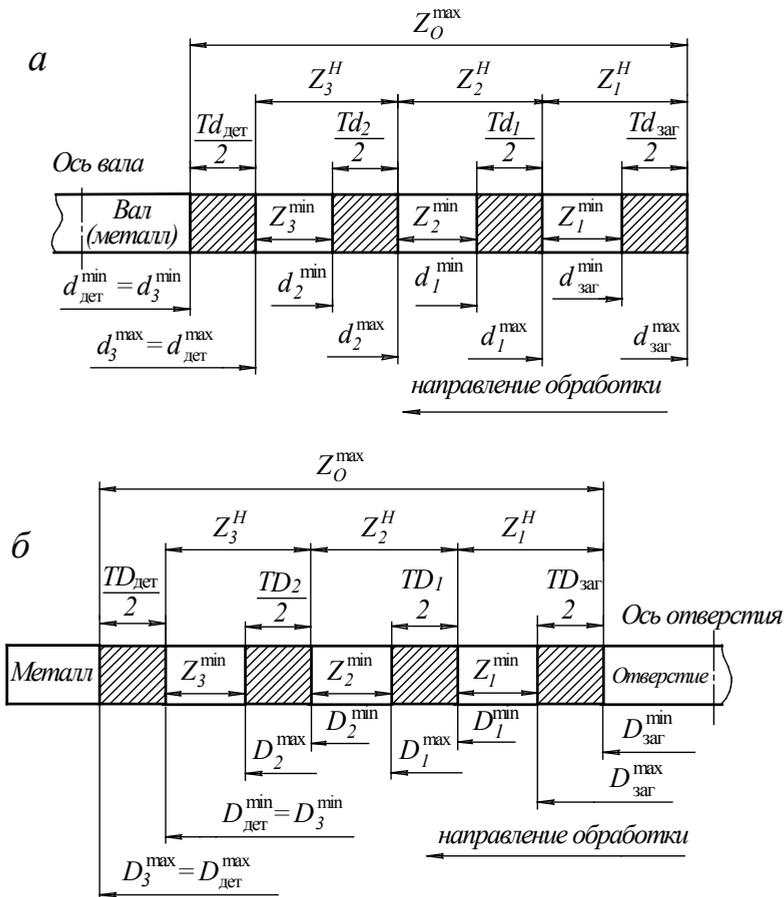


Рис. 14.3. Схема расположения припусков при механической обработке  
а — вала; б — отверстия

## 14.2. Расчет припусков

Величина припуска на механическую обработку зависит от ряда факторов, среди которых: материал заготовки, ее конфигурации и размеры, способ получения заготовки, требования к свойствам материала изделия после механической обработки, точность размеров и шероховатость поверхности. Расчет припусков производится двумя методами

Опытно-статистический метод основан на определении общего припуска по стандартам и таблицам, которые составлены на основе обобщения и систематизации производственного опыта. Припуски на механическую обработку поковок, изготовленных различными методами, и отливок из различных металлов и сплавов приведены соответственно в ГОСТ 7505–89 и ГОСТ 26645–85. В этих стандартах припуски заданы в зависимости от параметров заготовок: массы, материала, точности, конструкции и т.д. Недостаток этого метода заключается в том, что припуски назначаются независимо от вида технологического процесса. Они, как правило, завышены, т.к. с целью исключения брака назначаются с учетом наиболее неблагоприятных условий обработки. Это приводит к увеличению расхода материала и повышению себестоимости обработки. Распределение общего припуска по операциям и переходам производится на основе опыта по таблицам в зависимости от методов и этапов обработки, геометрии, размеров и конструкции деталей.

Расчетно-аналитический метод основан на определении расчетным путем минимального припуска. Величина этого припуска должна быть такой, чтобы на данной операции были удалены погрешности текущей и предшествующей обработки. Величина этих погрешностей определяется по справочникам. Расчеты производятся по следующим формулам:

Припуск на диаметр для поверхностей вращения

$$2 \cdot Z_i^{\min} = 2 \cdot \left( R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right). \quad (14.3)$$

Симметричный припуск для плоских поверхностей

$$2 \cdot Z_i^{\min} = 2 \cdot \left( R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta_{i-1} + \varepsilon_i \right). \quad (14.4)$$

Асимметричный припуск на каждую сторону и односторонний припуск для плоских поверхностей

$$Z_i^{\min} = R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta_{i-1} + \varepsilon_i. \quad (14.5)$$

В этих формулах:  $R_{z_{i-1}}$  — высота микронеровностей после предыдущей обработки;  $h_{i-1}$  — толщина дефектного слоя материала, возникшего в результате предыдущей обработки;  $\Delta_{i-1}$  — толщина слоя металла, который необходимо удалить для компенсации отклонений формы и расположения поверхностей, оставшихся от предыдущей обработки;  $\varepsilon_i$  — погрешности установки, т. е. базирования и закрепления на данной операции.

В приведенных формулах  $\Delta_{i-1}$  и  $\varepsilon_i$  — векторные величины. Для поверхностей вращения их направление точно определить нельзя. Поэтому приближенно принимают, что эти векторы перпендикулярны, и складывают их в формуле (14.3) по правилу квадратного корня.

К отклонениям расположения поверхностей следует отнести отклонения от соосности, параллельности, перпендикулярности, пересечения осей, а к отклонениям формы — отклонения от плоскостности и прямолинейности. Другие погрешности формы, например, отклонения от цилиндричности, круглости, при этом не учитываются, т. к. предполагается, что эти отклонения не превышают допуск на размер обрабатываемой поверхности.

Расчет припусков ведут от размеров готовой детали к размерам исходной заготовки. Исходным параметром для расчета является максимальный размер вала или минимальный размер отверстия. Минимальный припуск определяется по формулам (14.3)–(14.5). Межоперационные размеры определяют по следующим формулам (рис. 14.4):

- для наружных поверхностей с симметричным припуском:

$$d_{i-1}^{\min} = d_i^{\max} + 2 \cdot Z_i^{\min}; \quad d_{i-1}^{\max} = d_{i-1}^{\min} + Td_{i-1};$$

- аналогичным образом для внутренних поверхностей:

$$D_{i-1}^{\max} = D_i^{\min} - 2 \cdot Z_i^{\min}; \quad D_{i-1}^{\min} = D_{i-1}^{\max} - TD_{i-1};$$

- для асимметричного припуска на каждую сторону и одностороннего припуска для наружных и внутренних поверхностей имеем:

$$A_{i-1}^{\min} = A_i^{\max} + Z_i^{\min}; \quad A_{i-1}^{\max} = A_{i-1}^{\min} + TA_{i-1};$$

$$A_{i-1}^{\max} = A_i^{\min} - Z_i^{\min}; \quad A_{i-1}^{\min} = A_{i-1}^{\max} - TA_{i-1}.$$

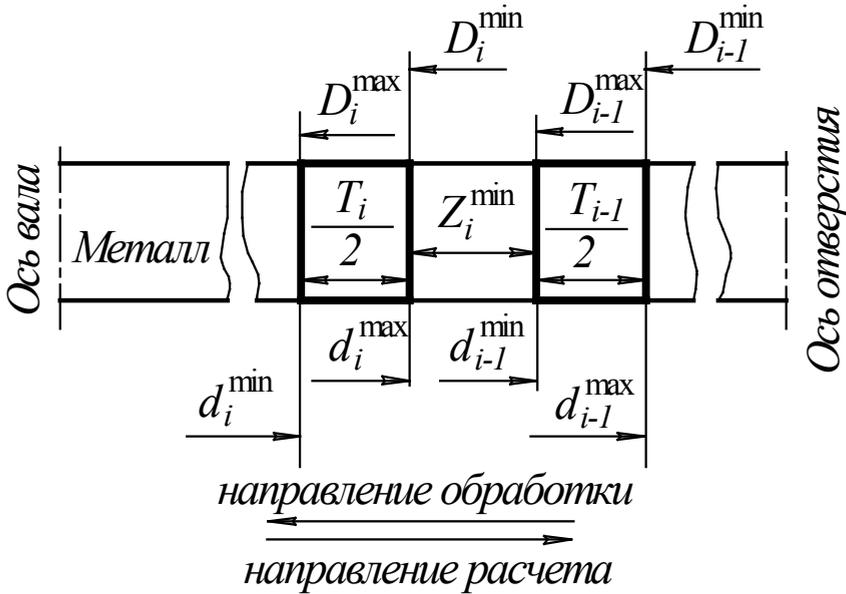


Рис. 14.4. Иллюстрация к расчету припусков

Допуски на промежуточные размеры определяются в зависимости от этапа и метода обработки, которые применяются для получения этих размеров (точение черновое, чистовое, шлифование и т. д.). Каждому этапу и методу соответствует определенный квалитет точности, по которому, в зависимости от величины промежуточного размера, определяется численное значение допуска на размер. Данные для этих расчетов представлены в справочной литературе.

Расчет номинального припуска на сторону для вала и отверстия выполняется одинаково по формуле (14.2). Симметричный припуск, или припуск на диаметр, определяется с использованием этой формулы следующим образом (рис. 14.3).

$$2 \cdot Z_i^H = 2 \cdot Z_i^{\min} + TA_{i-1}.$$

Тогда для наружных и внутренних поверхностей с симметричным припуском максимальный и минимальный размеры заготовки рассчитываются так (рис. 14.3):

$$d_{\text{заг}}^{\max} = d_{\text{дет}}^{\max} + 2 \cdot \sum_{i=1}^n Z_i^H; D_{\text{заг}}^{\min} = D_{\text{дет}}^{\min} - 2 \cdot \sum_{i=1}^n Z_i^H.$$

# 15. НОРМИРОВАНИЕ ТРУДА В МАШИНОСТРОЕНИИ

---

## 15.1. Основные положения

---

Производство изделий связано с трудовыми и материальными затратами.

Согласно ГОСТ 3.1109–82 определение технически обоснованных норм затрат или расхода производственных ресурсов называется *техническим нормированием*. Определение затрат трудовых ресурсов называется *нормированием труда*. Мерой трудовых затрат в машиностроении является *норма времени*.

*Нормой времени*, по ГОСТ 3.1109–82, называется регламентированное время выполнения некоторого объема работ в определенных производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации. Норма времени является основой для расчета себестоимости продукции, длительности технологического цикла, численности рабочих, станков, инструмента, производственной мощности цехов и размера заработной платы.

В машиностроении основной задачей нормирования труда является определение нормы штучного времени  $T_{шт}$ . Согласно ГОСТ 3.1109–82 *штучным временем*  $t_{шт}$  называется интервал времени, равный отношению цикла технологической операции к числу одновременно изготавливаемых или ремонтируемых изделий или равный календарному времени сборочной операции. Иными словами, штучным называется время, которое затрачивается на выполнение одной операции при обработке одной заготовки (штуки).

*Нормой штучного времени* называется норма времени на выполнение одной операции при обработке одной заготовки (штуки).

С нормой времени тесно связано понятие *нормы выработки*, определяемое ГОСТ 3.1109–82 как регламентированный объем работы, которая должна быть выполнена в единицу времени в определенных организационно-технических условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации. Норма выработки выражается в натуральных единицах — штуках, метрах, килограммах. Расчет нормы выработки производится как  $N_v = t/T$ , где  $t$  — время, на которое производится расчет нормы выработки;  $T$  — норма времени.

## 15.2. Структура штучного времени

Штучное время определяется по формуле

$$t_{ш} = t_o + t_{вс} + t_{обс} + t_{л.п},$$

где  $t_o$  — основное время;  $t_{вс}$  — вспомогательное время;  $t_{обс}$  — время обслуживания рабочего места;  $t_{л.п}$  — время на личные потребности человека и, при утомительных работах, на дополнительный отдых.

*Основное время* — это часть штучного времени, затрачиваемая на изменение и (или) последующее определение состояния предмета труда. Иными словами, это время на механическую обработку, сборку или контроль изделия. Основное время может быть машинным, машинно-ручным и ручным.

*Машинным* называется время выполнения работы машиной или механизмом без участия работника. Например, время обработки детали на металлорежущем станке при автоматической подаче режущего инструмента.

*Машинно-ручным* называется время на выполнение работы на станке с использованием ручного труда. Например, сверление на сверлильном станке с ручной подачей сверла.

*Ручным* называется время выполнения работы без применения машин и механизмов.

При работе на металлорежущих станках основное машинное время для каждого технологического перехода определяют по формуле:

$$t_o = l \cdot i/s, \quad (15.1)$$

где  $l$  — расчетная длина обрабатываемой поверхности или обработки в направлении подачи;  $i$  — число рабочих ходов;  $s$  — минутная подача. При ручном подводе инструмента без взятия пробных стружек расчетная длина обработки определяется так

$$l = l_{\text{обр}} + l_{\text{вр}} + l_{\text{сх}}; \quad (15.2)$$

где  $l_{\text{обр}}$  — длина обрабатываемой поверхности в направлении подачи;  $l_{\text{вр}}$  — длина врезания инструмента;  $l_{\text{сх}}$  — длина схода (перебега) инструмента. При ручном подводе инструмента с взятием пробных стружек к расчетной длине обработки добавляется общая длина рабочих ходов при взятии пробных стружек  $l_{\text{стр}}$ . Тогда

$$l = l_{\text{обр}} + l_{\text{вр}} + l_{\text{сх}} + l_{\text{стр}}. \quad (15.3)$$

При автоматическом подводе инструмента к заготовке со скоростью подачи следует учитывать путь  $l_n$  подвода инструмента с этой скоростью. В этом случае

$$l = l_{\text{обр}} + l_{\text{вр}} + l_{\text{сх}} + l_n. \quad (15.4)$$

Приведенные формулы являются общими для станочных работ всех видов. Однако для конкретного типа станка и конкретного вида работы могут быть свои особенности. В частности, схемы для определения расчетной длины обработки при точении прямым проходным резцом и сверлении представлены на рис. 15.1.

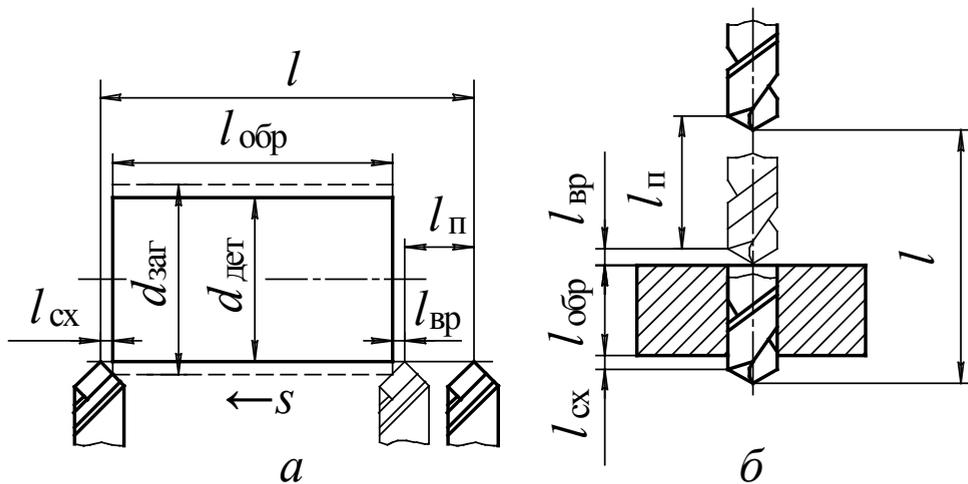


Рис. 15.1. Схемы для определения расчетной длины обработки  
 а — при точении; б — при сверлении

*Вспомогательное время* — это часть штучного времени, затрачиваемая на выполнение приемов, необходимых для обеспечения изменения и последующего определения состояния предметов труда. Эти действия повторяются с каждой обрабатываемой деталью или после обработки определенного количества деталей. Вспомогательное время включает время на установку, закрепление и снятие детали, время на управление станком, его настройку при выполнении технологического перехода, время на измерения детали и смену инструмента.

Вспомогательное время может быть также машинным, машинно-ручным и ручным. Если действия, на которые затрачивается вспомогательное время, выполняются во время обработки заготовки, то вспомогательное время перекрывается основным и называется *перекрываемым вспомогательным временем*. Вспомогательное время может составлять до 35 % штучного времени.

*Оперативным временем* называется часть штучного времени, равная сумме основного и вспомогательного времени:

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{о}} + t_{\text{вс}}.$$

*Время обслуживания рабочего места* — это часть штучного времени, затрачиваемая исполнителем в течение рабочей смены на поддержание средств технологического оснащения в работоспособном состоянии, уход за ними и рабочим местом. Это время определяется в процентах от оперативного времени и составляет до 10 % от него в зависимости от условий работы.

Время обслуживания рабочего места подразделяется на время технического и время организационного обслуживания рабочего места. Время технического обслуживания затрачивается на смену и правку инструмента, на подналадку и регулировку станка во время работы, на удаление стружки и т. д. Время организационного обслуживания состоит из затрат времени на уход за рабочим местом, раскладку инструмента в начале смены и уборку его по окончании смены; чистку и смазку станка; осмотр и опробование станка.

*Время на личные потребности* — это часть штучного времени, затрачиваемая человеком на личные потребности и, при утомительных работах, на дополнительный отдых. Для механических цехов это вре-

мя определяется в процентах от оперативного времени и достигает 2,5 %.

*Время на перерывы в работе* в соответствии с особенностями технологии и организацией производственного процесса устанавливается отдельно, в соответствии с каждым конкретным случаем. Необходимо заметить, что время на обеденный перерыв в норму времени не входит.

При изготовлении деталей партиями к штучному времени добавляется *подготовительно-заключительное время*, которое, по ГОСТ 3.1109–82, определяется как интервал времени, затрачиваемый на подготовку исполнителя или исполнителей и средств технологического оснащения к выполнению технологической операции и приведению последних в порядок после окончания смены и (или) выполнения этой операции для партии предметов труда. Подготовительно-заключительное время устанавливается для всей партии деталей и не зависит от размера партии. Сумма штучного времени и доли подготовительно-заключительного времени для одной детали образуют *штучно-калькуляционное время*:

$$t_{\text{шк}} = t_{\text{ш}} + t_{\text{пз}} / n,$$

где  $t_{\text{пз}}$  — подготовительно-заключительное время;  $n$  — размер партии деталей.

Время на обработку определенной партии деталей называется *калькуляционным* и определяется по формуле

$$t_{\text{к}} = t_{\text{ш}} \cdot n + t_{\text{пз}}.$$

Подготовительно-заключительное время включает в себя затраты времени на получение материалов, инструментов, приспособлений, технологической документации, наряда на работу, ознакомление с работой, чертежом, получение инструктажа, установку инструментов, приспособлений; наладку оборудования на соответствующий режим; снятие приспособлений и инструмента; сдачу готовой продукции, остатков материалов, приспособлений, инструмента, технологической документации и наряда. Лучше усвоить структуру нормы времени на механическую обработку позволяет схема, представленная на рис. 15.2.



Рис. 15.2. Структура нормы времени на механическую обработку

### 15.3. Методы определения нормы времени

На практике используются два метода определения нормы времени: аналитический и опытно-статистический, или суммарный.

*Аналитический метод* основан на расчленении технологического процесса на элементы: операции, переходы, приемы, движения. Затем по каждому элементу определяются затраты времени и устанавливается норма этих затрат. Существует две разновидности аналитического метода: *расчетный* и *исследовательский*.

В расчетном методе продолжительность основного машинного и машинно-ручного времени определяется по формулам (15.1)–(15.4). Затраты основного ручного, подготовительно-заключительного, вспомогательного и прочих компонентов штучного времени определяются по нормативам. Эти нормативы разрабатываются на основе передового производственного опыта и изданы в виде нормативных документов — норм времени на различные категории работ.

В исследовательском методе данные для расчета нормы времени по отдельным элементам получают путем наблюдений с измерением затрат времени непосредственно на рабочих местах. При этом ис-

пользуются два метода наблюдений: фотография рабочего времени и хронометраж.

*Фотография рабочего времени* представляет собой наблюдение за действиями рабочего с измерением затрат времени на эти действия в течение смены или ее части. При этом фиксируются затраты времени от начала периода наблюдения до его окончания.

*Хронометраж* представляет собой наблюдение за действиями рабочего с измерением затрат времени на эти действия по отдельным, многократно повторяющимся элементам технологического процесса или группе элементов. Данные замеров обрабатываются затем элементарными статистическими методами. Применяется также комбинированный аналитический метод, когда норма времени на одну группу элементов технологического процесса устанавливается расчетным методом, а на другую исследовательским.

Норма времени, установленная аналитическим методом, называется *технически обоснованной нормой*. С применением технически обоснованных норм времени повышается эффективность производства. В этой связи деятельность служб нормирования труда на предприятиях направлена на разработку и внедрение этих норм времени.

*Опытно-статистический, или суммарный, метод* основан на том, что норма времени устанавливается сразу на весь технологический процесс или операцию в целом, без их расчленения на отдельные элементы. Эти нормы устанавливаются на основе ранее накопленного опыта выполнения аналогичных работ. В этой связи эффективность этого метода во многом зависит от личного опыта нормировщиков.

Работы по расчетам нормы времени на предприятии выполняются инженером-нормировщиком. Результаты расчета заносятся в технико-нормировочную карту, порядок заполнения которой определен рекомендациями Р 50–72–88.

#### 15.4. Определение квалификации работы

Расчет заработной платы в машиностроении производится на основе нормы времени и квалификации работы. Квалификация работы определяется по тарифно-квалификационному справочнику, в котором приведены тарифно-квалификационные характеристики для всех

профессий. Такими характеристиками являются производственно-технические условия труда, объем и уровень необходимых профессиональных знаний. Квалификация работы определяется разрядом. В машиностроении действует единая шестиразрядная тарифная сетка. Тарифной сеткой называется шкала, определяющая соотношение между оплатой труда за единицу времени и квалификацией труда, с учетом вида работы и условий ее выполнения. Первый разряд соответствует работам самой низкой квалификации, шестой разряд — наиболее высокой. В некоторых отраслях применяется восьмиразрядная тарифная сетка.

В тарифно-квалификационном справочнике приводятся примеры работ, типичные для каждого разряда данной профессии. По справочнику определяется разряд работ и присваивается квалификация рабочему. Разряды установлены по возрастающей сложности работ. Рабочий, которому присваивается соответствующий разряд, должен устно ответить на теоретические вопросы и самостоятельно выполнить практическую работу.

Каждому разряду соответствует размер заработной платы за единицу времени (за час), который называется *тарифной ставкой*. Тарифная ставка первого разряда служит основой для расчета тарифных ставок последующих разрядов, размер которых определяется умножением тарифной ставки первого разряда на *тарифный коэффициент*. Тарифные ставки первого разряда и размеры тарифных коэффициентов устанавливаются на основе научного анализа профессионально-производственной деятельности.

## **16. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

.....

Согласно ГОСТ 3.1109–82 технологические процессы механической обработки делятся на три категории: единичные, типовые и групповые.

*Единичным* называется технологический процесс изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства. Согласно этому определению единичным следует считать технологический процесс изготовления отдельной детали.

*Типовым* называется технологический процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками. Конструктивными признаками являются форма, размеры деталей, точность размеров, шероховатость поверхности и др. К технологическим признакам следует отнести методы и средства обработки поверхностей. Очевидно, что детали, одинаковые по конструкции, обрабатываются по аналогичной технологии. Сущность разработки типовых технологических процессов заключается в следующем. На машиностроительных предприятиях изготавливается большое количество разнообразных деталей. Если на каждую деталь разрабатывать свой (единичный) технологический процесс, то потребуются значительные трудовые ресурсы. В то же время многие детали имеют одинаковую форму и близкие размеры. К ним предъявляются одинаковые требования по точности, шероховатости поверхности и свойствам материала. Поэтому технология изготовления этих деталей будет примерно одной и той же. Таким образом, существует много деталей с общими конструктивными признаками, технология изготовления которых будет одинакова.

В этих условиях является целесообразным объединить эти детали в группы, выбрать для этой группы типовую деталь, обладающую наиболее полным набором одинаковых конструктивных признаков, и разработать на эту деталь типовой технологический процесс. Типовая деталь может быть реальной, выбранной из номенклатуры выпускаемых изделий, или виртуальной, разработанной специально, с целью объединения наибольшего числа конструктивных признаков данной группы. Отдельные детали группы имеют одинаковую форму с типовой деталью, но отличаются от нее разными размерами, точностью и шероховатостью поверхностей. В этой связи аналогичные по конструкции детали можно изготавливать по технологическому процессу, составленному из набора типовых операций. Разработка типовых технологических процессов называется типизацией.

Типизация технологических процессов производится в два этапа. На первом этапе осуществляют классификацию деталей, формируют типовую деталь. На втором разрабатывают технологию изготовления типовой детали, т. е. типовую технологию. При классификации вся совокупность деталей разбивается на классы, подклассы, группы и типы по конструктивным признакам. К таким признакам относятся конфигурация детали, ее размеры, точность обработки, качество поверхности, материал детали и его свойства. В каждой группе выделяется типовая деталь, на которую разрабатывается типовой технологический процесс. Разработка технологических процессов изготовления других деталей группы заключается в редакции типового технологического процесса исключением или добавлением операций, переходов, изменением набора средств технологического оснащения, режимов резания и т. д. Таким образом, типовой технологический процесс используется как аналог или шаблон для проектирования технологических процессов изготовления других деталей группы.

Процесс типизации не стандартизирован, т. к. нормативные документы в ранге стандартов на классификацию деталей и типовые технологии не разработаны ввиду большой номенклатуры изделий, различных по форме, размерам и свойствам. Задачи типизации решаются на отраслевом уровне или каждым предприятием самостоятельно. Например, классификация деталей, предложенная профессором А. П. Соколовским, предусматривает 14 классов. Эта классификация касается деталей общего назначения и включает следующие классы: валы, втулки, диски, эксцентричные детали, крестовины, рычаги, плиты, стой-

ки, угольники, бабки, зубчатые колеса, фасонные кулачки, ходовые винты и червяки, мелкие крепежные детали.

В табл. 16.1 представлен пример классификации подкласса ступенчатых валов. Здесь по конструктивным признакам для класса валов образовано два подкласса: валы без центрального отверстия и валы с центральным отверстием. В зависимости от длины вала подклассы делятся на две размерные группы. В размерных группах по конструктивным признакам выделены пять типов валов. Приведенный пример является частным случаем. Возможен другой подход при классификации этих деталей.

Таблица 16.1

**Классификация подкласса ступенчатых валов**

Подкласс		Наименование типа	Размерная группа			
Наименование	Обозначение		Длина вала, мм	Обозначение	Длина вала, мм	Обозначение
			150–500	I	500–1000	II
		Обозначение типа				
Ступенчатый вал без центрального отверстия	1	Валы без шлицев	1–I–1		1–II–1	
		Валы со шлицами	1–I–2		1–II–2	
		Валы-шестерни без шлицев	1–I–3		1–II–3	
		Валы-шестерни цилиндрические со шлицами	1–I–4		1–II–4	
		Валы-шестерни конические со шлицами	1–I–5		1–II–5	
Ступенчатый вал с центральным отверстием	2	Валы без шлицев	2–I–1		2–II–1	
		Валы со шлицами	2–I–2		2–II–2	
		Валы-шестерни со шлицами	2–I–3		–	
		Валы-рейки	–		2–II–1	

В настоящее время основой типизации может послужить Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения ОК 021–95. Здесь установлено шесть классов изделий. Основным признаком деления изделий на классы является геометрическая форма деталей. Дополнительными признаками являются: размерная характеристика, группа материала, вид детали по технологическому методу изготовления, вид исходной заготовки, качество, параметр шероховатости, характеристика технологических требований, характеристика термической обработки, толщина покрытия, поверхность покрытия, характеристика массы и др.

Типизация устраняет многообразие технологических процессов, сводит их к ограниченному числу, является базой для унификации и стандартизации.

Использование типовых технологических процессов эффективно при массовом и крупносерийном производстве, когда используются поточные методы работы с объединением рабочих мест в поточные линии. Настройка оборудования поточных линий на типовой технологический процесс дает возможность за счет небольших переналадок быстро переходить на выпуск других деталей при запуске изделий новой серии, в состав которых эти детали входят в качестве комплектующих изделий.

*Групповым* называется технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками. Групповой технологический процесс осуществляется на станках одной группы: токарных, фрезерных, расточных, отсюда его название, в то время как типовой технологический процесс состоит из ряда операций, выполняемых на станках, которые принадлежат к различным группам.

*Групповой технологической операцией* называется законченная часть группового технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте, при совместном изготовлении группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками. Если обработка группы деталей производится на одном станке, то этот процесс состоит из одной групповой операции. Изготовление деталей по групповым технологическим процессам называется *групповой обработкой*. Основой групповой обработки, так же как и при типизации, является объединение деталей в группы. Однако признак классификации здесь другой. Объединение разных по конструкции

и назначению деталей производится по признаку их полной или частичной обработки на станках одной группы. Очевидно, что детали одной группы должны иметь однотипные поверхности, подлежащие обработке. Примером группы являются детали, представленные на рис. 16.1.

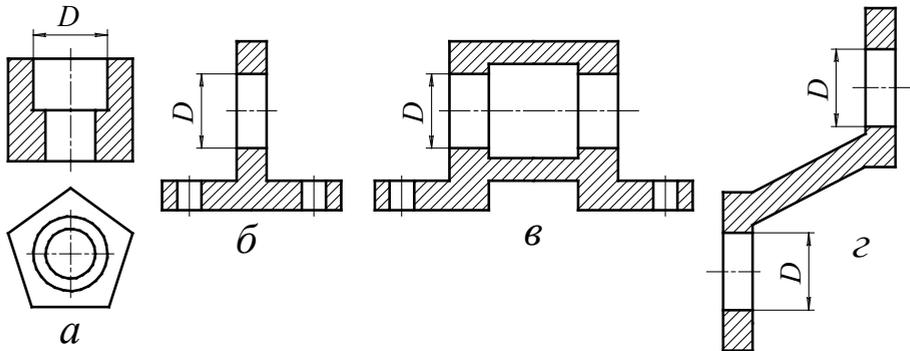


Рис. 16.1. Группа деталей с отверстиями:

*a* — втулка; *б* — стойка; *в* — корпус; *г* — рычаг

Здесь в группу объединены разные по конструкции и назначению детали: втулка со сложной наружной поверхностью, стойка, корпус и рычаг. Признаком объединения является наличие одинаковых отверстий, обрабатываемых на горизонтально-расточном станке. Обработка остальных поверхностей производится на других станках. Рациональной организацией групповой обработки при изготовлении различных деталей является использование одной и той же наладки.

*Наладкой* называется подготовка технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению технологической операции. К наладке относится установка инструмента, приспособлений и настройка станка на заданные размеры и режимы обработки. Таким образом, при использовании наладки обработка ведется на предварительно настроенных станках по методу автоматического получения размеров.

Наиболее эффективно групповая обработка используется для деталей с наружными и внутренними цилиндрическими поверхностями, которые изготавливаются преимущественно из проката. К таким деталям относятся пробки, шуцеры, втулки, зубчатые колеса небольших размеров. При групповой обработке таких деталей наладка стан-

ка производится для наиболее сложной детали группы, конфигурация которой включает все элементарные поверхности других деталей. Если в конфигурации простой детали имеется поверхность, которая отсутствует у более сложной детали, то эту поверхность искусственно добавляют в конструкцию более сложной детали.

Деталь, конфигурация которой включает все элементарные поверхности деталей группы, называется *комплексной*. Комплексная деталь может быть реальной деталью с наиболее сложной конфигурацией или виртуальной деталью, состоящей из элементарных поверхностей деталей группы. Отличие комплексной детали от типовой заключается в том, что ее диаметральные размеры по точности и шероховатости соответствуют реально существующим диаметральным размерам деталей группы.

Линейные размеры комплексной детали отличаются от линейных размеров деталей группы. Величина и точность этих размеров для каждой детали группы обеспечиваются настройкой станка. Таким образом, наладка станка производится на обработку комплексной детали. Такая наладка называется групповой. При обработке других, более простых деталей группы часть переходов пропускается, а средства технического оснащения в наладке, которые предусмотрены для выполнения этих переходов, не применяются. Возможна также частичная подналадка оборудования.

Групповая обработка с созданием комплексной детали эффективна с использованием токарно-револьверных станков, станков-автоматов токарной группы, а также станков с ЧПУ. Групповая обработка дает возможность использовать в мелкосерийном производстве концентрацию операций. Мелкие партии деталей объединяются в более крупные партии по групповому признаку. Это позволяет сокращать количество рабочих мест применением станков оснащенных большим количеством инструментов, например токарно-револьверных станков и станков с ЧПУ.

Рассмотрим пример групповой обработки на токарно-револьверном станке (ТРС). Конструкция и принцип работы такого станка рассмотрены в параграфе 11.5. Конструкция ТРС показана на рис. 11.9. Станок имеет два суппорта. Один суппорт такой же, как у обычного универсального токарно-винторезного станка (ТВС). Он может работать с продольной и поперечной подачами. Поэтому его называют крестовым. На нем установлены два резцедержателя: передний и за-

дний. Передний резцедержатель поворотный, как у ТВС, на четыре позиции. В нем можно устанавливать четыре инструмента. Задний резцедержатель поворота не имеет. В зависимости от конструкции в нем можно устанавливать один или несколько резцов. Представленный на рис. 11.9 станок заднего резцедержателя не имеет.

Револьверный суппорт с револьверной головкой установлен вместо задней бабки и работает только с продольной подачей. Револьверная головка представляет собой поворотное устройство на шесть позиций для установки режущего инструмента: резцов, сверл, зенкеров, метчиков. Револьверный и крестовый суппорта могут перемещаться независимо друг от друга. За счет установки на револьверной головке в одной позиции двух и более инструментов можно при обработке совмещать переходы. Например, одновременно обрабатывать точением наружную и растачивать внутреннюю поверхности (рис. 11.10). Комплексная деталь К для групповой обработки и детали группы А, Б, В, Г показаны на рис. 16.2. Одинаковые поверхности на деталях обозначены одними и теми же цифрами.

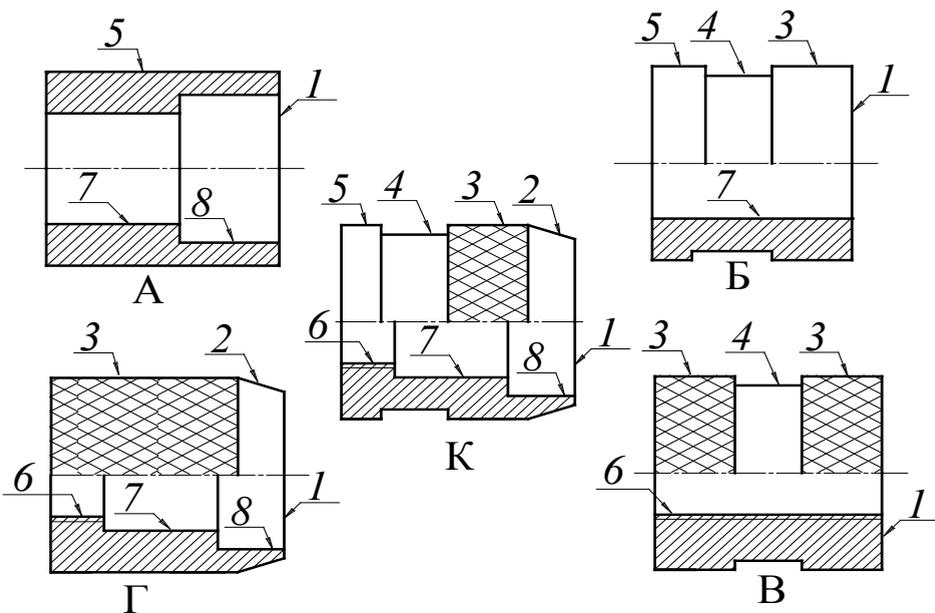


Рис. 16.2. Комплексная деталь К  
и детали группы А, Б, В, Г

Наладка ТРС на комплексную деталь для обработки деталей группы представлена на рис. 16.3, а. Позиции револьверной головки обозначены римскими цифрами с индексом  $p$  —  $I_p$ – $VI_p$ . Позиции переднего и заднего резцедержателей крестового суппорта обозначены римскими цифрами с индексом  $c$  —  $I_c$ – $V_c$  (рис. 16.3, б, в). Рядом с каждой позицией стоит номер поверхности детали, которая обрабатывается в этой позиции (рис. 16.3, г, д). Заготовкой для деталей является пруток. Содержание операции при обработке комплексной детали представлено в табл. 16.2. В табл. 16.3 знаком  $+$ /указаны позиции в наладке револьверной головки и резцедержателей, которые используются при обработке каждой детали группы, а знаком  $-$ /указаны позиции, которые не применяются.

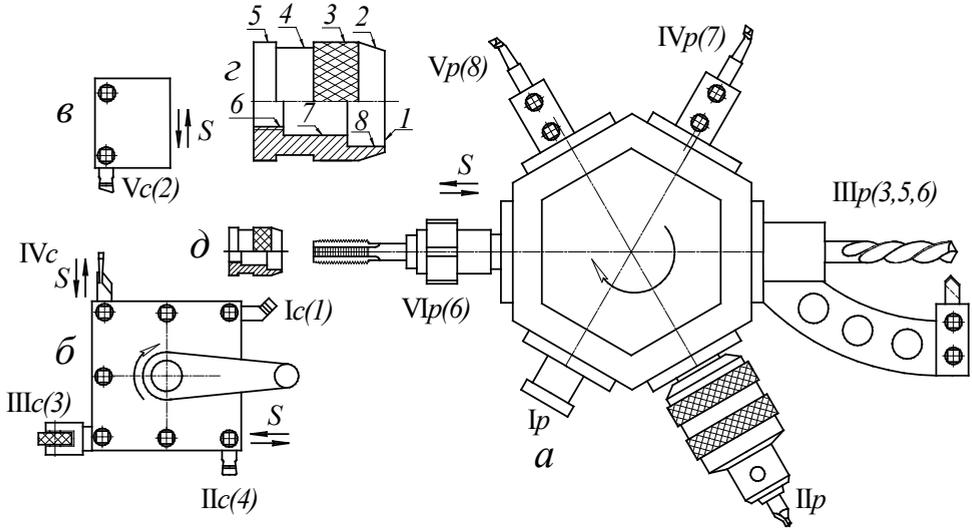


Рис. 16.3. Наладка ТРС на комплексную деталь для обработки деталей группы

Таблица 16.2

Содержание операции при обработке комплексной детали

№ перехода	Содержание перехода	№ позиции	
		Револьверной головки	Резцедержателей суппорта
1	Закрепить пруток	–	–
2	Подрезать торец	–	$I_c$
3	Переместить пруток до упора и закрепить	$I_p$	–

Окончание табл. 16.2

№ перехода	Содержание перехода	№ позиции	
		Револьверной головки	Резцедержателей суппорта
4	Центровать	IIp	–
5	Точить поверхности 3 и 5, сверлить поверхность 6 одновременно	IIIp	–
6	Расточить поверхность 7	IVp	–
7	Расточить поверхность 8	Vp	–
8	Точить поверхность 4	–	IIc
9	Накатать рифления на поверхности 3	–	IIIc
10	Точить поверхность 2	–	Vc
11	Отрезать деталь от прутка	–	IVc
12	Установить и закрепить	–	–
13	Нарезать резьбу на поверхности 6	VIp	–

Таблица 16.3

**Позиции в наладке при обработке деталей группы**

№ позиции	Детали группы			
	А	Б	В	Г
Ip	+	+	+	+
IIp	+	+	+	+
IIIp	+	+	+	+
IVp	+	+	–	+
Vp	+	–	–	+
VIp	–	–	+	+
Ic	+	+	+	+
IIc	–	+	+	–
IIIc	–	–	+	–
IVc	+	+	+	+
Vc	–	–	–	+

## **17. ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

.....

На разработанный технологический процесс оформляется комплект технологической документации. Согласно ГОСТ 3.1102–82 технологическая документация включает документы общего и специального назначения. К документам общего назначения относятся: титульный лист (ТЛ), карта эскизов (КЭ) и технологическая инструкция (ТИ). В состав документации специального назначения входит 26 документов. Основными из них являются: маршрутная карта (МК), операционная карта (ОК) и карта технологического процесса (КТП).

Согласно ГОСТ 3.1109–82 описание технологических процессов в технологической документации по степени детализации может быть маршрутным, операционным и маршрутно-операционным.

Маршрутное описание выполняется с сокращенным описанием содержания всех технологических операций в МК в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов. Это описание применяется в единичном и мелкосерийном производстве при большой номенклатуре изделий, когда более детальное описание связано с большими трудозатратами.

Операционное описание выполняется с полным описанием всех технологических операций в ОК в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов, данных о средствах технологического оснащения, материальных и трудовых затратах. Операционное описание применяется в серийном и массовом производствах.

Маршрутно-операционное описание выполняется с сокращенным описанием технологических операций в МК в последова-

тельности их выполнения и с полным описанием отдельных операций в КТП и ОК. Это описание применяется в серийном, мелкосерийном и опытном производстве, когда в технологическом процессе имеются отдельные сложные технологические операции, требующие детального описания.

Рассмотрим правила, бланки и образцы заполнения основных технологических документов. Образцы этих документов представлены в приложении 2, на рисунках П.2.1–П.2.14.

Титульный лист технологического процесса оформляется по ГОСТ 3.1105–2011. Пример оформления ТЛ по форме 2 для предприятия представлен на рис. П.2.1.

Маршрутную карту используют при любой форме описания технологического процесса.

При маршрутном и маршрутно-операционном описании технологического процесса МК является одним из основных документов, в котором описывают весь процесс в технологической последовательности выполнения операций.

При операционном описании технологического процесса МК играет роль сводного документа, в котором указывают адресную информацию (номер цеха, участка, рабочего места, операции), наименование операции, перечень документов, применяемых при выполнении операции, технологическое оборудование и трудозатраты.

Маршрутная карта оформляется по ГОСТ 3.1118–82. В учебном процессе для механической обработки рекомендуется использовать форму 1 для первого листа и форму 1 б для последующих листов. Бланки МК для этих форм представлены на рис. П.2.2 и П.2.3. В этих бланках цифрами обозначены поля, заполнение которых производится в соответствии с таблицей П.1.1. Образец оформления МК на единичный технологический процесс для маршрутного или маршрутно-операционного описаний представлен на рис. П.2.4. МК заполняется построчно в технологической последовательности выполнения операций от заготовки до готового изделия. Для каждой операции заполняют несколько строк различного типа. Тип строки определяется служебным символом. Служебными символами являются прописные буквы русского алфавита, проставленные перед номером строки. Например: А03 или Б04. Каждому служебному символу соответствует информация определенного вида. Например, для некоторых символов в технологических картах эта информация имеет следующее содержание:

А — номер цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция, номер операции, код и наименование операции, обозначение документов, применяемых при выполнении операции;

Б — код, наименование оборудования и информация по трудозатратам;

К — информация по комплектации изделия (сборочной единицы) составными частями с указанием наименования деталей, сборочных единиц, их обозначений, обозначения подразделений, откуда поступают комплектующие составные части, кода единицы величины, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода;

М — информация о применяемом основном материале и исходной заготовке, информация о применяемых вспомогательных и комплектующих материалах с указанием наименования и кода материала, обозначения подразделений, откуда поступают материалы, кода единицы величины, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода;

О — содержание операции (перехода);

Т — информация о применяемой технологической оснастке;

Р — информация о режимах обработки.

Две строки со служебным символом «М» являются общими для всей МК. Строки со служебными символами «А», «Б», «О», «Т» повторяются для каждой операции. В строке со служебным символом «Т» информацию о технологической оснастке записывают в следующей последовательности: приспособления, вспомогательный инструмент, режущий инструмент, средства измерения. Служебный символ «Р» в маршрутной карте не используется. При операционном описании для каждой операции в МК используются только строки со служебными символами «А» и «Б». Служебный символ «К» используется при оформлении МК на сборочные технологические процессы.

Карта технологического процесса предназначена для маршрутно-операционного описания технологического процесса, состоящего из нескольких технологических операций. Запись содержания операций в КТП производится в последовательности их выполнения с указанием переходов, технологических режимов, данных о средствах технологического оснащения, материальных и трудовых затратах на технологические процессы одного вида: механическую обра-

ботку, сварку, термообработку, нанесение покрытий, выполняемые, как правило, в одном цехе. Допускается использовать КТП вместо МК. КТП оформляется по ГОСТ 3.1404–86 (форма 1 для первого листа и форма 1 а для последующих листов). Бланки КТП для этих форм представлены на рис. П.2.5 и П.2.6. Содержание граф с 1 по 30 КТП аналогично МК. Содержание остальных граф КТП представлено в таблице П. 1.2. Образец оформления КТП представлен на рис. П.2.7. В данном случае в КТП представлена одна операция. При заполнении КТП добавляется строка с информацией о режимах обработки со служебным символом «Р».

Операционная карта, в отличие от КТП, предназначена для описания только одной технологической операции с указанием последовательности выполнения переходов, данных о средствах технологического оснащения, режимах и трудовых затратах. На процессы и операции, выполняемые с применением универсального оборудования, в том числе станков с ЧПУ, ОК оформляется по ГОСТ 3.1404–86 (формы 2, 2 а, 3). Форма 2 имеет поле для эскиза (рис. П.2.8). Первый лист ОК по форме 3 поля для эскиза не имеет (рис. П.2.9). Он может оформляться с применением бестекстовой записи, но совместно с картой эскизов. Форма 2 а предназначена для последующих листов (рис. П.2.10). Образец оформления ОК по форме 2 представлен на рис. П. 2.11. Образец оформления ОК по форме 3 совместно с картой эскизов представлены на рис. П.2.12 и П.2.13. Графы ОК, МК и КТП с совпадающими номерами заполняются одинаково. Содержание граф 40–49 ОК приведено в табл. П. 1.3.

Карта эскизов (КЭ) представляет собой графический документ, содержащий эскизы, схемы и таблицы, поясняющие выполнение технологического процесса, операции или перехода изготовления или ремонта изделия, включая контроль и перемещения. Карты эскизов оформляются на бланках по ГОСТ 3.1105–2011. При курсовом и дипломном проектировании рекомендуется использовать формы 7 для первого листа и форму 7 а для последующих листов с горизонтальным полем подшивки. Согласно ГОСТ 3.1128–93 к графическим документам предъявляются следующие основные требования:

1. Эскизы следует выполнять с соблюдением масштаба или с примерным соблюдением пропорций.

2. Изделия на эскизах изображаются в рабочем положении относительно исполнителя (рабочего) с условным обозначением опор, зажимов и установочных устройств.
3. При разработке эскизов следует применять упрощенные изображения, без указания отдельных элементов.
4. Эскизы оформляются с разрезами, видами и сечениями, количество которых устанавливает разработчик.
5. На эскизах должны быть проставлены технологические размеры, предельные отклонения, обозначения шероховатости для поверхностей и конструктивных элементов, которые обрабатываются на данной операции.
6. Обрабатываемые поверхности на эскизе следует обводить линией толщиной  $2s$ . В курсовом и дипломном проектировании можно применять цветные линии, например красного цвета. При разработке одного эскиза на технологический процесс или нескольких операций допускается обрабатываемые поверхности этой линией не обводить.
7. На эскизах к операциям все размеры или конструктивные элементы обрабатываемых поверхностей условно нумеруются арабскими цифрами, которые обводят окружностью диаметром 6–8 мм и соединяют с размерной или выносной линией. При этом размеры, предельные отклонения обрабатываемой поверхности в тексте содержания операции технологической карты не указываются. Нумерацию следует производить в направлении часовой стрелки, начиная с верхней левой части эскиза.
8. При выполнении на одном документе нескольких эскизов к разным операциям одного технологического процесса допускается сквозная нумерация обрабатываемых поверхностей или конструктивных элементов. Номера одной и той же обрабатываемой поверхности или элемента, повторяющихся на разных операциях, могут быть неодинаковыми.
9. Допускается при необходимости упрощенно изображать режущий и вспомогательный инструмент.
10. Если изображение на эскизе относится к нескольким операциям, то номера этих операций следует указывать над изображением изделия и подчеркивать. Если номера операций идут подряд, допускается записывать первый и последний номер через дефис.

11. Если на поле для графической информации содержится несколько эскизов для разных операций, то над каждым эскизом следует указать номер операции.
  12. Для обозначения установов следует применять прописные буквы русского алфавита, а для обозначения позиций — арабские цифры, например «Уст. А; Поз. 3».
  13. Технические требования следует помещать на свободной части документа справа от изделия или под ним.
  14. Таблицы и графики следует помещать на свободной части документа, справа от изделия.
- Образцы оформления карт эскизов представлены на рис. П.2.13 и П.2.14.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

---

1. Маталин А. А. Технология машиностроения : учеб. для вузов / А. А. Маталин. Изд. 3-е, стереот. СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. 512 с.
2. Технология машиностроения : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. бакалавров и магистров «Технология, оборудование и автоматизация машиностроит. пр-в» и по направлению подгот. дипломир. специалистов «Конструкт.-технол. обеспечение машиностроит. пр-в» : в 2 кн. Кн. 1 : Основы технологии машиностроения / Э. Л. Жуков, И. И. Козарь, С. Л. Мурашкин [и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. Изд. 3-е, стер. М. : Высшая школа, 2008. 278 с.
3. Технология машиностроения : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. бакалавров и магистров «Технология, оборудование и автоматизация машиностроит. пр-в» и по направлению подгот. дипломир. специалистов «Конструкт.-технол. обеспечение машиностроит. пр-в» : в 2 кн. Кн. 2 : Производство деталей машин / [Э. Л. Жуков, И. И. Козарь, С. Л. Мурашкин и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. Изд. 2-е, доп. М. : Высшая школа, 2005. 295 с.
4. Технология машиностроения : Ч. I. Основы технологии машиностроения : учеб. пособие / Э. Л. Жуков [и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. М. : Издательство СПбУПУ, 2002. 190 с.
5. Технология машиностроения : Ч. III. Правила оформления технологической документации : учеб. пособие / Э. Л. Жуков [и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. М. : Издательство СПбУПУ, 2002. 58 с.

6. Суслов А. Г. Научные основы технологии машиностроения / А. Г. Суслов, А. М. Дальский. М. : Машиностроение, 2002. 684 с.
7. Технология машиностроения : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Технология машиностроения» : в 2 т. Т. 1 : Основы технологии машиностроения / В. М. Бурцев, А. С. Васильев, А. М. Дальский [и др.]; под общ. ред. А. М. Дальского. 2-е изд. стер. М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. 564 с.
8. Расчет припусков и межоперационных размеров в машиностроении : учебное пособие / Х. М. Радкевич, В. А. Тимирязев, А. Г. Схиртладзе [и др.]; под общ. ред. В. А. Тимирязева. М. : Высшая школа, 2004. 272 с.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

*Содержание информации, вносимой в графы,  
расположенные на строке*

*Таблица П.1.1*

## Содержание МК

№ графы	Условное обозначение графы	Содержание графы
1	М01	Служебный символ и порядковый номер строки
2	—	Наименование, сортамент, размер и марка материала, например «Сталь 40Х ГОСТ 4543–61»
3	Код	Код материала по классификатору*
4	ЕВ	Код единицы величины (массы, длины, площади и пр.) детали, заготовки
5	МД	Масса детали по конструкторскому документу
6	ЕН	Единица нормирования, на которую установлена норма расхода материала или норма времени, например 1, 10, 100
7	Н. расх.	Норма расхода материала
8	КИМ	Коэффициент использования металла
9	Код загот.	Код заготовки по классификатору. Допускается указывать вид заготовки (отливка, прокат, поковка и пр.)
10	Профиль и размеры	Профиль и габаритные размеры исходной заготовки
11	КД	Количество деталей, изготавливаемых из одной заготовки
12	МЗ	Масса заготовки

Продолжение табл. П.1.1

№ графы	Условное обозначение графы	Содержание графы
13	–	Графа для особых указаний, которые определяются отраслевыми нормативно-техническими документами*
14	Цех	Номер цеха*
15	Уч.	Номер участка*
16	РМ	Номер рабочего места*
17	Опер.	Номер операции
18	Код, наименование операции	Код операции по технологическому классификатору, наименование операции
19	Обозначение документа	Обозначение документов, инструкций по охране труда, применяемых при выполнении данной операции
20	Код, наименование оборудования	Код оборудования по классификатору, краткое наименование оборудования, его инвентарный номер
21	СМ	Степень механизации*
22	Проф.	Код профессии по классификатору*
23	Р	Разряд работы
24	УТ	Код условий труда*
25	КР	Количество исполнителей, занятых при выполнении операции
26	КОИД	Количество одновременно изготавливаемых деталей
27	ОП	Объем производственной партии в штуках
28	$K_{шт}$	Коэффициент штучного времени при многостаночном обслуживании
29	$T_{пз}$	Норма подготовительно-заключительного времени на операцию
30	$T_{шт}$	Норма штучного времени на операцию
31**	Наименование детали, сборочной единицы или материала	Наименование детали, сборочной единицы или материала, применяемых при выполнении операции
32	Обозначение, код	Обозначение деталей, сборочных единиц по конструкторскому документу или материалов по классификатору

*Окончание табл. П.1.1*

№ графы	Условное обозначение графы	Содержание графы
33	ОПП	Обозначение подразделения (склада, кладовой), откуда поступают комплектующие детали, сборочные единицы или материалы, а при разборке — куда поступают
34	КИ	Количество деталей и сборочных единиц, применяемых при сборке изделия

## Примечания:

\* при курсовом и дипломном проектировании графы не заполняются;

\*\* графы 31–34 заполняются на последующих листах МК.

Таблица П.1.2

## Содержание граф 31–39 КТП

№ графы	Условное обозначение графы	Содержание графы
31	—	Особые указания. Допускается записывать содержание перехода
32	ПИ	Номер позиции инструментальной наладки. Графу следует заполнять для станков с ЧПУ
33	D или B	Расчетный размер обрабатываемого диаметра (ширины) детали
34	L	Расчетный размер длины рабочего хода
35	t	Глубина резания
36	i	Число рабочих ходов
37	s	Подача, мм/об
38	n	Число оборотов шпинделя в мин
39	v	Скорость резания, м/мин

Таблица П.1.3

## Содержание граф 40–48 ОК

№ графы	Условное обозначение графы	Содержание графы
40	Наименование операции	Форма записи наименования операции по ГОСТ 3.1702–79
41	Материал	Краткая форма записи наименования и марки материала по ГОСТ 3.1104–81
42	Твердость	Твердость материала заготовки поступившей на обработку
43	Оборудование	Краткое наименование и модель оборудования. Для станков с ЧПУ дополнительно указывается тип устройства с ЧПУ
44	Обозначение программы	Обозначение программы для ЧПУ в соответствии с отраслевой нормативно-технологической документацией
45	$T_o$	Норма основного времени
46	$T_v$	Норма вспомогательного времени
47	СОЖ	Информация о СОЖ
48	-	Поле эскиза для обрабатываемой детали



Форма 1

ГОСТ 3.1103-82

По ГОСТ 3.1103-82

1	М 01	Код	ЕВ	МД	ЕН	Н. расх.	КИМ	Код загл.	Профиль и размеры	КД	МЗ	13	9	52				
2	М 02	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	9	5	2				
А	Цех	Уч.	ГРМ	Опер.	Код, наименование операции	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Т.п.з	Т.шт.			
Б	Код, наименование оборудования	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
А.03																		
Б.04																		
05																		
06																		
07																		
08																		
09																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		

По ГОСТ 3.1103-82

2,97

14,8,5

8,5

4,25

14 x 8,5 = 119

5,5

5,5

210

Рис. П.2.2. Бланк первого листа МК ф.1 с обозначением полей

ГОСТ 3.1118-82      Форма 18

По ГОСТ 3.1103-82

По ГОСТ 3.1103-82

По ГОСТ 3.1103-82

По ГОСТ 3.1103-82

А	Цех	Уч.	ГРМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа											
						СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОМ	ЕН	ОП	К.шт.	Т.п.з	Т.шт.	
Б	Код, наименование оборудования					Обозначение, код											
КМ	Наименование детали, сб. единицы или материала																
1	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2						31	32							33	34	35	36
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	

По ГОСТ 3.1103-82

297

5,5

5,5

17 x 0,5 = 144,5

3 x 4,25 = 12,75

4,25

210

Рис. П.2.3. Бланк последующих листов МК ф.1 с обозначением полей

ГОСТ 3.1118-82										Форма 1					
Дробл. всач. побл.															
АЗЛК										АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ		ХХХХХХ.ХХХХХХХХ		АБВГ.10101.11423	
Ш т о к														0 <sub>1</sub>	
Круг В22 ГОСТ 2590-88/45 ГОСТ 1050-88															
Код	ЕВ	МД	ЕН	Н.расх.	КИМ	Код загот.	Профиль и размеры		КД	МЗ					
М 02	ХХХХХХ.ХХХХ	166	2.984	1	3.180	0,89	ХХХХХХ.ХХХХ		Круг 22 x 125		1	3,150			
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции		Обозначение документа								
Б	Код, наименование оборудования		СМ	Праф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з	Тшт.		
А 03	01	02	—	005	ХХХХ	Отрезная		25006.01551;		ИОТ № 132-81					
Б 04	АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ		8А64-1А		2	ХХХХХ		ХХХ	ХХХХ	1	1	100	1	0,24	0,58
0 05	Отрезать заготовку		L = 125 ± 0,5												
Т 06	АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ		тиски;		АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ		пилы;		ХХХХХХ.ХХХ		шаблон				
07															
А 08	12	01	—	010	ХХХХ	Токарная		25140.00145;		ИОТ № 101-81					
Б 09	АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ		1К62		2	ХХХХХ		ХХХ	ХХХХ	1	1	100	1	0,46	1,54
0 10	Точить поверхности с подрезкой торца, выдерживая размеры		20-0,23; 15-0,24; 40 ± 0,2; 122 ± 0,6												
Т 11	АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ		резец подрезной;		АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ		скаба;		ШЦ II - 250 - 0,05						
12															
А 13	12	02	—	015	ХХХХ	Токарная		25140.00145;		ИОТ № 101-81					
Б 14	АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ		1К62		2	ХХХХХ		ХХХ	ХХХХ	1	1	100	1	0,52	1,44
0 15	Точить поверхности с подрезкой торца, выдерживая		D = 22-0,28 и L = 120-0,22												
Т 16	АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ		резец подрезной;		АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ		скаба;		АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ		шаблон				
МК															

Рис. П.2.4. Пример оформления МК

ГОСТ 3.1404-86 Форма 1

По ГОСТ 3.1103-82

По ГОСТ 3.1103-82

По ГОСТ 3.1103-82

По ГОСТ 3.1103-82

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Обозначение документа					Т.шт.			
М	Ф	Код	ЕВ	МД	ЕН	Н. расх.	КИМ	Код заготовки	Профиль и размеры	КД	МЗ	Конт.	Л.з.	П	С	Т	О	
А	Б	Цех	Уч	РМ	Опер.	Код. наименование оборудования	Код. наименование операции	СМ	Проект	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Конт.	Л.з.	
Р	П	Дли	В	Л	С	И	С	И	С	И	С	И	С	И	С	И	С	
13								19										
20								21	22	23	24	25	26	6	27	28	29	30
31								32	33	34	35	36	37		38		39	
06																		
07																		
08																		
09																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		

По ГОСТ 3.1103-82

По ГОСТ 3.1103-82

297

Рис. П.2.5. Бланк первого листа КТП ф.1 с обозначением полей



Дробл.		Взлом.		Лобл.		Гост 3.1404-86		Форма 1										
Разраб.	Иванов	10.12.85	Иванов	10.12.85	Иванов	10.12.85	Иванов	10.12.85	17									
Нормир.	Васильева	11.12.85	Васильева	11.12.85	Васильева	11.12.85	Васильева	11.12.85	1									
Соглас.	Воробьев	12.12.85	Воробьев	12.12.85	Воробьев	12.12.85	Воробьев	12.12.85	1									
Утверд.	Киселев	13.12.85	Киселев	13.12.85	Киселев	13.12.85	Киселев	13.12.85	1									
Н. контр.	Дорохова	10.12.85	Дорохова	10.12.85	Дорохова	10.12.85	Дорохова	10.12.85	1									
М Ф1	Код	ЕВ	МД	ЕН	Н. расх.	КИМ	Код заготовки	Промыш. разм. заготовки	КД	МЗ								
М Ф2	XXXXXX.XXXX	XXX	32	1	35,6	0,89	XXXXXX.XXXX	Отливка 374 x 290 x 342	1	3/4								
А	Цех	Уч.	РМ	Упер.	Код, наименование операции	СМ	Прас.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	К шт.	ОП	Т.п.з.	Тшт.		
Б	Код оборудования, модель, инвентарный номер																	
Р	П	И	Д	Или	В	Л	Э	И	С	П	У							
А Ф3	25	01	—	005	XXXX. Распаяная		К. XXXXX.XXXX;	К. XXXXX.XXXX.	1	1	1	0,83	400	1,15	6,45			
Б Ф4	АБВГ. XXXXX.XXX				6906 ВМ Ф2		2	XXXXX.XXX.XXX										
О Ф5	1. Установить заготовку в приспособление. Вернуть и закрепить																	
Т Ф6	АБВГ. XXXXX.XXX	приспособление; АБВГ. XXXXX.XXX														штангенрейсмас		
Ф7																		
О Ф8	2. Распаять отв. Ф9 на проход предварительно																—	1,15
Т Ф9	АБВГ. XXXXX.XXX	Отправка распаяная; АБВГ. XXXXX.XXX														резец ВК6М		
Р 10					123	98	30	3	1	0,2	250	76						
11																		
О 12	3. Центровать под сверление десяти отв. Ф10 и двух отв. Ф22																—	0,9
Т 13	АБВГ. XXXXX.XXX	Втулка; АБВГ. XXXXX.XXX														центровочное сверло		
Р 14					124	30	30	5	1	100	500							
15																		
КТП																		

Рис. П.2.7. Пример оформления КТП





Форма 2а

ГОСТ 3.1404-86

По ГОСТ 3.1103-82

По ГОСТ 3.1103-82

По ГОСТ 3.1103-82

По ГОСТ 3.1103-82

Р	31	П	32	П	И	33	Д	И	И	В	34	L	35	T	36	I	37	S	38	П	39	σ	
01																							
02																							
03																							
04																							
05																							
06																							
07																							
08																							
09																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							

По ГОСТ 3.1103-82

297

210

8,5 × 18 = 153

4,25

5,5

5,5

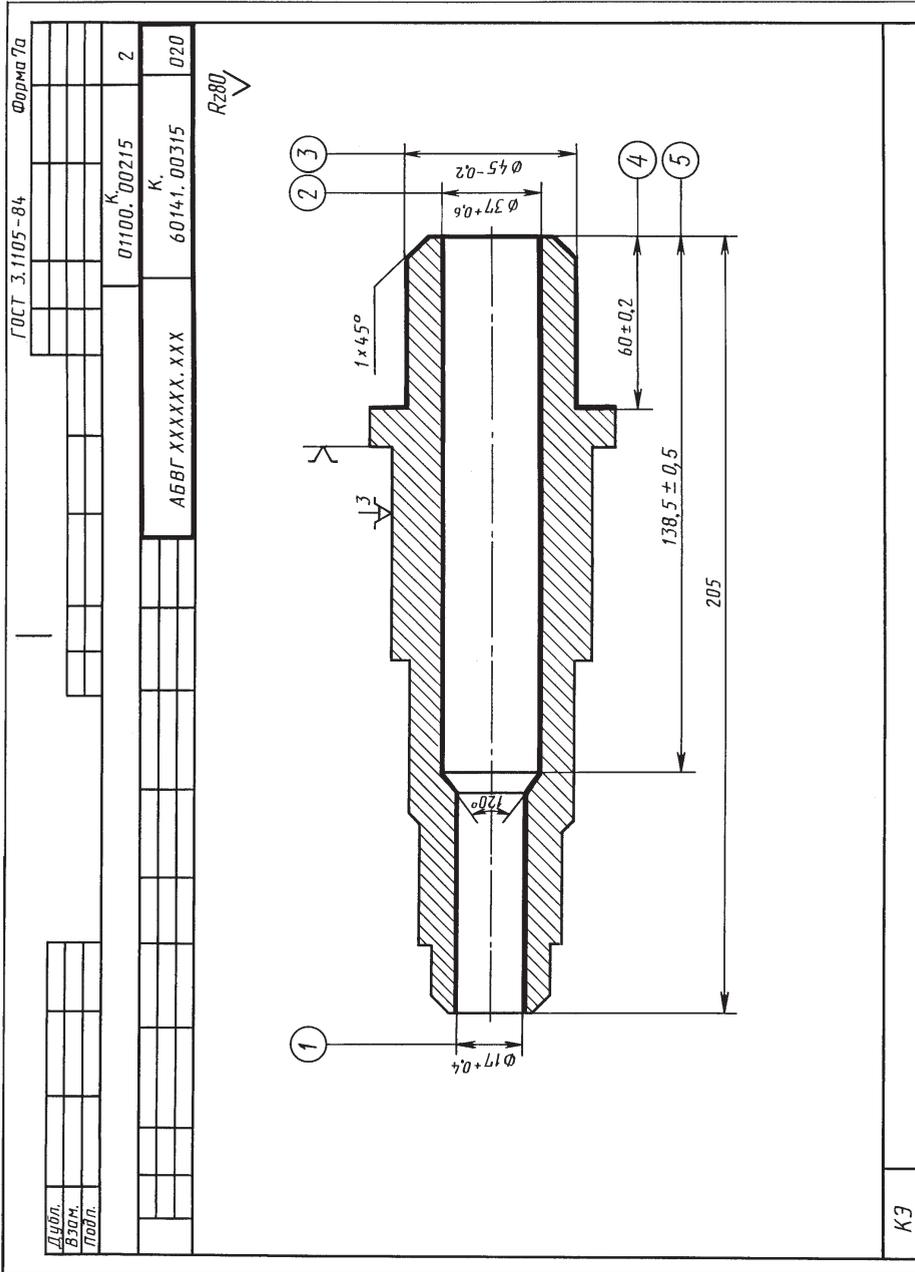
Рис. П.2.10. Бланк последующих листов ОК ф. 2а с обозначением полей

ГОСТ 3.1404-86		Форма 2	
Дубль.			
Взам.			
Подп.			
Разраб.	Иванов	10.12.85	К.
Нормир.	Васильева	11.12.85	
Н. контр.	Доронова	12.12.85	XXXXXX.XXXXXXXX
ИПО "РИТМ"		XXXXXX.XXXXXXXX	
АБВГ. XXXXXX.XXX		XXXXXX.XXXXXXXX	
П л и т а			
Наименование операции		Материал	
Фрезерная		30ХГСА	
Твердость	ЕВ МД	Профиль, разм. заготов.	МЭ
—	к2	Лист 208 x 160 x 30	3,150 1
Оборудование, устройство ЧПУ		Обозначение программы	
6Т12К-1; Н22-1М		XXXXXX.XXXXXXXX	
То	Тпз	Тшт.	Сож
5,04	2,38	3,15	8,27
Эмульсия			
Р	Д или в	Л	Т
0	Ф1	Фрезеровать полки по всей длине, выдерживая размеры 1 и 2	1,52 3,4
Т	Ф2	АБВГ. XXXXX.XXX тиски; АБВГ. XXXXX.XXX втулка; АБВГ. XXXXX.XXX фреза ВК8	
Ф3	АБВГ. XXXXX.XXX шаблон; АБВГ. XXXXX.XXX контрольное приспособление		
Р	Ф4	40 215 2.5 4 0,2 315 38	
Ф5			
0	Ф6	2. Контроль исполнителем	0,46 1,24
Ф7			
Ф8			
Ф9			
10			

Рис. П.2.11. Пример оформления ОК ф. 2 с полем для эскиза





КЭ

Рис. П.2.13. Карта эскизов для иллюстрации бестекстовой записи технологического процесса



# ОГЛАВЛЕНИЕ

.....

Предисловие.....	3
1. Виды изделий.....	5
2. Порядок создания нового изделия .....	6
3. Производственный процесс, структура машиностроительного предприятия .....	8
4. Технологический процесс и его структура.....	10
5. Правила записи содержания операций и переходов.....	13
6. Проектирование технологических процессов механической обработки .....	21
6.1. Факторы, влияющие на технологический процесс .....	21
6.2. Исходные данные для проектирования технологических процессов .....	22
6.3. Порядок разработки технологических процессов механической обработки .....	22
7. Анализ технологичности конструкции изделия .....	24
8. Типы производства и методы его работы .....	34
9. Выбор метода получения заготовки .....	38
10. Разработка технологического маршрута.....	40
11. Базирование и базы в машиностроении .....	43
11.1. Понятие базирования и базы .....	43
11.2. Основной принцип базирования и закрепления изделий при механической обработке (правило шести точек). Примеры базирования и закрепления твердых тел.....	43
11.3. Количество баз, необходимых и достаточных для базирования. Комплект баз .....	48
11.4. Стандартные базы. Классификация баз по ГОСТу .....	49
11.5. Нестандартные базы.....	53

11.6. Схемы базирования и установка заготовок на станках и в приспособлениях .....	60
11.7. Примеры оформления схем базирования и установка при обработке заготовок на токарных станках.....	67
11.8. Примеры оформления схем базирования и установка при обработке заготовок на сверлильных и фрезерных станках.....	74
11.9. Основные принципы базирования при механической обработке .....	76
12. Точность механической обработки .....	84
12.1. Точность и погрешность .....	85
12.2. Факторы, влияющие на точность изделий при механической обработке .....	86
12.3. Обеспечение точности механической обработки .....	101
13. Анализ точности механической обработки методами математической статистики.....	106
13.1. Анализ точности методом кривых распределения.....	107
13.2. Анализ точности методом точечных диаграмм .....	119
14. Припуски на механическую обработку .....	123
14.1. Общие термины и определения .....	123
14.2. Расчет припусков.....	127
15. Нормирование труда в машиностроении .....	130
15.1. Основные положения.....	130
15.2. Структура штучного времени .....	131
15.3. Методы определения нормы времени .....	135
15.4. Определение квалификации работы .....	136
16. Классификация технологических процессов механической обработки .....	138
17. Оформление технологической документации .....	147
Библиографический список .....	153
Приложение 1. Содержание информации, вносимой в графы, расположенные на строке .....	155
Приложение 2. Примеры оформления технологических карт .....	160

*Учебное издание*

**Антимонов** Алексей Михайлович

## ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Редактор *В. О. Корионова*  
Верстка *Е. В. Ровнушкиной*

Подписано в печать 10.07.2017. Формат 70×100 1/16.  
Бумага писчая. Цифровая печать. Усл. печ. л. 14,2.  
Уч.-изд. л. 8,3. Тираж 100 экз. Заказ 101.

Издательство Уральского университета  
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ  
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5  
Тел.: 8 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41  
E-mail: rio@urfu.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ  
620075, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4  
Тел.: 8 (343) 350-56-64, 350-90-13  
Факс: 8 (343) 358-93-06  
E-mail: press-urfu@mail.ru





### **АНТИМОНОВ Алексей Михайлович**

Доктор технических наук, профессор. Заведующий кафедрой технологии машиностроения Уральского федерального университета.

Главное направление научной деятельности — процессы и машины по обработке металлов давлением. Автор 70 научных трудов, 23 изобретений, 5 патентов. Являлся научным руководителем ряда НИР и ОКР по разработке технологий и проектирования оборудования для предприятий черной и цветной металлургии.

