

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

В. У. МНАЦАКАНЯН, В. В. МОРОЗОВ
А. Г. СХИРТЛАДЗЕ, В. А. ТИМИРЯЗЕВ

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебник

*Под редакцией доктора технических наук,
профессора В. А. Тимирязева*

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»



Владимир 2013

УДК 621.77
ББК 34.5
Т38

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор кафедры «Стандартизация, сертификация и управление качеством производства нефтегазового оборудования» Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина
О. А. Новиков

Доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Московского государственного технического университета («Станкин»)
В. П. Вороненко

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Мнацаканян, В.У.

Т38 Технология машиностроения: учебник / В.У. Мнацаканян [и др.]; под ред. В.А. Тимирязева; Владим. гос. ун-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2013. – 524 с. – ISBN 978-5-9984-0306-4.

Изложены основы разработки технологических процессов сборки машин и изготовления их деталей – корпусов, валов, зубчатых колес. Особое внимание уделено вопросам достижения требуемой точности, повышения производительности и снижения стоимости технологических процессов сборки и механообработки деталей машин. Приведены методики выявления и расчета конструкторских и технологических размерных цепей, позволяющие обосновать выбор метода достижения точности при сборке изделия и выбор технологических баз при изготовлении его деталей.

Предназначен для студентов машиностроительных вузов, проходящих обучение на уровнях бакалавра, дипломированного инженера и магистра наук и по направлению «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств».

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Ил. 204. Табл. 69. Библиогр.: 30 назв.

УДК 621.77
ББК 34.5

ISBN 978-5-9984-0306-4

© ВлГУ, 2013

ВВЕДЕНИЕ

Эффективное развитие хозяйственной деятельности страны во многом определяется техническим прогрессом машиностроительного производства. Машины выполняют различные технологические процессы по переработке предметов природы и созданию необходимых материальных благ, по оказанию помощи в труде, в транспортных операциях, в удовлетворении материальных и духовных запросов человека. Потребность общества в различных видах продукции, производимой с помощью машин, обуславливает необходимость создания новых машин различного служебного назначения и совершенствования технологий их изготовления.

Машиностроение можно назвать «главным технологом» всех отраслей хозяйственной деятельности. Увеличение выпуска продукции машиностроения и повышение ее качества осуществляются преимущественно за счет интенсификации производства на основе применения прогрессивных технологий, создаваемых на базе широкого использования достижений науки и техники.

Технический прогресс в машиностроении характеризуется не только созданием новых конструкций машин, но и непрерывным совершенствованием технологий их изготовления. Технология машиностроения представляет собой отрасль науки, которая занимается изучением закономерностей, действующих при изготовлении машин, с целью достижения требуемого качества машин с наименьшими затратами на их изготовление. Знание технологических закономерностей, действующих в процессе изготовления машин, считается основным условием рационального проектирования высокоэффективных технологических процессов. Для производства важным является качественно, экономично и в заданные сроки изготовить машину с минимальными затратами труда.

В учебнике с единых научных позиций изложены методы разработки технологических процессов сборки машин и технологиче-

ских процессов изготовления типовых деталей машин – корпусов, валов, шпинделей, ходовых винтов и деталей зубчатых передач. Приводимые в учебнике современные технологии механообработки и сборки ориентированы на условия как обычного, так и автоматизированного производства.

Особое внимание уделяется вопросам обеспечения точности изготовления деталей и сборки узлов машин. Излагаемый в учебнике материал опирается на современные методы теории баз, теории размерных цепей, методы управления технологическими, производственными процессами с широким применением ЭВМ, систем адаптивного управления и систем технической диагностики за состоянием оборудования.

Книга написана коллективом профессоров, представляющих технологические школы трех ведущих технических университетов – МГТУ «Станкин», Владимирского государственного университета и Московского государственного горного университета.

Учебник предназначен для студентов вузов, обучающихся по направлениям «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств»; «Автоматизация и управление» и специальностям «Технология машиностроения»; «Металлорежущие станки и инструменты»; «Автоматизация технологических процессов и производств», а также другим техническим специальностям. Книга представляет также интерес для широкого круга инженерно-технических работников заводов, проектных организаций и институтов, занимающихся вопросами технологического проектирования, автоматизацией и управлением производственными процессами в машиностроении.

РАЗДЕЛ 1. СБОРКА МАШИН

Технологический процесс сборки машин представляет собой совокупность сборочных операций, образуемых рядом переходов, которые представляют собой соединение отдельных деталей и сборочных единиц по контактируемым базовым поверхностям, в результате чего получают собираемое изделие. Для достижения требуемого качества изделия при сборке используют все пять методов достижения требуемой точности. В соответствии с этим в процессе сборки выполняют переходы, связанные с подбором деталей, регулированием, пригонкой, с фиксацией достигнутого относительного положения деталей и сборочных единиц. Технологический процесс сборки включает также переходы, связанные с контролем точности относительного положения и движения деталей, сборочных единиц, а также проверку правильности работы различных устройств и механизмов.

ГЛАВА 1. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ МАШИН

Разработку технологического процесса сборки машины следует выполнять в определенной последовательности по следующим этапам:

- 1) ознакомление со служебным назначением машины;
- 2) критический анализ технических требований на ее изготовление;
- 3) ознакомление с объемом выпуска и величиной серии;
- 4) ознакомление с рабочими чертежами и проведение размерного анализа; проработка изделия на технологичность;
- 5) составление схемы сборки;
- 6) написание технологии сборки, определение трудоемкости сборки;
- 7) выбор вида и организационной формы технологического процесса сборки, определение необходимого числа рабочих сборщиков;
- 8) составление технических заданий на проектирование сборочного оборудования и технологической оснастки.

Изучение служебного назначения машины является важным начальным этапом разработки технологического процесса ее изготовления. Полная, точная формулировка служебного назначения машины, содержащая численные значения ее основных функциональных пара-

метров, позволяет принимать правильные решения, начиная с первых ответственных этапов технологического проектирования. Ошибки, допущенные при определении служебного назначения, нередко приводят к неправильным технологическим решениям, что неизбежно отражается на качестве изготовления машины.

Для ознакомления с устройством машины и с функциями ее узлов и механизмов рассматривают конструкторскую документацию и рабочие чертежи машины. В комплект конструкторской документации, как правило, входят различные схемы (кинематическая, гидравлическая, электрическая), поясняющие принцип работы машины. Вначале следует рассматривать чертежи общей сборки машины, а затем сборочные чертежи ее основных узлов. При этом выявляют исполнительные поверхности машины, размерные и кинематические связи, существующие между ними.

Рассмотрим основные этапы разработки технологического процесса сборки машины на примере механизма перемещения пиноли задней бабки токарного полуавтомата, схема конструкции которого приведена на рис. 1.1.

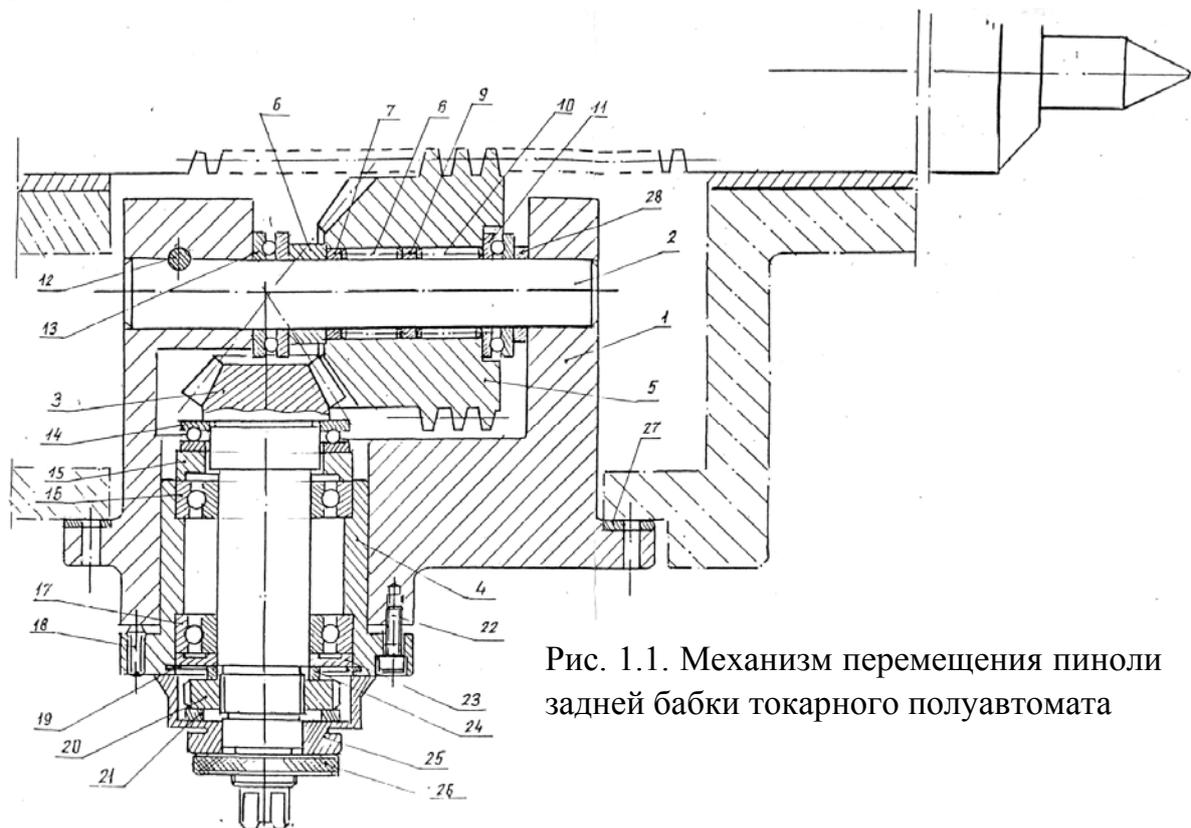


Рис. 1.1. Механизм перемещения пиноли задней бабки токарного полуавтомата

1.1. Служебное назначение машины и технические требования на ее изготовление

Каждая создаваемая машина предназначена для выполнения определенного процесса или задачи, при выполнении которой достигается необходимый результат. В соответствии с этим изучение служебного назначения машины следует начинать с ознакомления с результатами ее действия, которые должны оцениваться численными значениями соответствующих функциональных параметров.

Так, например, изучение служебного назначения металлорежущего станка следует начинать с ознакомления с геометрическими формами и размерами изготавливаемых на нем деталей и предъявляемых к ним требований точности. После чего необходимо проанализировать требования производительности обработки, потребляемой мощности, вида управления, надежности и др.

Различные машины выполняют свое служебное назначение при помощи исполнительных поверхностей, между которыми в процессе работы возникают размерные, кинематические, динамические, электрические и другие связи. У станков исполнительными поверхностями являются поверхности, определяющие положение обрабатываемой заготовки и режущего инструмента. При этом достигаемая на станке точность обработки определяется в основном действием размерных и кинематических связей. Поэтому при установлении соответствия служебного назначения машины с техническими требованиями на ее изготовление и нормами точности необходимо в первую очередь рассматривать размерные и кинематические связи, возникающие между исполнительными поверхностями. Требуемая точность относительно положения и движения исполнительных поверхностей, которые задаются как технические требования и нормы геометрической точности станка, определяется из условия обеспечения точности изготавливаемых деталей в соответствии со служебным назначением станка.

Формулировка служебного назначения машины должна включать также описание условий, при которых машина будет работать, выполняя свое служебное назначение. Эти условия обычно вытекают из характера процесса, выполняемого машиной. Для производящих машин, таких как металлорежущие станки, эти условия включают пре-

дельные отклонения параметров применяемых заготовок, режимы работы, потребляемую мощность, состояние окружающей среды и др.

Рассматриваемый в качестве примера механизм перемещения пиноли задней бабки токарного станка с ЧПУ (см. рис. 1.1) осуществляет установочное перемещение заднего центра на величину до 300 мм с точностью $\pm 0,5$ мм при ручном вращении выходного вала 3. Токарный станок с ЧПУ модели 1Б732 ФЗ, на котором установлен механизм, предназначен для обработки валов длиной от 300 до 2500 мм. Перемещение корпуса задней бабки по направляющим станка выполняется автоматически специальным приводом в соответствии с длиной обрабатываемого вала.

Исполнительной поверхностью рассматриваемого механизма является винтовая поверхность червяка-шестерни 5, который зацепляется с расположенной на пиноли зубчатой рейкой и при вращении осуществляет осевое перемещение пиноли. Червяк вращается под действием крутящего момента, передаваемого съемным ключом на вал-шестерню 3 и далее через пару конических колес на червяк и на расположенную на пиноли зубчатую рейку.

Основными базами, определяющими положение механизма на корпусе задней бабки, являются привалочная плоскость, на которой установлена прокладка 27, и два базовых отверстия под штифты. Таким образом, узел базируется по плоскости и двум отверстиям.

Переход от служебного назначения машины к техническим требованиям на ее изготовление в общем случае требует для каждого типа машины индивидуального рассмотрения. На рассматриваемый узел конструктором были установлены следующие технические требования:

1. Обеспечить правильное зацепление конических колес подбором колец компенсаторов 6, 28 и регулировкой винтами 18, определяющими осевое положение стакана 4. Проверка пятна контакта по краске.

2. Обеспечить качественное зацепление червяка 5 с зубчатой рейкой, расположенной на пиноли, путем подбора размера прокладки-компенсатора 27. Проверка пятна контакта по краске.

3. Обеспечить зазор между лимбом 25 и торцом стакана 4 в пределах 0,2 мм путем пригонки кольца компенсатора 21.

4. Обеспечить требуемый осевой натяг в подшипниках 11, 13, допускаемое осевое биение не более 0,02 мм.

1.2. Анализ соответствия и достаточности технических требований служебному назначению машины

Критический анализ технических требований необходимо выполнять на предмет их соответствия и достаточности служебному назначению изделия. Технические требования должны непосредственно вытекать из служебного назначения изделия, их выполнение обеспечивает формирование требуемого качества изделия. Однако необоснованно жесткие требования приводят к удорожанию изделия, а неопределенные требования, в которых отсутствуют значения допускаемых предельных отклонений, могут привести к снижению качества и вызывают сложности при сдаче изделия заказчику. При выявлении указанных несоответствий проводятся согласования с разработчиками конструкции, в результате чего в конструкторскую документацию вносится необходимая коррекция.

Анализ технических требований на рассматриваемый механизм (см. рис. 1.1) показывает, что приведенные требования в целом обоснованы. Технические требования 1 и 2 непосредственно вытекают из служебного назначения механизма. Выполнение этих требований определяет качество зацепления двух конических колес и червячной пары, через которые передается крутящий момент для осевого перемещения пиноли задней бабки.

При передаче крутящего момента на вал 3 съемным ключом от руки окружная скорость конических колес и червяка будет небольшой (менее 2 м/с). В соответствии с этим заданная в конструкции точность зубчатых передач, отвечающая требованиям служебного назначения механизма, составляет: для конических колес – 9-я степень, вид сопряжения С (ГОСТ 1758-81), а для червячной пары – 8-я степень, вид сопряжения С (ГОСТ 3675-81). Приведенные в пп. 3.2 и 3.3 рекомендации по выбору точности конических и червячных передач показывают, что эти требования также являются обоснованными.

Требование получения зазора в пределах 0,2 мм между лимбом 25 и торцом стакана 4, на котором нанесены деления, обусловлено необходимостью обеспечения легкости установки лимба для получения требуемой точности отсчета перемещений пиноли по углу поворота вала 3.

Требование создания в подшипниках 11, 13 необходимого осевого натяга, при котором допускаемое осевое биение не превышает 0,02 мм, также является обоснованным. Невыполнение этого требования влечет за собой изменение бокового зазора в конической и червячной передачах, что приводит к снижению качества зацепления и точности работы механизма.

Объем выпуска и величина серии рассматриваемого механизма соответственно составляют $N = 500$ шт./г. и $E = 2000$ шт. Ознакомление с этими данными позволяет выполнить расчеты по программе выпуска, т.е. определить объем выпуска изделий в квартал, в месяц, неделю, а также определить количество лет непрерывного выпуска изделий. В данном случае получаем четыре года $k = 2000/500 = 4$ г. Учитывая объем выпуска и характеристики изделия, можно сделать вывод, что создаваемое производство является серийным, оно может быть организовано по поточной форме. Для выполнения сборочных операций следует разработать и применять удобную производительную технологическую оснастку, затраты на которую будут компенсированы амортизационными отчислениями за четыре года ее эксплуатации.

1.3. Выбор методов достижения точности. Выявление и расчёт конструкторских размерных цепей

Ознакомление с рабочими чертежами и проведение размерного анализа проводят с целью выявления методов достижения точности, которые могут быть использованы при сборке машины, а также для проверки и коррекции проставляемых на чертежах размеров и допусков. С этой целью технические требования, связанные с необходимостью достижения в узле заданной точности определенного линейного или углового размера, формализуют как замыкающие звенья конструкторских размерных цепей. Эти цепи выявляют, а затем рассчитывают в номиналах и в допусках с учетом выбираемого метода достижения точности замыкающего звена. После этого необходимо сравнить данные по точности размеров деталей, полученные в результате расчета, с данными соответствующих размеров, указанными в чертежах. В случае расхождения производится согласование с конструктором.

ром и при необходимости в конструкторскую документацию вводится коррекция.

Рассмотрим методику проведения размерного анализа на примере приведенного механизма перемещения пиноли задней бабки (см. рис. 1.1).

При окружной скорости вращения менее 2 м/с точность зубчатых передач, отвечающая требованиям служебного назначения механизма, составляет: для конических колес – 9-я степень, вид сопряжения С (ГОСТ 1758-81); для червячной пары – 8-я степень, вид сопряжения С (ГОСТ 3675-81).

Для достижения требуемой точности зацепления двух конических колес необходимо обеспечить совпадение вершин их делительных конусов в двух координатных направлениях – размеры A_{Δ} и B_{Δ} (рис. 1.2), а также необходимый угол скрещивания β_{Δ} осей делительных конусов.

Совпадение вершин делительных конусов зависит от осевого смещения зубчатого венца колеса и шестерни. Колесом в данном случае является вал-шестерня, а роль шестерни выполняет шестерня-втулка. Согласно ГОСТ 1756-81 для конической передачи 9-й степени точности средний модуль $m_n = 3,5$, предельные осевые смещения зубчатого венца для колеса с углом делительного конуса $\varphi = 30^{\circ}$ и средним конусным расстоянием $R > 50$ мм составляют $f_{AM} = \pm 0,12$ мм, а для шестерни с углом $\varphi = 60^{\circ}$ $f_{AM} = \pm 0,05$ мм. Точность угла скрещивания β_{Δ} осей делительных конусов зависит от отклонения межосевого угла передачи. Согласно ГОСТ 1758-81 предельные отклонения межосевого угла рассматриваемой передачи, имеющей вид сопряжения С и среднее конусное расстояние $R < 100$ мм, при угле делительного конуса шестерни $\varphi = 60^{\circ}$ составляют $E_{\Sigma} = 0,032$ мм.

На рис. 1.2, а представлены схемы размерных цепей, определяющих совпадение вершин делительных конусов в горизонтальном направлении:

$$A_{\Delta} = -A_1 - A_2 - A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 ;$$

в вертикальном направлении

$$B_{\Delta} = -B_1 - B_2 - B_3 - B_4 - B_5 + B_6 + B_7 + B_8 + B_9 .$$

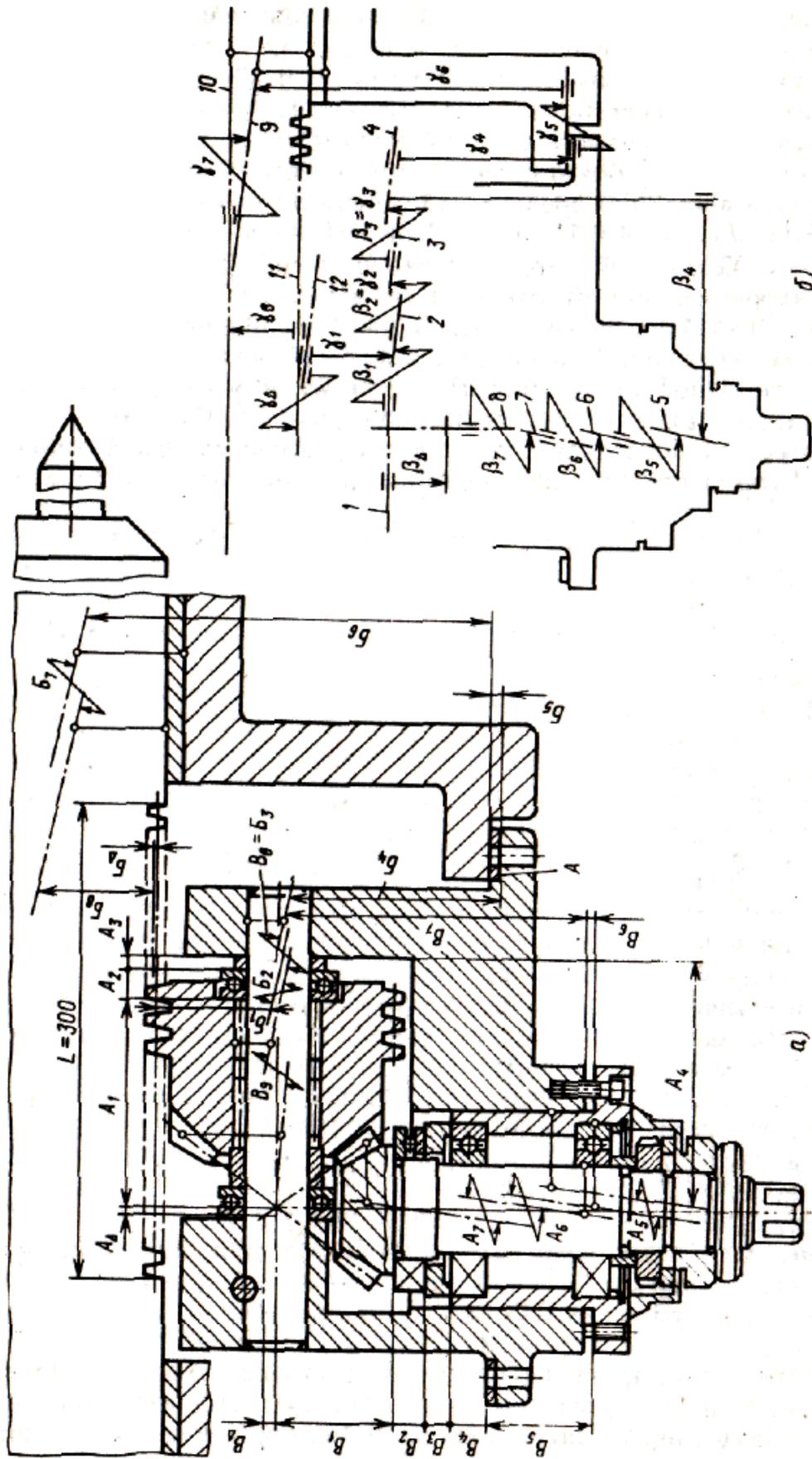


Рис. 1.2. Размерные связи механизма перемещения пиноли задней бабки: а – схема размерных связей, определяющих точность зацепления зубчатых передач; б – схема размерных связей, определяющих точность относительных поворотов: 1 – ось делительного конуса шестерни; 2 – ось базового отверстия шестерни; 3 – ось вала; 4, 5 – оси отверстия в корпусе; 6 – ось делительного конуса шестерни; 7 – ось опорных шеек вала; 8 – ось делительного конуса зубчатого колеса; 9 – ось отверстия в корпусе задней бабки; 10 – ось пиноли; 11 – образующая делительного цилиндра рейки; 12 – образующая делительного цилиндра червяка

При достижении точности по методу полной взаимозаменяемости, когда $T_{Acp} = T_{A\Delta} / (m - 1)$, средний допуск на составляющие звенья составит:

$$\text{для цепи } A \quad T_{Acp} = 0,1 / (8 - 1) = 0,014 \text{ мм};$$

$$\text{для цепи } B \quad T_{Bcp} = 0,24 / (10 - 1) = 0,026 \text{ мм}.$$

Полученные значения средних допусков в рассматриваемых двух многозвенных цепях являются достаточно жесткими, труднодостижимыми. Это обстоятельство вынуждает переходить на другой метод достижения точности. При методе неполной взаимозаменяемости средний допуск рассчитывают по формуле:

$$T_{Acp} = \frac{T_{A\Delta}}{t_{\Delta} \sqrt{\lambda^2 (m - 1)}}.$$

Для условий серийного производства, когда коэффициент $\lambda^2 = 1/6$ и принимаемый коэффициент риска $t = 3$, что соответствует 0,27 % возможного исправимого брака, получим:

$$\text{для цепи } A \quad T_{Acp} = \frac{0,10}{3\sqrt{1/6(8-1)}} = 0,03 \text{ мм};$$

$$\text{для цепи } B \quad T_{Bcp} = \frac{0,024}{3\sqrt{1/6(10-1)}} = 0,065 \text{ мм}.$$

Переход на метод неполной взаимозаменяемости позволил более чем в 2 раза расширить значение средних допусков по сравнению с методом полной взаимозаменяемости. Однако полученные средние допуски все еще остаются достаточно жесткими, экономически нецелесообразными. Поэтому представляется целесообразным рассмотреть возможность достижения точности методом регулировки. Анализ размерных связей показывает, что в конструкции механизма для решения рассматриваемых задач уже заложен метод регулировки. В размерной цепи A_{Δ} роль неподвижного компенсатора может выполнять промежуточное кольцо – звено A_3 , а в цепи B_{Δ} роль подвижных компенсаторов могут выполнять три регулировочных винта – звено B_6 . Для расчета по методу регулировки назначим на все звенья, в том числе и на размеры A_4, B_7 , относящиеся к корпусу, экономически целесообразные допуски (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Параметры точности составляющих звеньев размерных цепей A_{Δ} и B_{Δ}

Звено	Номинальное значение	Предельное отклонение		Допуск
		верхнее	нижнее	
Цепь A_{Δ}				
A_1	62	0,0	-0,14	0,14
A_2	11	0,0	-0,1	0,1
A_3	5	0,0	-0,01	0,01
A_4	78	+0,04	-0,04	0,08
A_5	0	+0,005	-0,005	0,01
A_6	0	+0,005	-0,005	0,01
A_7	0	+0,01	-0,01	0,02
Цепь B_{Δ}				
B_1	42	0	-0,15	0,15
B_2	11	0	-0,1	0,1
B_3	7	+0,025	-0,025	0,05
B_4	15	0	-0,1	0,1
B_5	41	+0,1	-0,1	0,2
B_6	4	Компенсатор		$T_{\text{ном}}$
B_7	112	+0,3	-0,3	0,6
B_8	0	+0,01	-0,01	0,02
B_9	0	+0,01	-0,01	0,02

Наибольшая возможная величина компенсации составит

$$T_k = \sum_{i=1}^{m-1} T'_{A_i} - T_{A_{\Delta}},$$

и для размерной цепи A_{Δ} получим $T_k = 0,37 - 0,1 = 0,27$ мм.

Число групп компенсаторов определяем по формуле

$$N = \frac{T_k}{T_{A_{\Delta}} - T_{\text{ком}}} + 1,$$

где $T_{\text{ком}}$ – допуск на компенсатор.

При допуске на звено - компенсатор $T_{\text{ком}} = 0,01$ мм получим

$$N = \frac{0,27}{0,1 - 0,01} + 1 = 4.$$

Предельные отклонения звена компенсатора A_3 рассчитываем по формулам, предложенным профессором Л. А. Глейзером:

$$\Delta_K^e = \Delta_\Delta^e - \Delta_\Delta^e + T_{\text{ком}}; \quad (1.1)$$

$$\Delta_K^h = \Delta_\Delta^h - \Delta_\Delta^h - T_{\text{ком}}; \quad (1.2)$$

где $\Delta_\Delta^e, \Delta_\Delta^h$ – допускаемые предельные отклонения на замыкающем звене; $\Delta_\Delta^e, \Delta_\Delta^h$ – предельные отклонения на замыкающем звене, получаемые при расширенных допусках без применения компенсатора.

Предельные отклонения, получаемые на замыкающем звене без компенсатора при расширенных допусках на составляющих звеньях, можно рассчитать:

$$\Delta_\Delta^e = \sum_{i=1}^{i=k} \vec{\Delta}_i^e - \sum_{k+1}^{m-2} \overleftarrow{\Delta}_i^h; \quad (1.3)$$

$$\Delta_\Delta^h = \sum_{i=1}^{i=k} \vec{\Delta}_i^h - \sum_{k+1}^{m-2} \overleftarrow{\Delta}_i^e, \quad (1.4)$$

где $\Delta_\Delta^e, \Delta_\Delta^h$ – предельные отклонения составляющих звеньев;

k – число увеличивающих звеньев размерной цепи.

Подставив в (1.3) и (1.4) соответствующие значения отклонений, получим: $\Delta_\Delta^e = (0,04 + 0,005 + 0,005 + 0,01) - (-0,14 - 0,1) = 0,3$ мм;

$$\Delta_\Delta^h = (-0,04 - 0,005 - 0,005 - 0,01) - (0 + 0) = -0,06$$
 мм.

С учетом найденных значений $\Delta_\Delta^e = 0,3$ мм, $\Delta_\Delta^h = -0,06$ мм из выражений (1.1), (1.2) получим: $\Delta_K^e = 0,30 - 0,05 + 0,01 = 0,26$ мм;

$$\Delta_K^h = -0,06 + 0,05 - 0,01 = -0,02$$
 мм.

Величина ступени компенсации, определяющая разность между размерами компенсаторов каждой последующей ступени, составляет:

$$P = \frac{\Delta_\Delta^e - \Delta_\Delta^h}{N}.$$

Для данного примера получим

$$P = (0,3 - (-0,06)) / 4 = 0,09$$
 мм.

Определив число групп компенсаторов, их предельные отклонения Δ_k^e, Δ_k^h и величину ступени компенсации P , составим таблицу (табл. 1.2).

Таблица 1.2. Отклонения размеров для четырех групп компенсаторов

Номер группы	I	II	III	IV
Верхнее отклонение Δ_k^6	- 0,01	+ 0,08	+ 0,18	+ 0,26
Нижнее отклонение Δ_k''	- 0,02	+ 0,07	+ 0,17	+ 0,25

Таким образом, для использования при сборке метода регулировки изготавливают четыре группы компенсаторов следующих размеров:

Номер группы	I	II	III	IV
Размер, мм	$5_{-0,02}^{-0,01}$	$5_{+0,07}^{+0,08}$	$5_{+0,17}^{+0,18}$	$5_{+0,25}^{+0,26}$

Для составления таблицы, определяющей соответствие измеренного отклонения на замыкающем звене Δ'_Δ и применяемого компенсатора разделим диапазон отклонений замыкающего звена Δ_k^6 , Δ_k'' , рассчитанного согласно (1.3), (1,4), на четыре интервала (табл. 1.3).

Таблица 1.3. Соответствие измеренного отклонения на замыкающем звене Δ'_Δ и применяемого компенсатора

Диапазон отклонений на замыкающем звене	-0,06...0,03	0,03...0,12	0,12...0,21	0,21...0,03
Применяемый компенсатор (№ группы)	I	II	III	IV
Размер компенсатора	$5_{-0,02}^{-0,01}$	$5_{+0,07}^{+0,08}$	$5_{+0,17}^{+0,18}$	$5_{+0,25}^{+0,26}$

Правильность расчета размерной цепи A_Δ , т.е. правильность расчета размеров четырех групп компенсаторов, обеспечивающих совпадение вершин делительных конусов двух конических колес по горизонтали, можно проверить следующим способом. Для этого многозвенную размерную цепь A_Δ путем суммирования звеньев приводят к трехзвенной цепи

$$A_\Delta = \vec{A}_\Sigma + \vec{A}_k, \quad (1.5)$$

где \vec{A}_Σ – сумма составляющих звеньев цепи без звена компенсатора

$$\vec{A}_\Sigma = -A_1 - A_2 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7;$$

\vec{A}_k – звено-компенсатор, которое в данной цепи является уменьшающим.

Тогда согласно (1.5) предельные отклонения на замыкающем звене при выборе соответствующего компенсатора составят:

$$\text{верхнее} \quad \Delta_{\Delta}^{\epsilon} = \bar{\Delta}_{\Sigma}^{\epsilon} - \bar{\Delta}_{\kappa}^{\eta}; \quad (1.6)$$

$$\text{нижнее} \quad \Delta_{\Delta}^{\eta} = \bar{\Delta}_{\Sigma}^{\eta} - \bar{\Delta}_{\kappa}^{\epsilon}, \quad (1.7)$$

где $\bar{\Delta}_{\Sigma}^{\epsilon}, \bar{\Delta}_{\Sigma}^{\eta}$ – предельные отклонения суммарного звена \bar{A}_{Σ} ;

$\bar{\Delta}_{\kappa}^{\epsilon}, \bar{\Delta}_{\kappa}^{\eta}$ – предельные отклонения звена компенсатора.

Подставив в (1.6), (1.7) приведенные в табл. 1.3 соответствия предельные отклонения замыкающего звена $\Delta_{\Delta}^{\epsilon}, \Delta_{\Delta}^{\eta}$ и соответствующего компенсатора, получим:

Для компенсаторов группы № 1:

$$\Delta_{\Delta}^{\epsilon} = 0,03 - (-0,02) = 0,05; \quad \Delta_{\Delta}^{\eta} = -0,06 - (-0,01) = -0,05.$$

.....

Для компенсаторов группы № 4:

$$\Delta_{\Delta}^{\epsilon} = 0,3 - (0,25) = 0,05; \quad \Delta_{\Delta}^{\eta} = 0,21 - 0,26 = -0,05.$$

Получаемые требуемые предельные отклонения замыкающего звена $\Delta_{\Delta}^{\epsilon} = 0,05; \Delta_{\Delta}^{\eta} = -0,05$ при использовании всех четырех групп компенсаторов свидетельствуют о правильности выполненного расчета.

Таким образом, требуемая точность замыкающего звена в размерной цепи A_{Δ} достигается путем подбора из четырех групп необходимого кольца (компенсатора), а в размерной цепи B_{Δ} – путем смещения в осевом направлении стакана с валом-шестерней на требуемую величину.

Качество зацепления конической пары зависит также от достижения требуемого межосевого угла β_{Δ} (см. рис. 1.2, б).

Размерная цепь β_{Δ} , определяющая межосевой угол (угол скрещивания осей делительных конусов) имеет вид

$$\beta_{\Delta} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_4 - \beta_5 - \beta_6 - \beta_7.$$

В приведенной цепи звено β_4 является угловым размером корпусной детали, который характеризует точность поворота оси одного главного отверстия относительно другого. Для рассматриваемой ортогональной конической передачи 9-С (ГОСТ 1758-81) предельные отклонения межосевого угла составляют $E_{\Sigma} = \pm 0,03$ мм на длине среднего конусного расстояния $L = 50$ мм. Точность исходного замыкающего звена

$$T_{\beta_{\Delta}} = 0,12/100, \Delta^{\epsilon}_{\beta_{\Delta}} = 0,06/100, \Delta^H_{\beta_{\Delta}} = -0,06/100.$$

Требуемая точность замыкающего звена β_{Δ} достигается методом полной взаимозаменяемости. Средний допуск на составляющие звенья

$$T_{\beta_{\text{ср}}} = T_{\beta_{\Delta}} / (m - 1) = 0,12 / (8 - 1) = 0,017 / 100.$$

При указанной ниже точности на составляющие звенья, на замыкающем звене получим $T_{\beta_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{i=m-1} T_{\beta_i}$ (табл. 1.4):

Таблица 1.4. Точность составляющих звеньев

Звено	β_1	β_2	β_3	β_4
Предельное отклонение	$\pm 0,01/100$	$\pm 0,005/100$	$\pm 0,005/100$	$\pm 0,015/100$
Допуск	0,02/100	0,01/100	0,01/100	0,03/100
Звено	β_5	β_6	β_7	
Предельное отклонение	$\pm 0,01/100$	$\pm 0,005/100$	$\pm 0,01/100$	
Допуск	0,02/100	0,01/100	0,02/100	

$$T_{\beta_{\Delta}} = 0,02/100 + 0,01/100 + 0,01/100 + 0,03/100 + + 0,02/100 + + 0,01/100 + 0,02/100 = 0,12/100.$$

Значения предельных отклонений составят:

$$\text{верхнее} \quad \Delta^{\epsilon}_{\beta_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{i=k} \bar{\Delta}^{\epsilon}_{\beta_i} - \sum_{i=k+1}^{i=m-1} \bar{\Delta}^H_{\beta_i};$$

$$\Delta^{\epsilon}_{\beta_{\Delta}} = (0,01/100 + 0,005/100 + 0,005/100) - (-0,015/100 - 0,01/100 - -0,005/100 - 0,01/100) = 0,05 / 100;$$

$$\text{нижнее} \quad \Delta^H_{\beta_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{i=k} \bar{\Delta}^H_{\beta_i} - \sum_{i=k+1}^{i=m-1} \bar{\Delta}^{\epsilon}_{\beta_i}$$

$$\Delta^H_{\beta_{\Delta}} = (-0,01/100 - 0,005/100 - 0,005/100) - (0,015/100 + 0,01/100 + 0,005/100 + + 0,01/100) = -0,06 / 100.$$

Для достижения качественного зацепления червяка и рейки необходимо обеспечить совпадение образующих делительных окружностей червяка и рейки – замыкающее звено B_{Δ} (см. рис. 1.2, а). Детали узла, размеры которых оказывают непосредственное влияние на решение этой задачи, показывает размерная цепь

$$B_{\Delta} = -B_1 - B_2 - B_3 - B_4 + [B_5] + B_6 - B_7 - B_8.$$

Качественное зацепление червяка и рейки зависит также от параллельности образующей делительного цилиндра червяка относительно образующей делительного цилиндра рейки γ_{Δ} (см. рис. 1.2, б)

$$\gamma_{\Delta} = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 + \gamma_5 + \gamma_6 - \gamma_7 - \gamma_8.$$

Для червячной передачи 9-й степени точности допуски и предельные отклонения на исходные звенья B_{Δ} и γ_{Δ} согласно ГОСТ 3675-81 составят:

$$T_{B_{\Delta}} = 0,26 \text{ мм}; \quad \Delta^s_{B_{\Delta}} = 0,13 \text{ мм}; \quad \Delta^H_{B_{\Delta}} = -0,13 \text{ мм};$$

$$T_{\gamma_{\Delta}} = 0,11/100; \quad \Delta^s_{\gamma_{\Delta}} = 0,055/100; \quad \Delta^H_{\gamma_{\Delta}} = -0,055/100.$$

Точность замыкающего звена B_{Δ} достигается при сборке методом регулировки с использованием неподвижных компенсаторов $[B_5]$, роль которых выполняют прокладки. Число групп прокладок $N = 2$. В этом случае размер B_4 корпусной детали необходимо обеспечить с точностью $T_{B_4} = 0,06$ мм. Точность относительного поворота γ_{Δ} обеспечивается по методу полной взаимозаменяемости, при этом у корпусной детали (звено γ_4) отклонение от параллельности оси отверстия относительно плоскости не должно превышать $T_{\lambda_4} = 0,03/100$.

1.4. Разработка схемы сборки

Создание машины (изделия) достигают путем последовательного соединения комплектующих деталей, которые в процессе сборки образуют сборочные единицы. Различные по конструкции изделия машиностроения в общем случае структурно образуют следующие по возрастанию сложности сборочные единицы:

1 – детали; 2 – комплекты; 3- подузлы; 4 – узлы; 5 – изделие.

Основой каждой из сборочных единиц является базирующая деталь, функция которой заключается не только в соединении отдельных деталей, но и в придании им требуемой точности относительного положения.

Деталь – это элементарная сборочная единица. *Комплект* представляет собой сборочную единицу, в состав которой входят одна базирующая деталь и хотя бы одна или несколько отдельных присоединяемых деталей. *Подузлом* называют сборочную единицу, состоящую

из базирующей детали, на которую монтируют один или несколько комплектов, а также одну или несколько отдельных присоединяемых деталей. Узел представляет собой сборочную единицу, в состав которой входит базирующая деталь, на которую устанавливаются один или несколько подузлов, а также один или несколько комплектов и одиночных присоединяемых деталей.

В зависимости от сложности изделия узлы дополнительно могут быть разделены на узлы *первого, второго или третьего* порядка сложности. Узел *второго* порядка считается более сложной сборочной единицей, на базирующей детали которого должны быть смонтированы один или несколько узлов первого порядка, подузлы, комплекты и отдельные детали. В сложных машинах и агрегатах приходится вводить деление и на узлы более высоких порядков.

Наиболее сложной последней сборочной единицей можно назвать *изделие* (машина), которое включает в себя все предшествующие более простые сборочные единицы, включая и узлы высшего порядка. Таким образом в основу формирования каждой последующей сборочной единицы положено присоединение к ее базирующей детали предшествующих более простых сборочных единиц. Каждая последующая более сложная сборочная единица должна содержать не менее одной предшествующей сборочной единицы.

На рис. 1.3 для примера представлены сборочные единицы универсального токарного станка. Отдельными деталями являются винты, втулки, резцедержавка, ось, верхняя каретка суппорта. Резцедержавка как базирующая деталь после запрессовки в нее четырех втулок и установки винтов для крепления резцов образует комплект. В свою очередь, верхняя каретка суппорта после запрессовки в нее оси для поворота резцедержавки образует другой комплект. В результате установки резцедержавки на верхнюю каретку суппорта и присоединения отдельных деталей – винта и рукоятки образуется подузел, базирующей деталью которого служит верхняя каретка суппорта. Базирующей деталью узла первого порядка будет продольная каретка, на которую последовательно установлены поперечная каретка, ходовой винт с маховиком и подузел верхней каретки суппорта. Узел второго порядка образуется в результате присоединения к узлу первого порядка сложности дополнительного узла – фартука в сборе.

Базирующей деталью всего станка (машины) является станина, на которую монтируются также другие узлы и отдельные детали – передняя бабка со шпинделем, задняя бабка, коробка подач с ходовым винтом и ходовым валиком, кронштейн, корыто и др.

В соответствии с принятым делением машины на сборочные единицы различают общую сборку машины, сборку узлов, подузлов, сборку комплектов. На общую сборку поступают все предварительно собранные сборочные единицы и отдельные комплектующие детали, которые с требуемой точностью монтируют на базирующую деталь машины – на станину или раму. При сборке узлов (узловая сборка) на базирующую деталь узла, например в корпус, монтируют все комплекты и отдельные детали, входящие в данный узел. В процессе сборки комплектов (комплектная сборка) производят соединение всех деталей, образующих данный комплект, и фиксацию требуемой точности их относительного положения.

Для выявления последовательности сборки машины необходимо проанализировать ее конструкцию, определить состав входящих в машину сборочных единиц – узлов, подузлов, комплектов и отдельно входящих деталей. Необходимо выявить также базирующие детали у

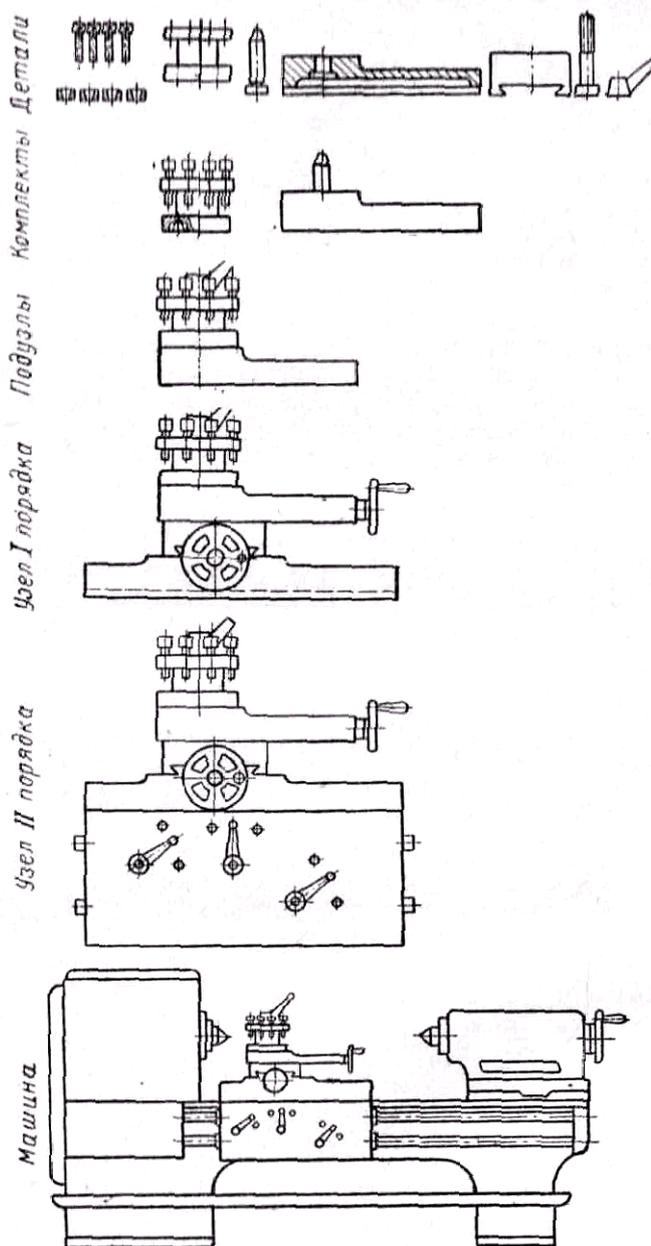


Рис. 1.3. Виды сборочных единиц

каждой сборочной единицы и базовые поверхности, образующие комплект основных баз этих деталей. Для выявления последовательности сборки необходимо также знать выбираемые методы достижения точности, которые обеспечивают достижение заданных технических требований на собираемое изделие.

Разнообразие конструкций изготавливаемых машин исключает возможность выдачи однозначных рекомендаций по разработке последовательности их сборки. Установление последовательности сборки машины в первую очередь зависит от особенности ее конструкции и заложенных в ней методов достижения точности. Однако можно сформулировать основные общие положения, которые следует соблюдать при разработке последовательности сборки различных машин. Эти общие положения изложены ниже.

1. Вначале необходимо определить последовательность общей сборки машины, а затем последовательность сборки каждого из входящих в нее узлов, подузлов, комплектов и отдельных деталей.

2. Сборку любой сборочной единицы – комплекта, подузла, узла, изделия следует начинать с установки ее базирующей детали. В соответствии с этим общую сборку машины начинают с установки станины, рамы или другого ее основания. Сборку узла или подузла начинают с установки корпуса, плиты, кронштейна или иной базирующей детали. Базирующие детали необходимо устанавливать в положении, удобном для выполнения требуемых сборочных переходов. С этой целью используют сборочные стенды или специальные опорные элементы, позволяющие правильно выставить базирующую деталь и повысить жесткость изделия в процессе сборки.

На установленную базирующую деталь последовательно устанавливают все сборочные единицы и детали.

3. В первую очередь собирают наиболее ответственные сборочные единицы, размеры деталей которых являются общими звеньями нескольких функционально важных размерных цепей собираемого изделия. Затем собирают другие, менее ответственные сборочные единицы и детали. Так, например, при общей сборке токарного станка (см. рис. 1.3) на станину вначале устанавливают переднюю бабку со шпинделем, затем продольную каретку с суппортом, через которые проходят общие звенья функционально важных размерных цепей.

4. Детали, размеры и относительные повороты которых участвуют в формировании параллельно связанных размерных цепей как общие звенья, следует монтировать в первую очередь.

5. Последовательность установки деталей при сборке должна быть такой, чтобы ранее смонтированные детали не мешали установке всех последующих деталей. Например, вначале на вал устанавливают шпонку, а затем зубчатое колесо, передающее крутящий момент. Подшипники на крайние опорные шейки вала монтируют в последнюю очередь, после установки на вал шпонок, зубчатых колес и промежуточных втулок. Крышки в корпусные детали устанавливают после монтажа в корпус предварительно собранных валов.

6. Детали, выполняющие роль компенсатора при достижении точности замыкающего звена, обычно устанавливают в последнюю очередь, после монтажа всех деталей данной размерной цепи.

7. В процессе сборки машины в отдельных случаях вынуждены предусматривать частичную разборку некоторых деталей. Однако необходимо стремиться к тому, чтобы технологические переходы, связанные с частичной разборкой, были минимальными.

8. Пригоночные работы, связанные со снятием металла и образованием стружки, необходимо выполнять вне собираемого объекта.

9. Разрабатываемая последовательность общей сборки машины и ее сборочных единиц должна соответствовать выбранному виду и форме организации производственного процесса изготовления изделий.

Намеченную последовательность сборки изделия обычно проверяют на реальной машине, после чего в технологию сборки могут быть внесены определенные поправки.

Разработанную последовательность сборки машины отображают графически в виде схемы сборки, которая служит наглядным оперативным документом, используемым для написания техпроцесса сборки и ознакомления с общей последовательностью сборки нового изделия. Схему сборки используют также для комплектования создаваемых сборочных единиц и организации подачи собираемых деталей на соответствующие рабочие места.

Рассмотрим построение схемы сборки на примере механизма перемещения пиноли задней бабки (см. рис. 1.1). Схема сборки этого узла представлена на рис. 1.4.

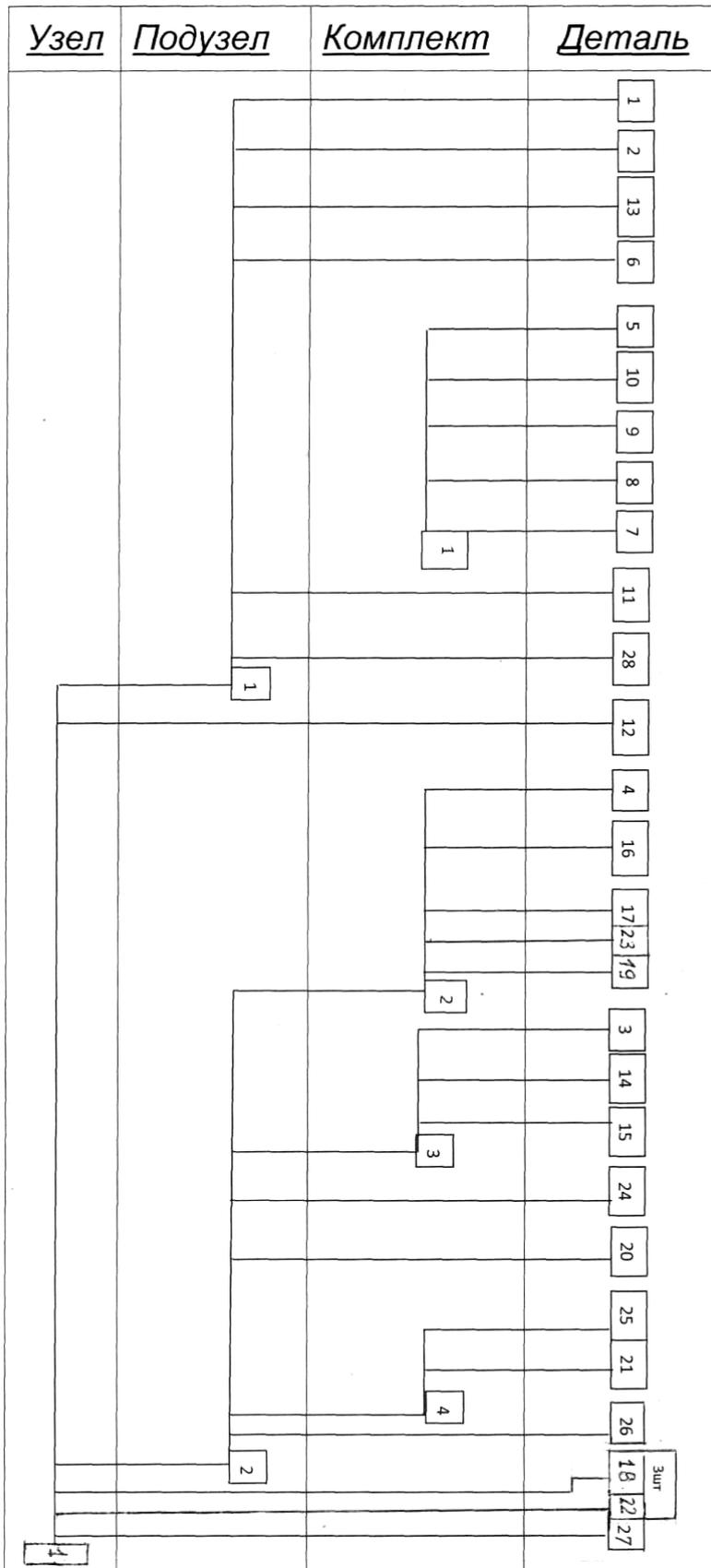


Рис. 1.4. Схема сборки механизма перемещения пиноли задней бабки

Все сборочные единицы согласно категории их сложности располагают на четырех уровнях. На первом уровне, по горизонтали, в соответствии с последовательностью сборки располагают детали, каждая из которых обозначается своим номером, указанным на чертеже общей сборки (см. рис. 1.1). Каждой комплектующей детали соответствует квадрат, в котором помимо порядкового номера детали может быть указано количество поступающих на сборку деталей и их название. На втором уровне располагают комплекты, каждому из которых присваивают порядковый номер, соответствующий последовательности его сборки. На третьем и четвертом уровнях располагают соответственно подузлы и узлы под номерами, определяющими последовательность их сборки. При наличии в сложных конструкциях узлов первого, второго или третьего порядка сложности на схеме сборки предусматривают большее число уровней, т.е. увеличивают количество горизонтальных полос. На последнем уровне сложности отображается собираемое изделие (машина).

Формирование каждой сборочной единицы на схеме отображают начиная с ее базирующей детали, которая вертикальной линией первой сносится на соответствующий ей уровень – комплекта, подузла, узла или изделия. Затем аналогично на этот уровень вертикальными линиями сносят все присоединяемые детали, входящие в данную сборочную единицу. Присоединяемые детали отображают на схеме непосредственно за базирующей деталью в соответствии с последовательностью их установки. В результате полученная сборочная единица отображается квадратом с определенным порядковым номером, например, комплект 1, 2,...4.

Формирование более сложных сборочных единиц отображается на схеме аналогично путем сноска вертикальными линиями полученных ранее сборочных единиц на соответствующий уровень подузла, узла или изделия. Так, например, приведенная схема сборки (рис. 1.4) показывает, что механизм перемещения пиноли включает два подузла.

Базовой деталью подузла 1 является корпус механизма. Подузел 1 включает несколько одиночных деталей и комплект 1, у которого базовой деталью является червяк-шестерня 5. Подузел 2 представляет собой стакан в сборе, у которого базовой деталью является стакан 4. В состав второго подузла входят комплекты 2, 3, 4 и несколько одиночных деталей.

При необходимости на схеме отображается также частичная разборка. Ее показывают вертикальными линиями, которые показывают возврат отдельных деталей и сборочных единиц на предшествующий уровень меньшей сложности.

1.5. Выбор организационной формы технологического процесса сборки

Технологический процесс сборки изделия может быть организован по поточной и непоточной форме, при этом сборка может быть как стационарной, так и подвижной. В свою очередь, перемещение собираемого изделия от одной позиции к другой может осуществляться периодически или постоянно. Определяющими факторами при выборе формы организации и вида процесса сборки машины являются данные по программе выпуска (количество изделий, подлежащих изготовлению в единицу времени и по неизменяемым чертежам), а также особенности конструкции машины – ее габаритные размеры, масса, жесткость, удобство для транспортирования.

Целесообразность выбора той или иной организационной формы и вида производственного процесса сборки должна быть обоснована технико-экономическими расчетами, в которых одновременно учитываются конструкторско-технологические и экономические факторы.

В случае, когда имеет место большой объем выпуска машин или других сборочных единиц, экономически целесообразным считается поточная форма организации процесса сборки, для которой характерно соблюдение постоянства такта выпуска изделий. Эту форму организации применяют в крупносерийном и массовом производстве. Ее отличительной особенностью является постоянное или периодическое движение собираемого объекта или рабочих сборщиков по ходу выполнения процесса от одной рабочей позиции к другой.

Для организации поточной сборки рассчитывают такт выпуска изделия

$$T = \frac{60 \cdot F \cdot \eta}{N}, \quad (1.8)$$

где F – годовой фонд времени, ч;

N – программа выпуска, шт./г.;

η – коэффициент использования годового фонда времени.

С уменьшением объема выпуска машин поточная сборка становится экономически нецелесообразной, поэтому следует переходить на непоточную форму организации процесса сборки, для которой не требуется соблюдение постоянства такта выпуска изделий. Непоточную стационарную сборку применяют при изготовлении машин в малых количествах, в мелкосерийном и единичном производстве. Все комплектующие сборочные единицы и детали подаются на одно рабочее место или сборочный стенд, где от начала и до конца осуществляется сборка изделия.

Рабочий или бригада рабочих выполняют сборку на одном объекте. Выполняемые переходы распределяются между рабочими бригадиром или мастером участка. Для облегчения труда и повышения производительности рабочее место обычно оборудуют универсальными приспособлениями и подъемно-транспортными средствами.

Проведение всей сборки на одном объекте бригадой рабочих ограничивает возможности параллельного выполнения совмещенных во времени сборочных переходов. Это объясняется ограниченностью рабочей зоны и отсутствием физической возможности размещения большого числа рабочих. В результате этого значительное число переходов приходится выполнять последовательно, что влечет за собой удлинение продолжительности цикла сборки. Все это приводит к колебаниям фактической трудоемкости и цикла сборки, а следовательно, к неравномерному выпуску изделий в единицу времени и сравнительно невысоким технико-экономическим показателям.

С увеличением количества собираемых изделий представляется целесообразным перейти к более эффективной, подвижной непоточной сборке.

Отличительной особенностью организации такого сборочного производства можно назвать наличие транспортных устройств, обеспечивающих перемещение собираемых объектов от одного рабочего места к другому. В качестве транспортных средств используют склизы, рольганги, ленточные транспортеры, а также различного рода тележки (спутники), перемещающиеся по рельсам, закрепленным на полу или подвешенным к потолку цеха.

Транспортные устройства последовательно связывают отдельные рабочие места, расположенные по ходу техпроцесса сборки, в одну

систему. Таким образом создается взаимосвязь между рабочими, занятыми на смежных операциях. Сборочные операции выполняются при этом параллельно-последовательно отдельными рабочими или бригадой на определенных рабочих местах, которые располагают вдоль транспортного устройства или непосредственно на его линии.

Рабочие места оборудуют необходимыми верстаками, монтажно-сборочным и контрольно-измерительным инструментами, а также стеллажами для монтируемых сборочных единиц и деталей. Каждый рабочий таким образом специализируется на выполнении определенной операции. Он выполняет все предусмотренные на его позиции сборочные переходы, а затем перемещает собираемый объект с помощью транспортера по направлению к следующему рабочему месту. Все это оказывает существенное влияние на сокращение затрат времени и повышение производительности по сравнению с непоточной стационарной сборкой.

При непоточной подвижной сборке фактическая продолжительность выполнения каждой операции может колебаться. Она зависит от квалификации рабочего, интенсивности его труда, а также от качества поступающих деталей и сборочных единиц. С целью компенсации колебания времени выполнения сборочных операций между рабочими местами создают небольшие межоперационные заделы собираемых объектов.

Использование межоперационных заделов позволяет уменьшить, а в ряде случаев и вообще исключить простои сборщиков, связанные с неритмичностью поступления собираемых объектов с предшествующих рабочих мест. Каждый из сборщиков, закончивший свою операцию раньше сборщика, работающего на предыдущем рабочем месте, может продолжать свою работу, используя межоперационный задел, без потери времени на ожидание. При этом целесообразное количество собираемых объектов, составляющих межоперационные заделы, может быть рассчитано заранее с учетом возможных колебаний продолжительности отдельных операций. Все это способствует повышению производительности труда сборщиков и выравниванию штучного выпуска собираемых изделий в единицу времени.

Таким образом, несмотря на дополнительные затраты, связанные с установкой транспортных устройств, непоточная подвижная сборка

оказывается более эффективной по сравнению со стационарной непоточной сборкой. Она способствует повышению производительности труда и других технико-экономических показателей.

Подвижную сборку можно осуществлять для машин, имеющих достаточно жесткую конструкцию и сравнительно небольшую массу. Для машин, не имеющих достаточную жесткость, рекомендуется применять сборку с периодическим перемещением собираемого объекта. В этом случае собираемый объект на рабочих местах останавливается и все сборочные операции выполняют при его неподвижном состоянии. В результате значительно снижается влияние упругих деформаций недостаточно жестких базирующих деталей на точность собираемого изделия.

Крупногабаритные машины, а также машины большой массы монтируют с использованием стационарной сборки, при которой все собираемые объекты остаются на рабочих местах или стендах на протяжении всего процесса их сборки. Для организации стационарной поточной сборки создают рабочие бригады, каждая из которых последовательно выполняет одну и ту же закрепленную за бригадой операцию на каждом из собираемых объектов. При этом время выполнения всех переходов, образующих операцию, должно соответствовать такту выпуска изделия. Через периоды времени, равные такту выпуска, все рабочие (или бригады) по сигналу одновременно переходят от одних собираемых объектов к следующим. Такие бригады рабочих-сборщиков получили название “скользящие бригады”. Сборка каждого из объектов, установленного на определенном стенде, заканчивается после поочередного выполнения работ на этом стенде всеми бригадами.

Примером организации поточной стационарной сборки с периодическим переходом рабочих от одних объектов к другим является общая сборка тяжелых токарных станков. Сборка осуществляется с помощью пяти бригад рабочих на пяти стендах, на каждом из которых располагается станок в различных стадиях его монтажа.

Первая бригада снимает с крайнего стенда ранее собранный станок и перемещает его на испытательный стенд. Затем вместо снятого станка бригада устанавливает на стенд станину следующего станка. В это же время на втором стенде вторая бригада выполняет шабрение и

проверку направляющих, подготавливая таким образом станину станка к сборке.

На третьем стенде третья бригада выполняет отделку шабрением каретки суппорта и ее установку на станину, а также пригонку планок и их крепление. Четвертая бригада в это время на четвертом стенде монтирует переднюю и заднюю бабки, устанавливает корыто, коробку подачи и фартук. Пятая бригада проводит монтаж верхней части суппорта, электрооборудования и системы охлаждения на пятом стенде.

Продолжительность работы каждой из бригад равна установленному такту выпуска T , куда включается также время t_p , необходимое для перехода каждой из бригад к очередному стенду. Переход бригад на соседние стенды осуществляется по световому или звуковому сигналу после выполнения своих операций на стендах в принятый промежуток времени. Таким образом, сборка станка на каждом из стендов заканчивается после того, как каждая из пяти бригад выполнит закрепленный за ней объем работ.

Количество рабочих (бригад сборщиков) или стендов, организация которых необходима для выпуска собираемых изделий в требуемый такт выпуска, определяют по формуле:

$$q = \frac{T_o - T_c}{(T - t_p) \lambda}, \quad (1.9)$$

где T_o – общая трудоемкость сборки изделия;

T_c – трудоемкость совмещенных переходов, выполняемых на стенде;

t_p – время перемещения рабочих от одного стенда к другому;

λ – количество параллельных потоков.

Количество необходимых параллельных потоков λ , например два, три, означает соответствующее увеличение числа параллельно работающих бригад и сборочных стендов. Оно рассчитывается по формуле

$$\lambda = \frac{T_{on}^{нб} + t_p}{T}, \quad (1.10)$$

где $T_{on}^{нб}$ – продолжительность наиболее длительной операции.

Основным преимуществом поточной стационарной сборки можно считать равномерный выпуск собираемых изделий с установленным тактом. Результатом этого будут короткий цикл сборки, высокая

производительность труда, высокий съем продукции с 1 м² площади и др. Областью эффективного использования поточной стационарной сборки является серийное производство машин, отличающихся недостаточной жесткостью базирующих деталей, большими габаритными размерами и массой. Примерами этого служит серийная сборка тяжелых станков, самолетов, крупных дизелей, тяжелых грузовых автомобилей.

Для выпуска машин и их сборочных единиц в больших количествах представляется экономичным использование поточной подвижной сборки с непрерывным или периодическим перемещением собираемых объектов. Рабочие места, располагаемые вдоль конвейера, оснащают необходимым по ходу сборки высокопроизводительным оборудованием – специальными приспособлениями, гайковертами и пр. Рабочие-сборщики специализируются при этом на выполнении определенных операций.

Перемещение собираемых объектов в процессе сборки выполняют с помощью различных конвейеров – ленточных, цепных, штанговых, рамных. При этом конструкция привода применяемых конвейеров обеспечивает возможность бесступенчатого регулирования скорости перемещения собираемых объектов.

Ленточные конвейеры применяют при сборке изделий небольших габаритных размеров и малой массы, как например элементов электро- и гидроаппаратуры, карбюраторов автомобилей, небольших электродвигателей и др.

Более крупные изделия собирают с использованием цепных конвейеров замкнутого типа, на которых с помощью одной или двух параллельных цепей осуществляется перемещение тележек-спутников с установленными на них собираемыми объектами. Возврат свободных спутников к началу конвейера обычно осуществляют по нижней части конвейера под полом цеха. Для лучшего использования производственной площади цеха конвейеры в ряде случаев делают по кольцевому типу, что позволяет выполнять сборку практически по всему периметру конвейера.

С целью высвобождения площади пола и создания лучших условий для работы сборщиков применяют также подвесные конвейеры цепного типа, на которых возможно выполнять монтаж объекта с различных сторон, в том числе и снизу. Такие конвейеры обычно имеют

большую протяженность и объединяют многочисленный ряд рабочих мест. Подвесные цепные конвейеры применяют для общей сборки легковых автомобилей, для сборки автомобильных двигателей и других изделий.

В случае сборки с непрерывным перемещением собираемого объекта каждый из рабочих выполняет сборку, перемещаясь со скоростью движения конвейера в пределах длины сборочной позиции (рабочего места). Для выполнения всех переходов, входящих в данную сборочную операцию, количество рабочих на позиции может быть различным, они могут располагаться относительно собираемого объекта с одной или нескольких сторон.

По окончании сборки рабочие возвращаются в исходное положение, к началу сборочной позиции для сборки следующего объекта. В соответствии с этим скорость конвейера при поточной сборке с непрерывным движением собираемого объекта ограничивают с учетом физиологических возможностей человека и его утомляемости. При непрерывном перемещении собираемого объекта скорость движения конвейера v рассчитывают по формуле, м/мин,

$$v = \frac{L + l}{T \cdot \gamma}, \quad (1.11)$$

где L – длина собираемого объекта в направлении движения конвейера, м;

l – расстояние между собираемыми объектами, предусматриваемое для удобства сборки, м;

γ – число параллельных потоков (параллельных линий конвейера).

Принимаемое значение скорости не должно превышать величины, допускаемой охраной труда и техникой безопасности. В противном случае для выполнения заданной программы выпуска необходимо увеличивать количество параллельных потоков.

Важным преимуществом поточной сборки с непрерывным движением собираемых объектов считается практически полное совмещение времени, затрачиваемого на транспортирование объектов, со временем их сборки. В результате достигается дополнительное сокращение продолжительности цикла сборки и потребности в производственной площади.

Для перемещения изделий сравнительно большой массы, например токарных или фрезерных станков средних размеров, которые при сборке устанавливаются непосредственно на пол, применяют рамные конвейеры. Такие конвейеры обеспечивают периодическое перемещение собираемых объектов в соответствии с тактом выпуска.

На протяжении всего сборочного участка монтируют одну или ряд металлических сварных рам, образующих многосекционный рамный конвейер. В исходном положении рама располагается на 15...20 мм ниже уровня пола. Для одновременного перемещения всех собираемых объектов на один шаг, с одного рабочего места на соседнее, рама поднимается на 10 мм выше уровня пола, а затем перемещается вдоль на требуемое расстояние 2,5...3 м. При этом происходят подъем установленных на раме собираемых объектов и перемещение их на следующее рабочее место. После опускания рамы собираемые объекты устанавливаются на пол со сдвигом на один шаг, а рама, освободившись от собираемых объектов, возвращается в исходное положение. Подъем и опускание рамы осуществляются с помощью встроенных гидроцилиндров, а величина ее продольного перемещения регулируется соответствующей установкой конечных выключателей. Продолжительность перемещения собираемых объектов от одного рабочего места к другому составляет порядка 30 с. Таким образом рамные конвейеры являются относительно простыми, универсальными и могут быть эффективно использованы для пошагового перемещения различных собираемых объектов.

Количество необходимых рабочих мест или позиций, которые последовательно проходит по конвейеру собираемое изделие, рассчитывают по формуле

$$q = \frac{T_o - T_c}{(T - t_n)\gamma}, \quad (1.12)$$

где T_o – общая трудоемкость сборки изделия;

T_c – трудоемкость совмещенных переходов;

t_n – время перемещения изделия от одного рабочего места к другому;

γ – количество параллельных потоков.

Количество параллельных потоков γ сборки определяют с учетом производственной программы выпуска

$$\gamma = \frac{T_{on}^{нб} + t_n}{T}. \quad (1.13)$$

Длину рабочей части конвейера L_p рассчитывают по формуле

$$L_p = (L + l)(q + 1). \quad (1.14)$$

Таким образом, при поточной сборке с непрерывным или периодическим движением собираемого объекта осуществляется постоянный выпуск изделий с требуемым тактом, что считается основным преимуществом поточного производства. Поточная сборка с перемещением собираемых объектов обеспечивает наименьшую продолжительность цикла сборки, наиболее высокую производительность, равномерный выпуск продукции и повышенные технико-экономические показатели по сравнению с другими видами и формами организации сборочного производства.

Для организации поточного производства расстановку оборудования на участках и в цехах осуществляют таким образом, чтобы обеспечить «сквозной поток», при котором достигается непрерывность движения всех объектов производства по наикратчайшим путям от их поступления в цех до выхода готовой продукции. Планировку линий механической обработки деталей и участков промежуточной узловой сборки выполняют так, чтобы получаемые детали или узлы непосредственно поступали к тем местам сборочного конвейера, где эти детали требуются по ходу сборки.

Таким образом, основными преимуществами поточной формы организации производства можно назвать 1) высокую производительность труда; 2) короткий цикл изготовления изделий, а следовательно, ускоренную оборачиваемость и сокращение вкладываемых в производство средств; 3) высокие технико-экономические показатели – выпуск продукции с единицы площади и на единицу оборудования; 4) стабильность качества выпускаемой продукции; 5) упрощение планирования, учета и управления производством; 6) значительное снижение себестоимости продукции.

Однако реализация поточной подвижной сборки требует значительных первоначальных затрат на изготовление и установку конвейеров и другого оборудования. Окупаемость таких затрат возможна только при больших объемах выпуска изделий по неизменным черте-

жам на протяжении нескольких лет. Это, в свою очередь, требует разработки морально-долговечной, устойчивой конструкции новой машины. В соответствии с этим недостатком поточного производства является сложность перехода на изготовление изделий новой конструкции, так как это связано с большими затратами на проектирование и изготовление нового технологического и подъемно-транспортного оборудования, новой технологической оснастки и режущего инструмента.

Формирование и нормирование сборочных операций. Для определения трудоемкости сборочных работ и расчета необходимого числа рабочих-сборщиков проводят нормирование всех сборочных переходов. Определение трудоемкости сборки изделия и формирование переходов сборочных операций выполняют на заключительном этапе разработки технологического процесса сборки машины, после составления технологии сборки. Чем детальней разработан технологический процесс сборки, тем точнее и легче может быть выполнено его нормирование.

Нормирование сборочных переходов выполняют с использованием нормативов времени на слесарно-сборочные работы [12]. Нормативы времени содержат нормы оперативного времени на выполнение различных наиболее распространенных сборочных переходов, связанных с соединением типовых деталей машин, – установка, запрессовка, пригонка, заворачивание винтов, гаек и пр. При этом учитываются габаритные размеры и масса собираемых деталей, а также применяемые средства механизации и разряд рабочего. Время, необходимое для установки детали или узла, определяют с учетом массы детали, способа ее базирования, закрепления и удобства выполнения работы. На рис. 9.6 [12] в качестве примера приведены нормативные данные затрат штучного времени на запрессовку деталей на вал или в отверстие с применением гидравлического пресса. В таблице указаны также состав выполняемых при этом технологических переходов, масса и геометрические параметры устанавливаемых деталей, в соответствии с которыми определяются затраты штучного времени.

Для подсчета штучного времени к оперативному времени прибавляют время на обслуживание рабочего места и дополнительное время, определяемое в процентах от оперативного времени. Время на обслуживание рабочего места в зависимости от вида работ устанавли-

вают в пределах (2 – 6) %, а дополнительное время на отдых в пределах (4 – 6) % от оперативного времени. Полученные затраты времени на выполнение отдельных переходов и на сборку определенных сборочных единиц суммируют, определяя таким образом общую трудоемкость сборки изделия T_0 . Количество рабочих-сборщиков или бригад рабочих, необходимых для общей сборки машины, определяют по приведенным выше формулам.

Зная содержание выполняемых переходов, их трудоемкость и необходимое число рабочих, представляется возможным объединить переходы в операции, выполняемые на отдельных рабочих местах. При этом выбирают наиболее оптимальные варианты объединения сборочных переходов, при которых каждая формируемая операция представляет собой законченную часть технологического процесса, выполняемую рабочим или бригадой рабочих на отдельном рабочем месте.

Объединение переходов в операции выполняют с учетом принимаемого вида и формы организации производственного процесса сборки машины. В результате трудоемкость сборки машины T_0 определяется путем суммирования штучного времени t_{um} по всем n сборочным операциям

$$T_0 = \sum_{i=1}^{i=n} t_{um} .$$

В условиях мелкосерийного производства при использовании непоточной стационарной сборки формирование операций осуществляют по собираемым сборочным единицам. В результате содержание операции составляют переходы по законченной сборке какой-то сборочной единицы – комплекта, подузла или узла. Например, сборка валов редуктора, которая включает установку шпонок на вал, установку зубчатых колес, запрессовку подшипников и пр. Или, например, пригонка шабрением основных баз кареток на плотность прилегания к направляющим станины. Выполнение таких операций возлагают на рабочего или на бригаду рабочих, которые специализируются на выполнении данного вида работ.

В крупносерийном и массовом поточном производстве формирование сборочных операций осуществляют из переходов, выполняе-

мых в соответствии с требуемой последовательностью соединения деталей и сборочных единиц в изделие так, чтобы продолжительность каждой операции была равна или кратна такту выпуска изделий.

Для достижения равенства или кратности длительности операций такту выпуска осуществляют частичное изменение последовательности сборки, перекомпоновку переходов в отдельных операциях, а также совмещение или расчленение операций. С этой же целью изменяют режимы работы оборудования, разрабатывают более производительные методы сборки с применением нового оборудования и технологической оснастки. Если продолжительность операции в несколько раз превышает такт выпуска, то для ее выполнения организуют несколько параллельных потоков.

В тех случаях, когда сборку изделий выполняют партиями, необходимо с помощью нормативов учитывать подготовительно-заключительное время, т.е. затраты времени на работу, связанную с подготовкой к сборке данной партии изделий. Это время делят на количество собираемых изделий в партии, а затем суммируют со штучным временем.

Для наглядного отображения продолжительности цикла сборки изделия строят циклограмму сборки. На рис. 1.5 в качестве примера показана циклограмма сборки токарного станка. По горизонтальной оси откладывают затраты времени на выполнение сборочных переходов (операций), а по вертикали отображают состав предусмотренных сборочных переходов и операций.

Циклограмма наглядно отражает не только затраты времени и последовательность выполнения операций, но также и возможность параллельного выполнения отдельных операций, когда происходит их совмещение во времени. Она позволяет также выявить оптимальную структуру сборочных операций, определяемую составом выбираемых сборочных переходов. Таким образом, с помощью циклограммы представляется возможным выявить дополнительные резервы сокращения цикла сборки за счет формирования соответствующей структуры сборочных операций и совмещения во времени отдельных переходов и операций.

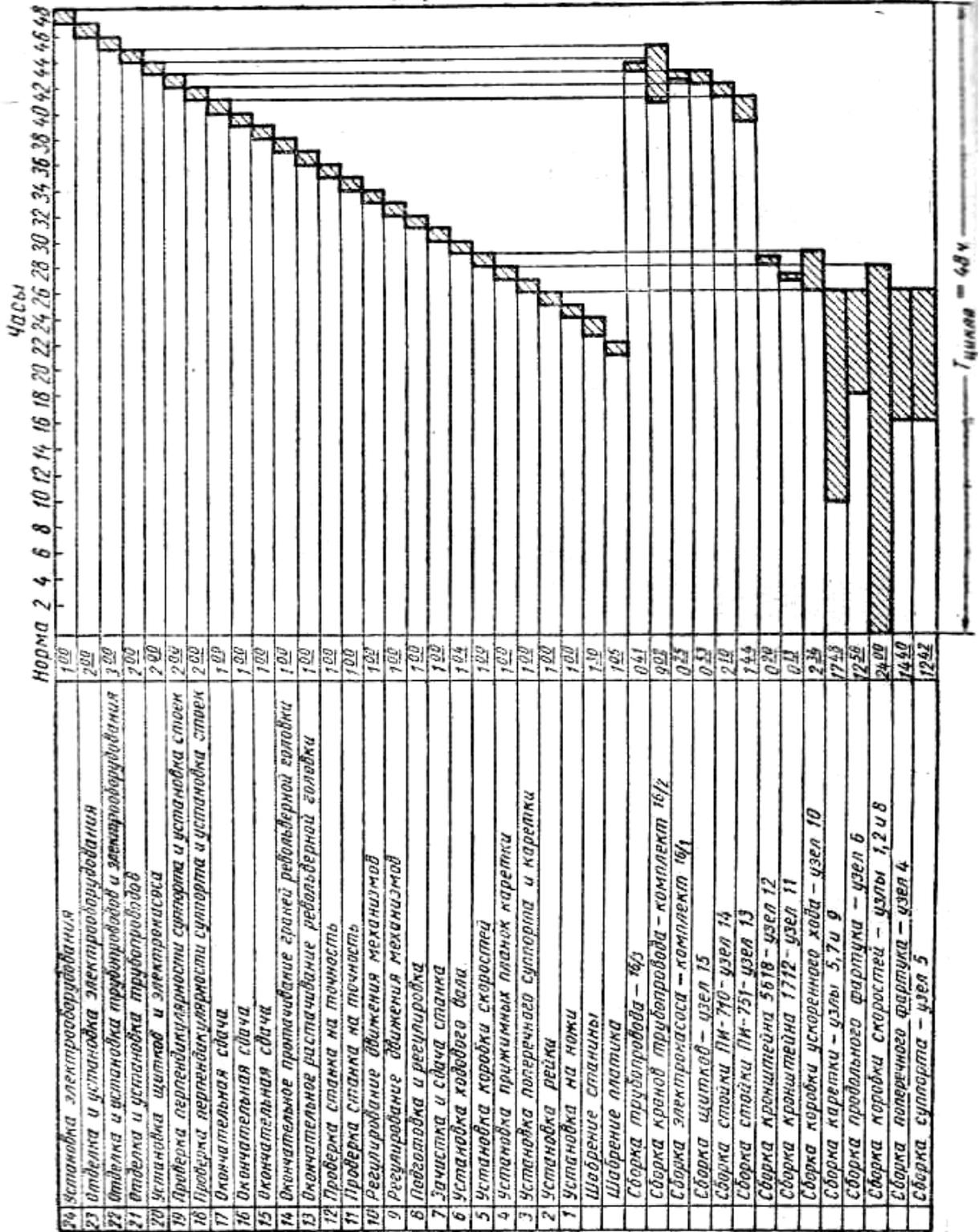


Рис. 1.5. Циклограмма сборки токарного станка

Контрольные вопросы

1. Назовите сборочные единицы, образующие различные по конструкции машины?
2. В чем заключается сущность поточной формы организации техпроцесса сборки изделия?
3. Что следует понимать под понятием такт выпуска?
4. Какие исходные данные необходимо иметь для расчета такта выпуска?
5. Как рассчитывается общая трудоемкость сборки изделия?
6. Назовите виды подвижной поточной сборки?
7. Каким образом организуется стационарная поточная сборка?
8. Как определяют количество рабочих позиций на сборочном конвейере?
9. С какой целью выполняют построение циклограммы сборки?

ГЛАВА 2. ДОСТИЖЕНИЕ ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТИ ПРИ СБОРКЕ ВАЛОВ

Валы предназначены для базирования вращающихся деталей: зубчатых колёс, маховиков, муфт при передаче им требуемого крутящего момента с заданной частотой вращения. Полые валы шпинделя предназначены для базирования режущего инструмента или обрабатываемых деталей. В соответствии с этим на сборку валов предъявляют следующие технические требования: легкость вращения вала в подшипниках; отсутствие вибрации; допустимая величина радиального биения; допустимая величина осевого биения; точность положения оси вала относительно основных баз корпуса.

2.1. Монтаж валов на опорах скольжения

Подшипники скольжения служат опорами вращающихся деталей, работающих в условиях скольжения через слой смазки с охватывающей неподвижной поверхностью втулки или вкладыша. Втулки и вкладыши, установленные в корпусе подшипника, воспринимают передаваемую нагрузку и являются наиболее ответственными деталями подшипника. Их изготавливают из материалов, обладающих хорошей

прирабатываемостью, износостойкостью, пластичностью и низким коэффициентом трения. Такие материалы бывают пластичные (твердость не более 50 НВ), мягкие (50...100НВ) и твердые (не менее 100НВ). К пластичным материалам относятся баббиты, свинцовые бронзы; к мягким – оловянные бронзы; к твердым – чугун и алюминиево-железистые бронзы. Баббиты – сплавы на основе олова и свинца, отличающиеся хорошими антифрикционными свойствами. Пластичные материалы применяют для высоконагруженных многооборотных подшипников, рассчитанных на работу в области жидкостного трения, а мягкие и твердые материалы – для подшипников граничного и полужидкостного трения, работающих при умеренных скоростях.

Наиболее важным требованием при монтаже таких валов можно назвать создание требуемого радиального зазора между опорными шейками вала и рабочей поверхностью подшипника, величина которого определяется выбранной посадкой $H7/f7$, $H7/d6$, $H8/f8$, $H8/f7$ и другими условиями. Посадки с меньшим зазором обеспечивают лучшее центрирование. Посадки с большим зазором применяют для скоростных валов с меньшим удельным давлением в опорах. По конструкции подшипники скольжения бывают следующих основных видов (рис. 2.1): втулочные, вкладышные разъемные, конические и специальные. Для уменьшения влияния перекосов при установке вала применяют также самоустанавливающиеся подшипники, в которых вкладыши выполняют со сферической опорной поверхностью. Специальные подшипники применяют для создания пневмо- и гидростатических опор с малым коэффициентом трения. В подшипниках имеется несколько полостей (карманов), в которые под давлением подается сжатый воздух или масло. В результате в опоре создается гидро- или аэродинамический эффект, при котором отсутствует непосредственный контакт между шейкой вала и вкладышем. Гидростатические опоры применяют для создания высокой точности вращения, а также для тяжелонагруженных валов. Аэростатические подшипники используют для валов с малыми нагрузками и высокими частотами вращения.

Втулочные подшипники конструктивно могут быть выполнены в виде гладкой втулки или втулки с буртиком (рис. 2.1, а). Они могут быть металлическими (ГОСТ 1978-81), биметаллическими (ГОСТ 24832-81) и из спекаемых материалов (ГОСТ 24833-81).

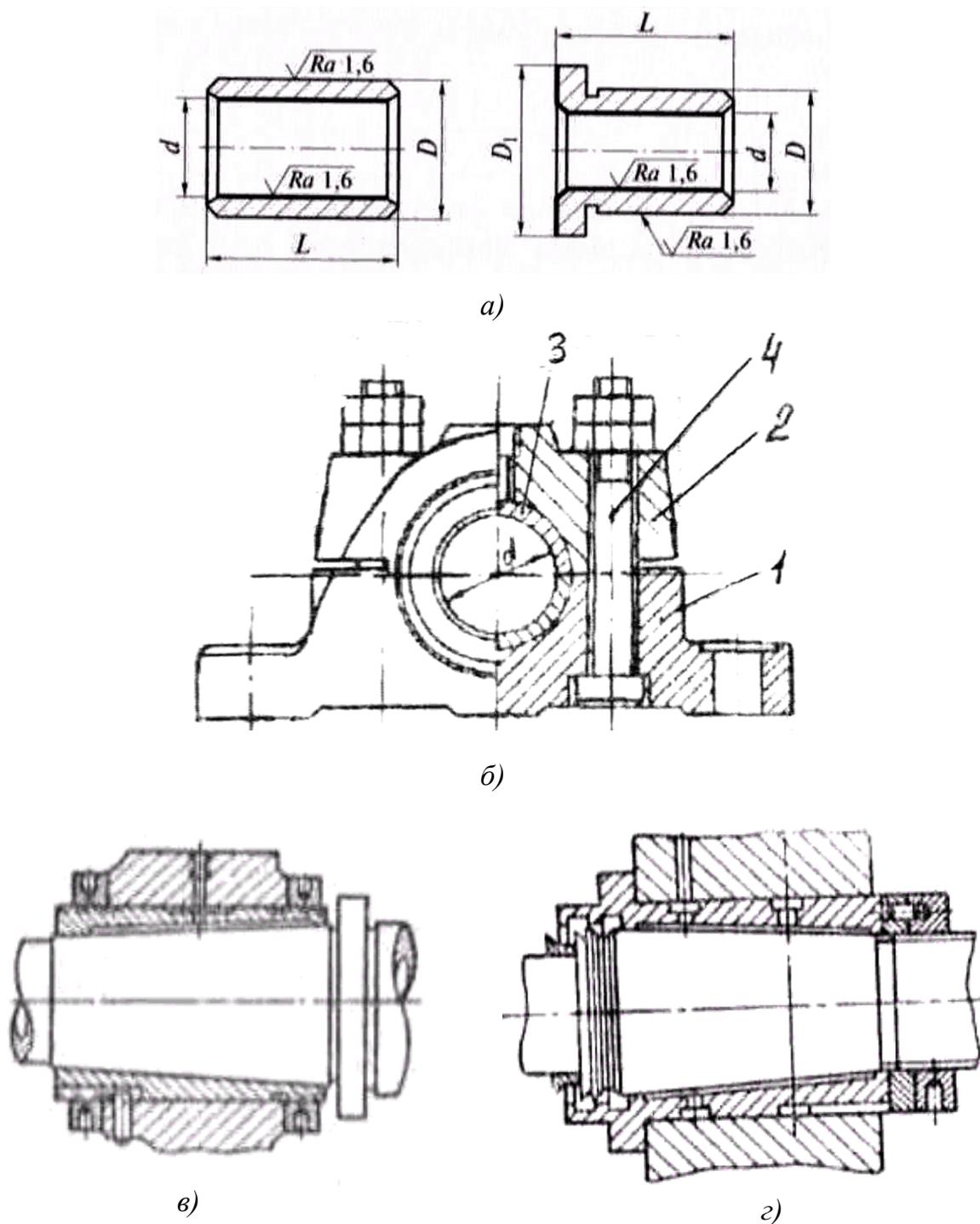


Рис. 2.1. Типы подшипников скольжения: а – втулочные; б – вкладышные разъемные; в – конические; г – специальные

Их устанавливают в корпус с натягом путём запрессовки с помощью пневмопрессов или из-под молотка с использованием универсальной выколотки. Возможна постановка втулок с зазором на специальные самотвердеющие смеси на эпоксидной основе. Последнее применяют для малонагруженных соединений. Возможна также безудар-

ная постановка втулки. С этой целью ее предварительно охлаждают в термостате с сухим льдом до температуры $-70\dots-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для исключения перекося и возможности образования задиров запрессовку выполняют с использованием приспособлений для центрирования, обеспечивающих совмещение оси втулки с осью отверстия (рис. 2.2).

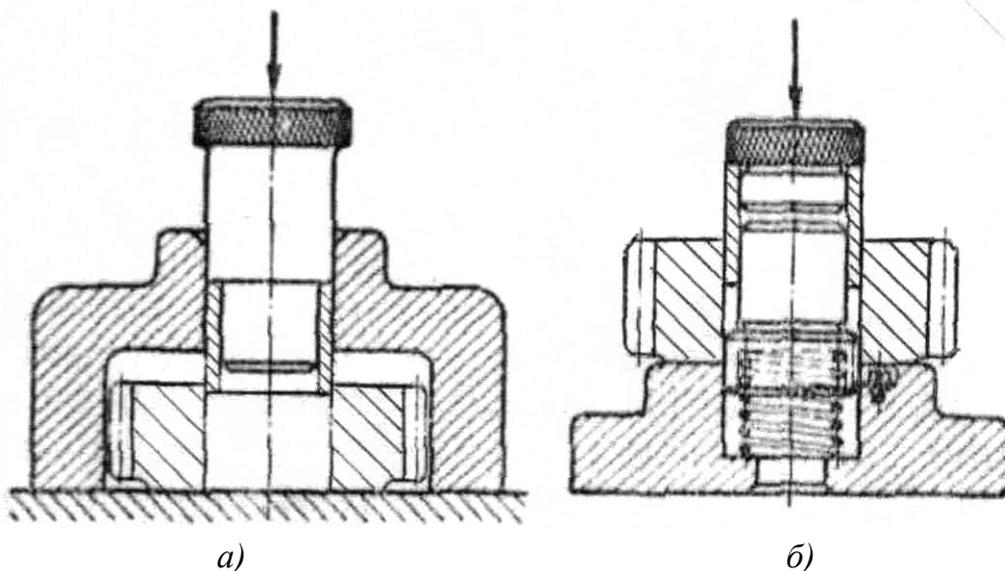


Рис. 2.2. Приспособления для центрирования втулок при их запрессовке в отверстие зубчатого колеса: а – центрирование по наружной цилиндрической поверхности; б – центрирование по поверхности отверстия

При установке втулки с натягом, особенно при запрессовке, происходят ее деформация и потеря геометрической точности базового отверстия [11]. Уменьшение диаметра отверстия втулки после ее запрессовки Δ_d (мкм) можно рассчитать

$$\Delta_d = \frac{2 \cdot p \cdot d^2 \cdot D \cdot 10^3}{E(d^2 - D^2)},$$

где p – напряжение сжатия на поверхности сопряжения;

d и D – соответственно наружный и внутренний диаметры втулки;

E – модуль упругости материала втулки.

Для устранения коробления на поверхности отверстия оставляют припуск для чистового растачивания или развёртывания (последнее может быть выполнено вручную). Развёртывание обеспечивает требуемую точность диаметрального размера отверстия, однако оно не исправляет положение его оси относительно базы. С целью исключения возможного поворота втулки в отверстии ее закрепляют путем по-

становки штифтов или стопорных винтов, для этого необходимо выполнить сверление отверстия и нарезание резьбы метчиком. В массовом производстве при изготовлении шатунов втулочные подшипники делают из биметаллической ленты, выполненной в виде стальной полосы (Ст. 2 или Ст. 3), покрытой тонким слоем баббита. Ленту разрезают по длине периметра, вставляют в отверстие и выглаживают по цилиндрической поверхности прошивкой.

Вкладышные разъёмные подшипники (рис. 2.1, б) по конструкции могут иметь взаимозаменяемые и невзаимозаменяемые вкладыши. Взаимозаменяемые вкладыши представляют собой тонкостенные стальные полукольца (1,5...3 мм), покрытые с внутренней стороны тонким слоем баббита. Эти вкладыши после монтажа не подвергают механической обработке, а к базовым поверхностям корпуса подшипника и его крышке предъявляют повышенные требования (овальность не более 0,015...0,02 мм, конусность не более 0,01... 0,015 мм на длине 100 мм). При выполнении ремонта эти вкладыши заменяют комплектом на новые.

Невзаимозаменяемые вкладыши изготавливают толстостенными (3...5 мм), после монтажа их базовое отверстие обрабатывают путем чистовой расточки и развёртывания. В случае замены таких вкладышей на новые также предусматривается чистовая обработка отверстий.

При монтаже вкладышей необходимо обеспечить их плотное прилегание по периметру полукольца. В противном случае под действием циклической нагрузки может произойти отслаивание антифрикционного слоя. Плотность прилегания обеспечивается за счёт натяга, создаваемого при превышении плоскости вкладыша над плоскостью разъёма подшипника $\Delta = 0,05...0,1$ мм (рис. 2.3) .

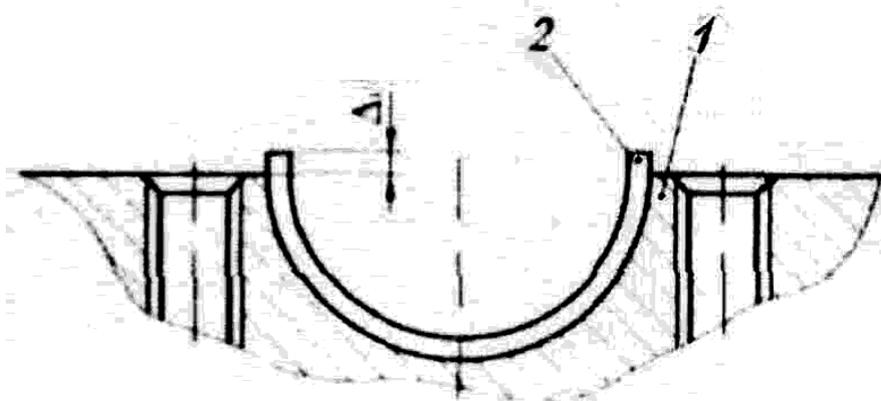


Рис. 2.3. Расположение вкладыша в корпусе подшипника при монтаже: 1 – корпус; 2 – вкладыш

2.2. Уменьшение осевого и радиального биения валов на опорах скольжения

Требуемой точности радиального зазора в конических разрезных подшипниках (рис. 2.1, в) достигают методом регулировки путем осевого перемещения втулки с помощью двух гаек, расположенных на ее концах.

Формирование осевого биения валов на опорах скольжения обусловлено наличием осевых зазоров в подшипниках и отклонениями от перпендикулярности β -контактируемых торцевых поверхностей относительно оси вращения вала (рис. 2.4). При этом имеет место действие избирательного закона суммирования отклонений, согласно которому на осевое биение оказывает влияние меньшее из отклонений на двух контактируемых торцах ω_3 и ω_4 . В соответствии с этим индикатор, фиксирующий осевое биение вала за один его оборот, покажет:

$$\Delta_{и} = \omega_1 + \omega_2 + \omega_5.$$

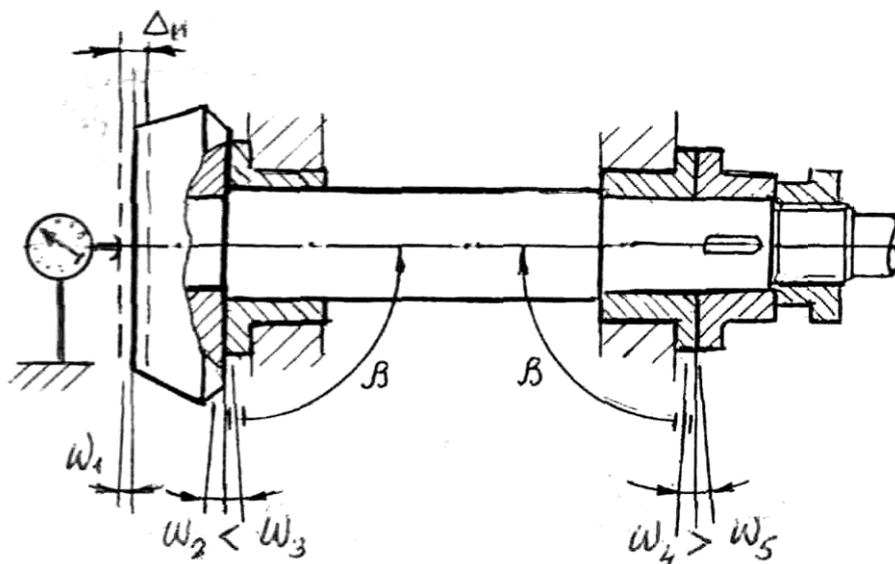


Рис. 2.4. Схема формирования осевого биения вала

Для достижения требуемой точности осевого биения вала необходимо путём регулировки до минимума сократить осевые зазоры в подшипниках и обеспечить требования перпендикулярности торцевых поверхностей хотя бы у одного из контактируемых торцов. Проще и технологичнее эти требования можно обеспечить на торцевых поверхностях вала на операции круглого шлифования его опорных ступеней.

Для подшипников скольжения жидкостного трения критерием работоспособности будет наличие слоя смазки, достаточного для вос-

приятия нагрузки, минимальная величина которого должна быть больше суммы высот неровностей поверхностей опорной ступени и вкладыша. Поэтому при их сборке выполняют операции по созданию каналов в виде пазов и отверстий, обеспечивающих подвод, засасывание и равномерное распределение смазки, а также операции по созданию в опорах необходимой герметизации.

Неразъемные подшипники (втулки) подвергают ремонту, когда износ шейки вала и отверстия втулки достигает предельно допустимой величины. Опорную шейку вала шлифуют, а втулку заменяют новой с диаметром отверстия, соответствующим по размерам шлифованной шейке вала. Подшипники с невзаимозаменяемыми вкладышами при небольшом износе отверстия ремонтируют шабрением с проверкой площади прилегания и качества контакта по краске.

Восстановление втулочных и разъемных подшипников осуществляют также путем металлизации – напылением по внутренней поверхности слоем бронзы или баббита с последующей механической обработкой отверстия до нужного размера.

Для восстановления работоспособности втулочных подшипников применяют также технологический метод создания обратных пар трения. Согласно этому методу на опорную поверхность вала газотермическим способом наносят тонкослойное антифрикционное покрытие, а дорогостоящие втулки из цветных металлов заменяют на стальные или чугунные. В результате имеет место снижение себестоимости изделия и существенная экономия цветных металлов [10].

2.3. Монтаж валов на опорах качения

Требуемая точность при сборке валов на опорах качения достигается с использованием методов взаимозаменяемости и регулировки. Выпускаемые в России подшипники делятся на пять классов точности 0, 6, 5, 4 и 2, расположенных в порядке ее повышения. Для обеспечения лёгкости вращения вала подшипники средних размеров должны иметь радиальный зазор ϵ между телами качения и кольцами в пределах 5...15 мкм (рис. 2.5). Этот зазор равен $\epsilon = D_2 - 2d_{ш} - d_3$, его можно изменить путем осевого смещения одного кольца относительно другого.

В корпусных деталях на диаметральные размеры отверстий, предназначенных для установки подшипников качения, устанавливают допуски: $H6, H7, Js6, Js7, K6, K7$. На опорные шейки валов, предназначенные для установки подшипников, устанавливают допуски: $i_s5, i_s6, k5, k6, k7, m5, m6, n5, n6, h8$.

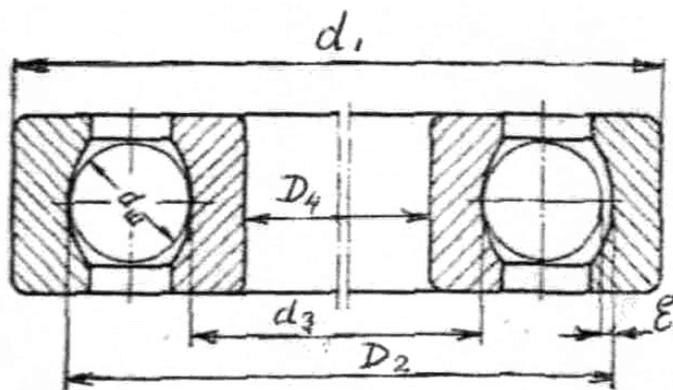


Рис. 2.5. Схема образования радиального зазора в подшипнике

Выбор посадки и соответствующего натяга определяется служебным назначением вала. Однако в любом случае при установке подшипника с натягом происходит уменьшение радиального зазора, что необходимо учитывать. Установлено, что при запрессовке внутреннего кольца уменьшение радиального зазора составляет $(0,55 \dots 0,6) N_v$ от величины натяга по внутреннему кольцу N_v , а при запрессовке наружного кольца уменьшение радиального зазора составляет $(0,65 \dots 0,7) N_n$ от величины натяга по наружному кольцу N_n .

Для подшипников вреден как излишне малый, так и излишне большой зазор. В первом случае происходит разогрев подшипников и в итоге заклинивание, а во втором – разбиение, что также приводит к заклиниванию. Необходимо обеспечивать требуемый, заданный в технических условиях зазор. Это требование конструктор обычно определяет косвенно путем задания крутящего момента или осевой силы, при которых осевое смещение одного кольца подшипника относительно другого создает в подшипнике необходимый натяг, обеспечивающий формирование требуемого зазора. Проверяют зазор в подшипнике также косвенно путем измерения смещения, возникающего при покачивании установленной на вал детали, или путем оценки легкости ее вращения.

Установку подшипника осуществляют запрессовкой с использованием ударной или безударной сборки. При ударной сборке происходит запрессовка колец подшипников с помощью пневмопрессов или из-под молотка с использованием промежуточного кольца. В результате создается продольно-прессовое соединение и нанесение удара неблагоприятно сказывается на геометрической точности подшипников.

Установку подшипника осуществляют запрессовкой с использованием ударной или безударной сборки. При ударной сборке происходит запрессовка колец подшипников с помощью пневмопрессов или из-под молотка с использованием промежуточного кольца. В результате создается продольно-прессовое соединение и нанесение удара неблагоприятно сказывается на геометрической точности подшипников.

- При этом необходимо соблюдать изложенные ниже правила монтажа:
- усилие запрессовки необходимо прикладывать только к тому кольцу, которое устанавливают на посадочное место;
 - усилие запрессовки необходимо прикладывать равномерно по всему периметру кольца через промежуточное монтажное кольцо;
 - при одновременной запрессовке подшипника на вал и в корпус усилие запрессовки следует одновременно и равномерно прикладывать на внутреннее и наружное кольца, для чего применяют специальные приспособления (рис. 2.6);
 - запрещается передавать усилия запрессовки через сепаратор и тела качения.

Требуемое значение силы запрессовки можно рассчитать по формуле [11]

$$F = f \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot p,$$

где f – коэффициент трения при запрессовке, который с учетом материала детали, шероховатости поверхности и смазки составляет $f = 0,02 \dots 0,3$; D – диаметр охватываемой детали, мм; L – длина запрессовываемой детали, мм; p – напряжение сжатия на сопрягаемых поверхностях.

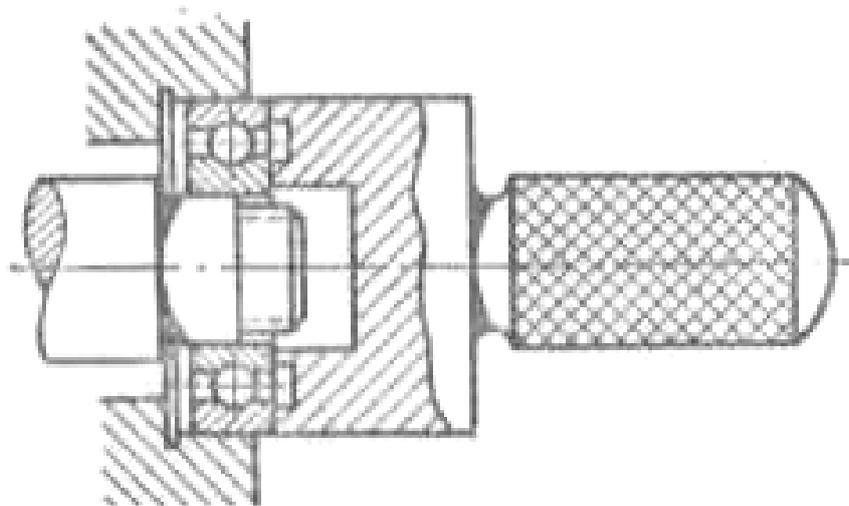


Рис. 2.6. Приспособление для одновременной запрессовки подшипников на вал и в корпус

Для осуществления безударной сборки необходимо создать нужный сборочный зазор в пределах $0,02 \dots 0,05$ мм, который гарантирует свободную постановку кольца на вал или в корпус. С этой целью подшипники нагревают в масляных ваннах до $T^\circ = 80 \dots 90$ °С. Подшипники малого диаметра могут быть нагреты струёй горячего воздуха.

Температуру нагрева охватывающей детали можно рассчитать

$$T^{\circ} \geq \frac{(D-d) + \Delta_n}{k_{\alpha} \cdot d} + T_n,$$

где D – диаметр охватываемой детали, мм; d – диаметр охватывающей детали; k_{α} – коэффициент линейного расширения материала нагреваемой детали; T_n – начальная температура детали, принимаемая $T_n = 20^{\circ}\text{C}$.

Возможно наоборот осуществить охлаждение вала до $T^{\circ} = (-70) \dots (-80)^{\circ}\text{C}$, для чего используют специальные термостаты, наполненные твёрдой углекислотой (сухой лёд). Для более глубокого охлаждения до $T^{\circ} = (-190) \dots (-195)^{\circ}\text{C}$ применяют ёмкости с жидким азотом.

Температура охлаждения охватываемой детали

$$T^{\circ} = \frac{(D-d) + \Delta_n}{k_{\alpha} \cdot d} - T_n,$$

где Δ_n – наименьшая величина создаваемого сборочного зазора.

Однако технологии, связанные с использованием жидкого азота с нагревом в масляных ваннах, выделяющих вредные пары, считаются экологически неблагоприятными, опасными для здоровья и могут быть причиной возникновения пожара. Более совершенным является использование для нагрева специальных термоиндукционных нагревателей, работающих на частоте 50 Гц и обеспечивающих локальный местный нагрев (например только внутреннего кольца подшипника или только зоны отверстия в корпусе). В последние секунды работы прибор осуществляет автоматическое размагничивание нагреваемого участка.

При монтаже подшипников важно обеспечить точную установку кольца по оси до базового буртика на валу или в корпусе, в противном случае имеет место перекося беговой дорожки и неравномерный ее износ.

С этой целью применяют специальные стяжки (рис. 2.7) и приспособления. Допустимый зазор между кольцом и буртиком, контролируемый с помощью щупа, не должен превышать 0,02...0,03 мм на длине 1/3 периметра кольца подшипника.

Так как кольца подшипников тонкостенные, то при их установке на вал или в корпус происходит копирование погрешностей геометрической формы базовых поверхностей, что приводит к искажению

геометрии беговой дорожки, а следовательно, к разным по величине зазорам и неравномерному износу. Поэтому к опорным шейкам вала и базовым отверстиям в корпусе предъявляются высокие требования точности (*IT6, IT7*). При этом овальность в отверстиях или на валу не должна превышать $(1/4 \dots 1/2)T_D$ допуска на диаметр. Отклонение от перпендикулярности базовых торцов относительно оси не должно превышать $(0,004 \dots 0,03)$ мкм у валов и $(0,008 \dots 0,015)$ мкм в корпусе.

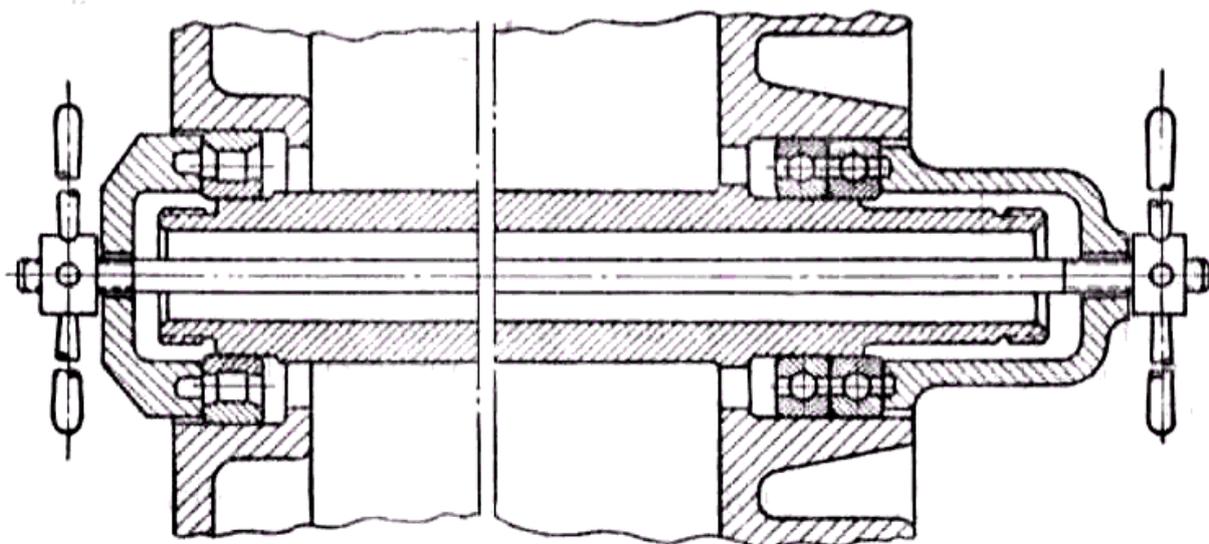


Рис. 2.7. Схема приспособления для установки подшипников

Обычные подшипники монтируют в сборе, и только у радиально-упорных и опорных подшипников отдельно монтируют внутреннее кольцо, сепаратор с роликами и наружное кольцо. Устанавливаемые подшипники должны иметь достаточную внутреннюю смазку.

Контроль точности собранного подшипника – его радиального и осевого биения выполняют в специальном приспособлении до его установки (рис. 2.8). Подшипник базируют по внутреннему кольцу и вращают наружное кольцо на 360° . Радиальное биение Δ_r представляет собой удвоенное смещение $\Delta_r = 2 \cdot \varepsilon$ (удвоенный эксцентриситет) центра наружного кольца подшипника относительно центра внутреннего кольца. Его определяют как разность показаний левого индикатора $\Delta_r = I_{max} - I_{min}$. Осевое биение Δ_o рассчитывают как разность показаний правого индикатора $\Delta_o = I_{max} - I_{min}$.

В тех случаях, когда радиальный зазор в собранном на заводе подшипнике необходимо уменьшить, обеспечив тем самым меньшую величину радиального биения в опоре, применяют специальный тех-

нологический прием, который называют «монтаж подшипниковых опор с предварительным натягом». Величину предварительного натяга, позволяющего устранить в подшипнике лишний зазор, задает конструктор в технических требованиях на сборку узла. Это требование обычно формулируют для опор шпинделей и валов в узлах повышенной точности.

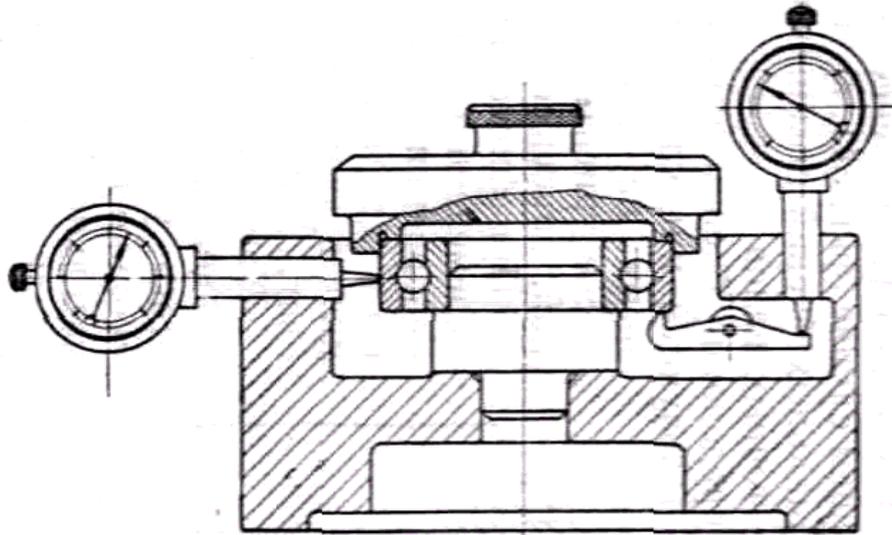


Рис. 2.8. Приспособление для контроля радиального и осевого биения подшипника

Предварительный натяг задают как величину осевой силы $F(n)$, воспринимаемую в опорах, или как величину крутящего момента $M_{кр}$ (Н·м) для затяжки гайки, перемещающей одно из колец. Для создания в подшипниках предварительного натяга применяют специальную технологическую оснастку (рис. 2.9). Два подшипника, образующих в комплекте опору вала, устанавливают на оправку 2, которую затем с помощью двух чашек 1, 3 располагают вертикально и через шарик 4 нагружают заданной осевой силой F . В результате создается направленный поток нагрузки (показан стрелками), который, проходя через кольца, шарики и валик образует, требуемый натяг. При этом происходит смещение наружных колец подшипников относительно внутренних на величину разности $\Delta_h = h_1 - h_2$. Размер между наружными кольцами измеряют в двух перпендикулярных направлениях h'_2, h''_2 и рассчитывают среднее значение $h_{2cp} = 0,5 (h'_2 - h''_2)$. Затем в соответствии с полученным значением h_{2cp} изготавливают распорную втулку

и устанавливают ее между наружными кольцами при монтаже подшипников в корпус.

Возможные конструктивные решения, позволяющие создать натяг в подшипниковых опорах путем осевого относительного смещения колец на размер a , показаны на рис. 2.10. Эти решения предусматривают:

- подшлифовку торца наружного или внутреннего кольца (рис. 2.10, а);
- установку промежуточных втулок различной ширины (рис. 2.10, б);
- установку пружины, создающей заданную силу предварительного натяга (рис. 2.10, в).

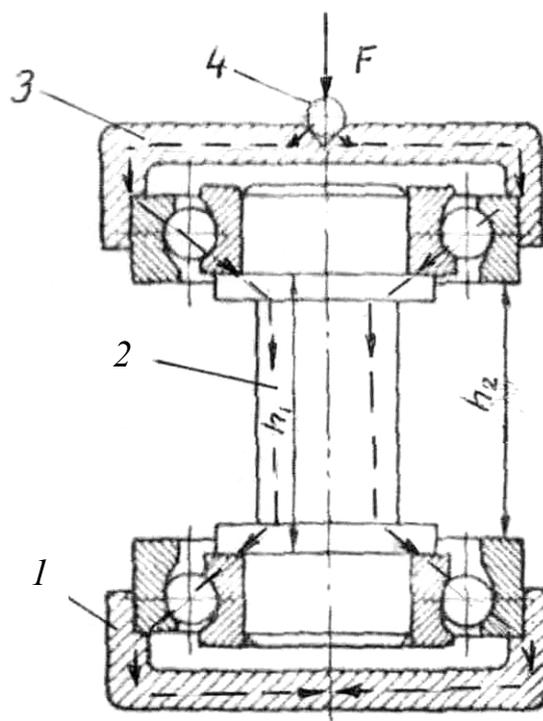


Рис. 2.9. Создание предварительного натяга в двух подшипниках опоры вала

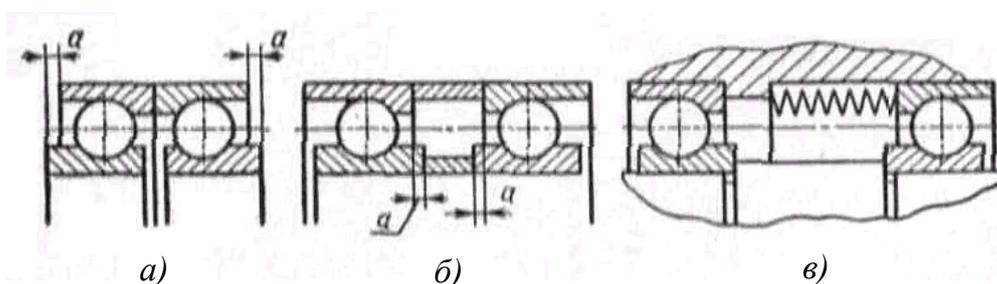


Рис. 2.10. Способы создания натяга в подшипниковых опорах

2.4. Уменьшение осевого и радиального биения валов на опорах качения

Наличие в подшипниковых опорах вала радиальных зазоров определяет его радиальное биение, величина которого в различных сечениях неодинакова. Рассмотрим это на примере шпинделя, для которого в соответствии с его служебным назначением важно обеспечить минимум биения на его исполнительных поверхностях – на коническом отверстии (см. рис. 2.11). Радиальное биение конического отверстия Δ_r представляет собой удвоенное смещение его оси относительно оси вращения шпинделя $\Delta_r = 2 \cdot \varepsilon$ (удвоенный эксцентриситет). В свою

очередь, величина эксцентриситета ε зависит от смещений, формируемых соответственно в передней ε_1 и задней ε_2 опорах. Представив эти смещения как замыкающие звенья соответствующих размерных цепей A_Δ , B_Δ , получим:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 ; \quad A_\Delta = \varepsilon_1 ; \quad B_\Delta = \varepsilon_2 ; \quad \varepsilon = A_\Delta + B_\Delta.$$

Составляющие звенья конструкторских размерных цепей A_Δ и B_Δ

$$A_\Delta = A_1 + A_2 + A_3 ; \quad B_\Delta = B_1 + B_2 + B_3$$

определяют точностные параметры шпинделя и подшипников, оказывающих непосредственное влияние на формирование радиального биения: A_1 и B_1 – смещения оси конического отверстия относительно передней и задней опорных шеек; A_2 и B_2 – смещения беговых дорожек внутренних колец подшипников относительно их отверстий; A_3 и B_3 – смещения беговых дорожек внутренних колец относительно беговых дорожек наружных колец подшипников.

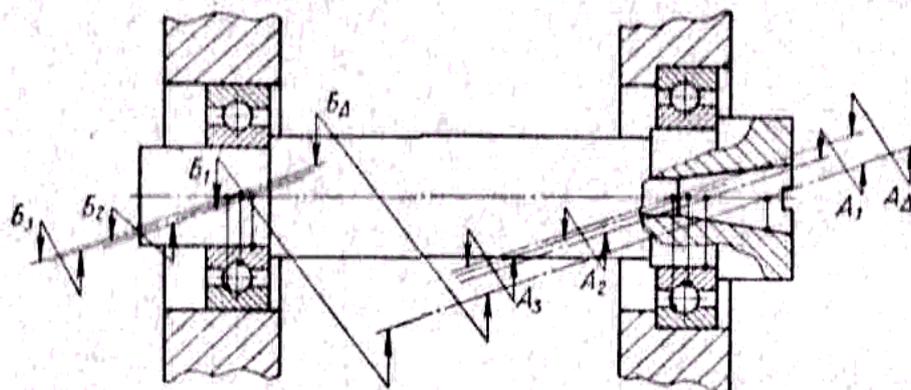


Рис. 2.11. Размерные связи, определяющие формирование радиального биения конического отверстия шпинделя

Для выявления путей уменьшения радиального биения на конце шпинделя рассмотрим следующие возможные варианты расположения эксцентриситетов в опорах (рис. 2.12). Неблагоприятными являются первый и третий варианты (рис. 2.12, а, в). В первом случае (см. рис. 2.12, а) смещение в передней опоре больше, чем в задней $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$, а во втором (см. рис. 2.12, в) эксцентриситеты в опорах направлены по разную сторону относительно оси вращения, что приводит к наибольшему смещению $\varepsilon = \varepsilon_{max}$, а следовательно, и к наибольшему радиальному биению на коническом отверстии шпинделя. Однако эту схему расположения эксцентриситетов используют для достижения мини-

мального биения вала между опорами, когда требуется обеспечить качественное зацепление зубчатых колес.

Наиболее благоприятный вариант $\varepsilon = \varepsilon_{min}$ имеет место, когда смещение в передней опоре меньше, чем в задней $\varepsilon_1 < \varepsilon_2$ (рис. 2.12, б). Для достижения минимального биения на конце шпинделя необходимо подобрать подшипники так, чтобы эксцентриситеты их внутренних колец были равны соответствующим смещениям конического отверстия $\Delta_{A2} = \Delta_{A1}$, $\Delta_{B2} = \Delta_{B1}$. Кольца следует установить так, чтобы эксцентриситеты и смещения располагались в одной плоскости, но по разные стороны относительно оси вращения. Это позволит компенсировать погрешность изготовления шпинделя. Затем в соответствии со схемой, представленной на рис. 2.12, б, необходимо добиться того, чтобы смещение в передней опоре было меньше, чем в задней. При этом смещения в опорах ε_1 , ε_2 следует расположить в одной плоскости и направить по одну сторону относительно оси вращения вала. Все это достигают путем соответствующего подбора внутренних колец подшипников и целенаправленного разворота их эксцентриситетов. Роль подвижных компенсаторов в этом случае выполняют звенья A_2 и B_2 .

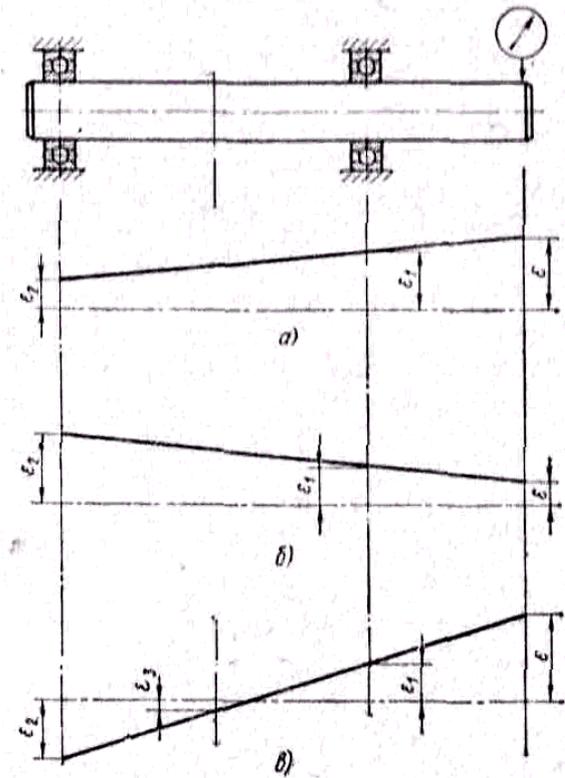


Рис. 2.12. Схемы расположения оси вала при различных эксцентриситетах в опорах

2.5. Достижение требуемой точности положения вала относительно основных баз корпусной детали

При монтаже шпинделей и валов на опорах скольжения возникает необходимость обеспечить требуемую точность положения оси вала относительно основных баз корпусной детали. Основными причинами возникновения отклонений оси вала относительно баз корпуса (рис. 2.13) могут быть:

- отклонение оси расточенного отверстия в двух координатных плоскостях – по горизонтали ω_1 и по вертикали ω_2 (рис. 2.13, *a*);
- отклонения от соосности двух базовых отверстий под подшипники вала, что влечет за собой отклонение от параллельности оси вала относительно баз корпуса;
- эксцентриситет ε наружных колец подшипников, определяющих положение вала (рис. 2.13, *б*);
- суммарное отклонение, обусловленное действием перечисленных факторов.

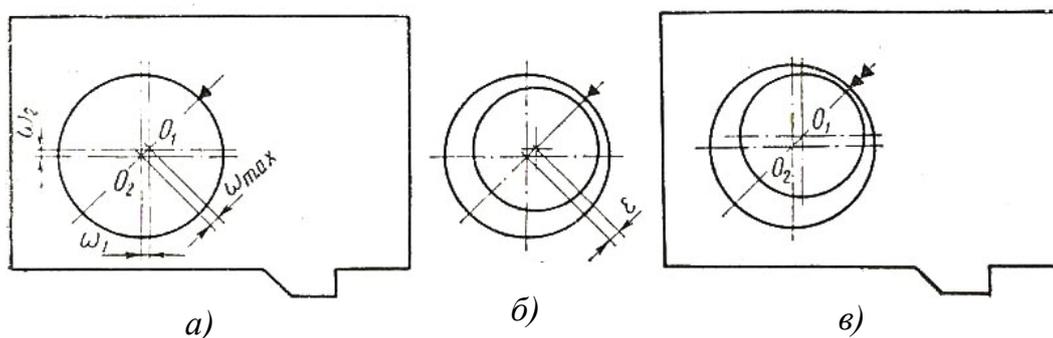


Рис. 2.13. Обеспечение точности положения оси вала относительно баз корпуса

Для того чтобы в процессе сборки исправить допущенные отклонения и обеспечить требуемую точность положения оси вала относительно основных баз корпусной детали, необходимо:

1. Измерить фактическое отклонение центра отверстия θ_2 относительно требуемого положения θ_1 (рис. 2.13, *a*), которое определяется как

$$\omega_{\max} = \sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2}.$$

2. Отметить на корпусе риской (на рис. 2.13, *a* показана стрелка) радиальную плоскость, в которой располагается наибольшее смещение ω_{\max} .

3. Подобрать подшипник так, чтобы эксцентриситет его наружного кольца ε (рис. 2.13, *б*) был приблизительно равен максимальному смещению центра отверстия $\varepsilon = \omega_{\max}$.

4. Отметить на торце подшипника риской (на рис. 2.13, *б* показана стрелка) радиальную плоскость, в которой располагается наибольший эксцентриситет наружного кольца ε (см. рис. 2.13, *б*).

5. Установить подшипник в корпус так, чтобы наибольший эксцентриситет его наружного кольца был направлен в сторону, противоположную ω_{\max} . Для этого в процессе монтажа подшипника необходимо совместить поставленные метки на корпусе и на торце кольца подшипника (рис. 2.13, в).

В результате выполнения такого технологического приема допущенные погрешности изготовления корпуса и подшипника будут взаимно компенсированы и центр вращения вала в данной опоре займет требуемое положение.

Аналогичную операцию необходимо выполнить также и при монтаже подшипника во второй опоре вала. Это позволит компенсировать угловые отклонения, допущенные при расточке отверстия, и обеспечить требуемую точность положения оси вала относительно основных баз корпусной детали.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные виды подшипников скольжения.
2. Какие элементы образуют разъемные подшипники скольжения?
3. Что следует понимать под взаимозаменяемыми вкладышами?
4. Что следует понимать под невзаимозаменяемыми вкладышами?
5. Назовите различие взаимозаменяемых и невзаимозаменяемых вкладышей.
6. Как осуществляют монтаж опор на втулочных подшипниках скольжения?
7. Каким образом осуществляют монтаж опор на вкладышных подшипниках скольжения?
8. Как выполняют монтаж опор на подшипниках качения?
9. Как проверить радиальное и осевое биение подшипника качения?
10. Как выполняют монтаж опор на подшипниках качения?
11. Назовите технологические мероприятия, позволяющие уменьшить осевое биение валов на опорах скольжения.
12. С какой целью создают предварительный натяг в подшипниках качения?
13. Каким образом создают предварительный натяг в подшипниках качения?

14. Назовите технологические мероприятия, позволяющие уменьшить радиальное биение конца шпинделя на опорах качения.
15. Какие причины могут вызвать отклонение оси вала относительно основных баз корпусной детали?
16. Какие технологические мероприятия позволяют обеспечить точность положения оси вала относительно основных баз корпусной детали?

ГЛАВА 3. СБОРКА ЗУБЧАТЫХ И ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ

В соответствии со служебным назначением зубчатые передачи должны обладать прочностью, достаточной для передачи заданного окружного усилия, иметь необходимую кинематическую точность, требуемую плавность и бесшумность в работе.

3.1. Монтаж цилиндрических зубчатых передач

Согласно ГОСТ 1643-81 на цилиндрические зубчатые передачи установлено 12 степеней 1, 2...6, 7, 8..11, 12, где с уменьшением порядкового номера точность колеса возрастает. Выбор степени точности в первую очередь зависит от окружной скорости вращения колеса, с увеличением которой степень точности возрастает:

скорость вращения, м/с	до 2;	до 6;	до 10;	до 15;
степень точности	9-я;	8-я;	7-я;	6-я.

Для каждой степени точности установлены нормы точности:

- нормы кинематической точности, определяющие величину полной погрешности угла поворота зубчатого колеса за один оборот;
- нормы плавности, определяющие значение составляющих полной погрешности угла поворота зубчатого колеса, многократно повторяющихся в пределах поворота;
- нормы на контакт зубьев, определяющие размер и расположение пятна контактов двух сопрягаемых зубьев.

Для нормальной работы зубчатой передачи между боковыми поверхностями зубьев должен быть боковой зазор (рис. 3.1). Его наличие позволяет компенсировать температурные деформации при разогреве колес, погрешности сборки передачи и обеспечивает размещение смаз-

ки. Наименьшее допустимое значение бокового зазора $j_{n \min}$ называется гарантированным боковым зазором. Его величина выбирается исходя из служебного назначения передачи, допустимой кинематической погрешности, допустимой величины мертвого хода, допустимой ударной нагрузки при трогании и реверсе. Разность наибольшего допустимого бокового зазора $j_{n \max}$ и наименьшего определяет допуск $Tj_n = j_{n \max} - j_{n \min}$ на боковой зазор.

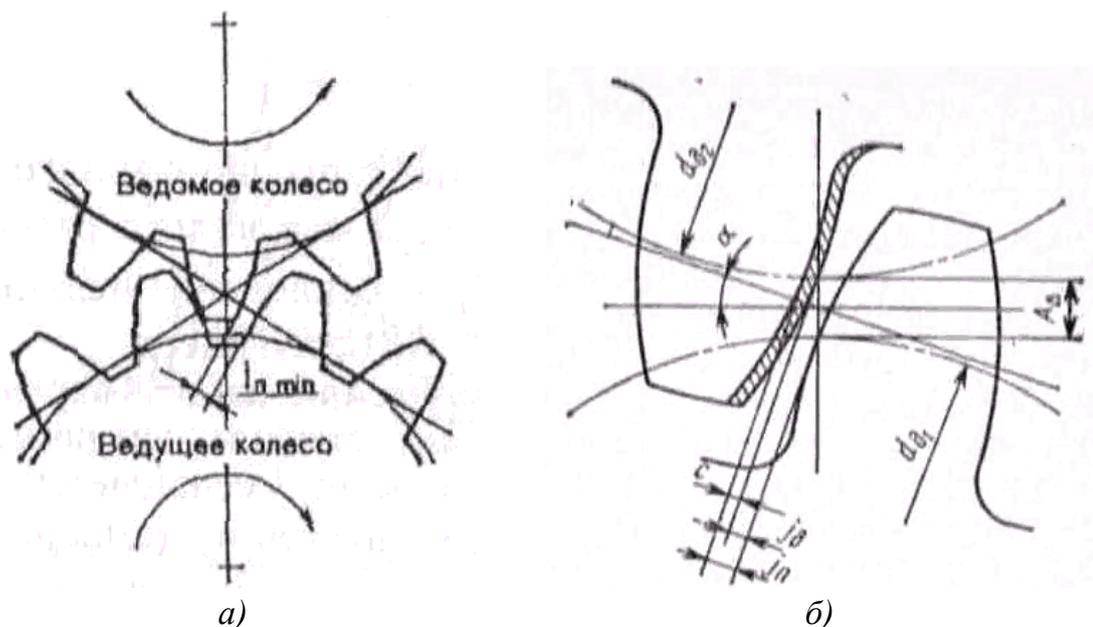


Рис. 3.1. Схема образования зазора между боковыми поверхностями зубьев: а – схема зацепления колес; б – схема к определению влияния толщины зуба и смещения исходного контура на величину бокового зазора; j_n – боковой зазор; j_b – часть бокового зазора, образуемая при смещении делительных окружностей; c – часть бокового зазора, образуемая при изменении толщины зуба

Согласно стандартам на цилиндрические и червячные передачи установлено 6 видов сопряжения A, B, C, D, E, H , которые определяют различные значения бокового зазора, включая увеличенный A , нормальный B , уменьшенный C , малый D , весьма малый E и нулевой H , и восемь видов допуска Tj_n на боковой зазор, располагаемых в порядке возрастания: h, d, c, b, a, z, y, x .

Обозначение точности цилиндрических зубчатых колес и передач выполняют условной записью, например 7-С ГОСТ 1643-81, где 7 – обозначает степень точности передачи, которая в данном случае одинакова для всех трех норм, С – вид сопряжения. В тех случаях, когда

конструктор назначает для трех норм различные степени точности, условную запись выполняют в следующем формате: 8-7-6 - *Va* ГОСТ 1643-81, где 8 – степень по нормам кинематической точности, 7 – степень по нормам плавности, 6 – степень по нормам контакта зубьев, *V* – вид сопряжения, *a* – вид допуска на боковой зазор. Если вид сопряжения и вид допуска на боковой зазор определяются одинаковыми буквами, то в условной записи точности передачи обозначение вида допуска на боковой зазор не требуется.

В табл. 3.1 приведены значения гарантированного бокового зазора $j_{n \min}$, устанавливаемые согласно ГОСТ 1643-81 для цилиндрических зубчатых колес для модулей $m \geq 1$.

Таблица 3.1. Гарантированный боковой зазор $j_{n \min}$ для цилиндрических зубчатых колес по ГОСТ 1643–81

Мо- дуль m , мм	Обозна- чение откло- нения	Вид сопря- жения зубьев	Межосевое расстояние, мм								
			Св.	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.
			50 до 80	80 до 125	125 до 180	180 до 250	250 до 315	315 до 400	400 до 500	500 до 630	630 до 800
$m \geq 1$	$j_{n \min}$	<i>H</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		<i>E</i>	30	35	40	46	52	57	63	70	80
		<i>D</i>	46	54	63	72	81	89	97	110	125
		<i>C</i>	74	87	100	115	130	140	155	175	200
		<i>B</i>	120	140	160	185	210	230	250	280	320
		<i>A</i>	190	220	250	290	320	360	400	440	500

Формирование бокового зазора при сборке зубчатых колес зависит от толщины зубьев зацепляемых колес и от смещения в радиальном направлении делительного цилиндра одного колеса относительно делительного цилиндра другого (см. рис. 3.1). В соответствии с этим допуск на боковой зазор и координату середины поля допуска Δ_{0jn} можно представить двумя составляющими

$$T_{jn} = T'_{jn} + T''_{jn}, \quad \Delta_{0jn} = \Delta'_0 + \Delta''_0,$$

где T'_{jn} – часть допуска на боковой зазор, ограничивающая толщину зуба;

T''_{jn} – часть допуска на боковой зазор, ограничивающая смещение делительных цилиндров в радиальном направлении;

Δ'_0, Δ''_0 – координаты середины полей допусков T'_{jn} и T''_{jn} .

Толщина зуба (его утонение) зависит от точности нарезания зубчатого колеса на этапе технологии его изготовления. В свою очередь, смещение делительных цилиндров в радиальном направлении возникает в процессе сборки. Расстояние между образующими двух делительных цилиндров, возникающее в результате радиального смещения колес, можно представить, как замыкающее звено размерной цепи A_{Δ} (рис. 3.2)

$$A_{\Delta} = -A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 - A_9,$$

где A_1 – радиус делительного цилиндра колеса; A_2 – смещение оси делительного цилиндра относительно оси базового отверстия; A_3 – смещение ступени вала относительно опорной шейки; A_4 – смещение оси опорной шейки относительно оси отверстия; A_5 – расстояние между осями отверстий в корпусе; A_6 – смещение оси опорной шейки относительно оси отверстия; A_7 – смещение ступени вала относительно опорной шейки; A_8 – смещение оси делительного цилиндра относительно оси базового отверстия; A_9 – радиус делительного цилиндра второго колеса.

Схема перехода от служебного назначения передачи к параметрам точности зацепления зубчатых колес ($j_n, T_{jn}, \Delta_{0jn}$), к допускам, ограничивающим отклонения толщины зуба (T'_{jn}, Δ'_{0jn}) и смещение делительных цилиндров (T''_{jn}, Δ''_{0jn}) и далее к допускам (T_{A1}, Δ_{01}) ... (T_{Ai}, Δ_{0i}) на составляющие звенья размерной цепи A_{Δ} , показана на рис. 3.3. Так как боковой зазор образуется по

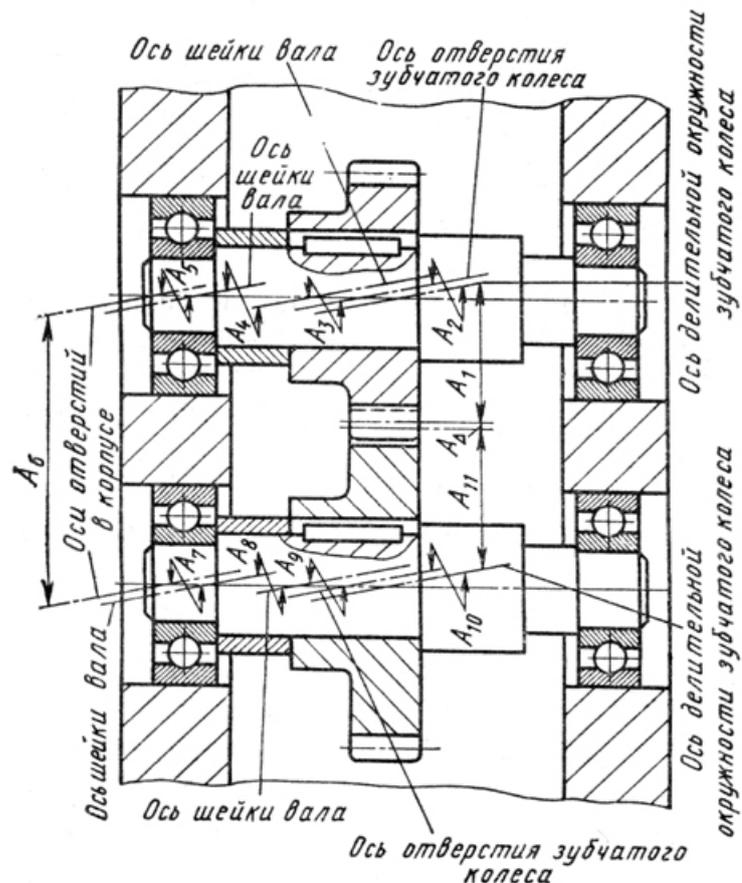


Рис. 3.2. Схема размерной цепи A_{Δ} , определяющей расстояние между образующими делительных цилиндров двух зубчатых колес

линии зацепления, положение которой в передаче определяет угол зацепления α , то переход к требованиям точности замыкающего звена A_Δ выполняют по формулам

$$T_{A\Delta} = T''_{jn} / \sin \alpha, \quad \Delta_{0\Delta} = \Delta''_{0jn} / \sin \alpha.$$

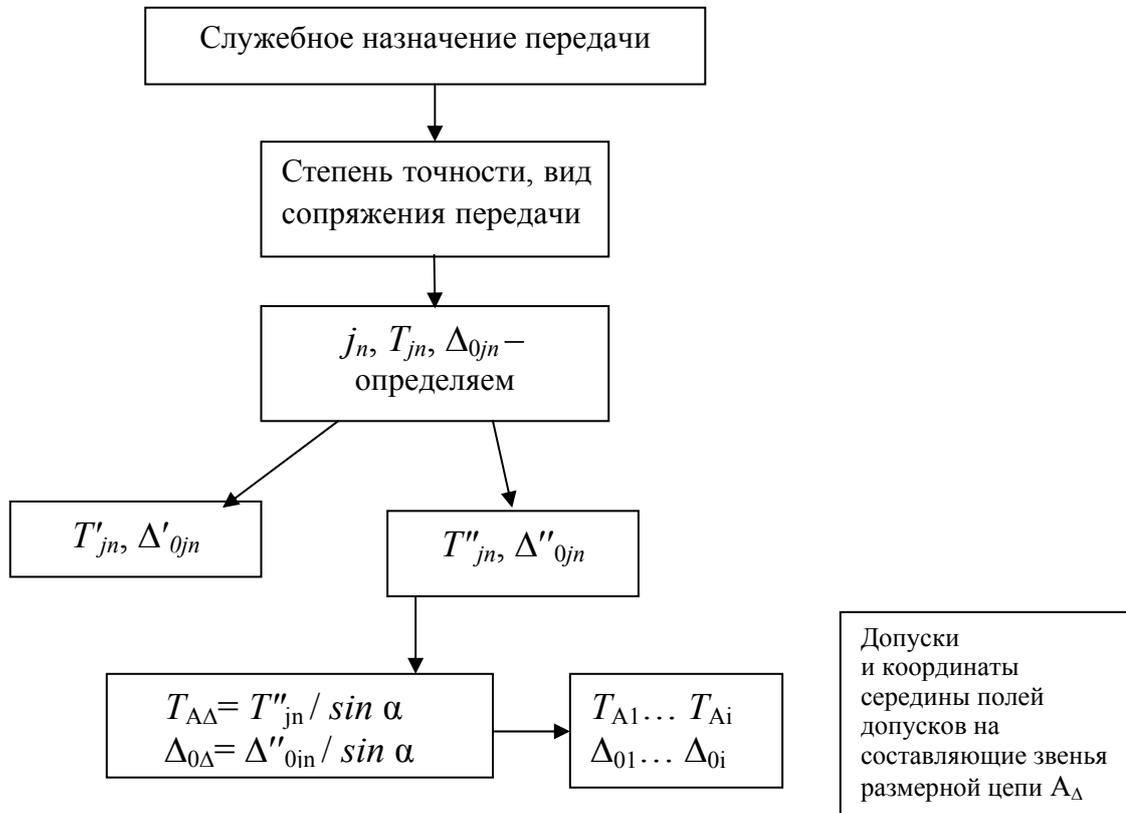


Рис. 3.3. Переход от служебного назначения передачи к параметрам точности зацепления зубчатых колес

Таким образом, качество работы зубчатой передачи зависит как от точности изготовления зацепляемых колес, так и от точности изготовления деталей узла – корпуса, подшипников, валов, втулок, определяющих положение колес. Сумма допусков T_i на составляющие звенья ($A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8$) не должна превышать отклонения межосевого расстояния f_{ar} , устанавливаемого согласно ГОСТ 1643-81 для конкретной передачи, а предельные суммарные отклонения этих звеньев Δ_Σ^e и Δ_Σ^h не должны превышать установленных предельных отклонений f_a, f_r межосевого расстояния

$$\sum_{i=2}^{i=8} T_i \leq f_{ar}; \quad \Delta_\Sigma^e = \sum_{i=2}^{i=8} \Delta_i^e \leq f_a; \quad \Delta_\Sigma^h = \sum_{i=2}^{i=8} \Delta_i^h \leq f_r.$$

Допускаемые отклонения межосевого расстояния $\pm f_a$ для зубчатых колес с модулем $m \geq 1$ приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Отклонения межосевого расстояния $\pm f_a$ по ГОСТ 1643–81

Мо- дуль m , мм	Обозна- чение откло- нения	Вид сопря- жения зубьев	Межосевое расстояние, мм								
			Св.	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.	Св.
			50	80	125	180	250	315	400	500	630
			до	до	до	до	до	до	до	до	до
			80	125	180	250	315	400	500	630	800
$m \geq 1$	$\pm f_a$	Н, Е	± 15	± 18	± 20	± 23	± 26	± 28	± 32	± 35	± 40
		D	23	27	32	36	40	45	48	55	63
		C	37	43	50	58	65	70	78	88	100
		B	60	70	80	92	105	115	125	140	160
		A	95	110	125	145	160	180	200	220	250

Для обеспечения требований точности расположения осей передачи в пределах, указанных в табл. 3.2, необходимо, чтобы допуск T_5 на межосевое расстояние у корпусной детали (звено A_5) имел значение

$$T_5 \leq \pm f'_a = \pm 0,8 \cdot f_a.$$

В свою очередь, согласно требованиям приведенного ГОСТа, отклонения от параллельности осей отверстий корпуса в двух координатных плоскостях не должны превышать

$$f'(x) = 0,8 f_x \frac{L}{b_c}; \quad f'(y) = 0,8 f_y \frac{L}{b_c},$$

где L – расстояние между средними плоскостями опор корпуса; b_c – среднее значение интервала ширины зубчатого венца, f_x и f_y – допускаемые предельные отклонения от параллельности осей зубчатых колес в двух координатных плоскостях.

Предельные отклонения от параллельности осей зубчатых колес в двух перпендикулярных плоскостях f_x и f_y , установленные согласно ГОСТ 1643-81 для колес 6...7-й степеней точности с нерегулируемым расположением осей, приведены в табл. 3.3. Они определяются в микрометрах на длине, равной ширине зубчатого венца.

Точность расположения осей зубчатых колес – важнейший фактор обеспечения требуемой работоспособности передачи. Поэтому параметры точности корпуса, определяющие относительное положение осей отверстий, необходимо контролировать до начала сборки зубчатой передачи [16].

Таблица 3.3. Предельные отклонения от параллельности осей зубчатых колес f_x и f_y (мкм) для модулей $m 1 \dots 16$ мм согласно ГОСТ 1643-81

Степень точности	Обозначение допусков	Ширина зубчатого венца, мм					
		До 40	Св. 40 до 100	Св. 100 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630
6-я	f_x	10	12	12	19	24	28
	f_y	12	16	20	24	28	34
7-я	f_x	12	16	20	24	28	34
	f_y	6	8	10	12	14	17
8-я	f_x	20	25	32	38	45	55
	f_y	10	13	16	19	22	28
9-я	f_x	32	40	50	60	75	90
	f_y	16	20	25	30	38	45

Установку зубчатых колес на вал осуществляют:

- по посадкам с натягом $H8/s7$, $H7/s6$, $H7/p6$, $H7/r6$, требующим значительных усилий запрессовки или нагрева колеса;
- по переходным посадкам $H7/n6$, $H7/m6$, $H7/k6$, $H7/js6$, $H8/k6$, требующим незначительных усилий запрессовки;
- по посадкам с малыми зазорами $H7/g6$, $H7/h6$, $H8/h8$, $H8/h9$, $H9/h8$;
- по посадкам с зазорами для передвигаемых вдоль оси или свободно вращающихся на валу колес $H7/f7$, $H8/f9$, $H7/e8$, $H8/e9$.

При сборке цилиндрических передач требуется обеспечить совпадение образующих делительных цилиндров A_Δ и правильное расположение пятна контакта, на которое влияет также смещение торцов зацепляемых колес K_Δ . Для широкоприменяемых зубчатых колес, изготавливаемых по 7...9-му степеням точности, качество зацепления – кинематическая точность, плавность работы и нормы контакта зубьев – обеспечиваются методами полной или неполной взаимозаменяемости, последнее с небольшим коэффициентом риска. Для передач высокой степени точности 4...6-й имеет место неполная взаимозаменяемость с увеличением коэффициента риска. Поэтому для достижения высокого качества зубчатой передачи осуществляют подбор пар колес по наилучшим параметрам их зацепления. При этом в собранном узле воз-

можно осуществить малую регулировку межцентрового расстояния за счет целенаправленного разворота эксцентриситетов наружных колец подшипников. Роль компенсаторов в этом случае выполняют наружные кольца подшипников звенья A_4 и A_6 . Уменьшение радиального биения колес достигают путем целенаправленного разворота эксцентриситетов внутренних колец подшипников по методике, описанной в п. 2.4.

Сопрягаемые пары подбирают на стендах в процессе их контроля и обкатки, когда контролируют также уровень звукового давления и температуру нагрева. Обкатка колес обеспечивает приработку их поверхностей, повышение качества зацепления и улучшение КПД передачи. Точность совпадения торцов K_Δ обычно достигается методом полной взаимозаменяемости или методом регулировки (реже пригонкой) путем осевого относительного перемещения одного из колес.

Проверку качества зацепления зубчатых колес выполняют:

- 1) путем измерения бокового зазора с помощью щупа или по отпечатку мягкой свинцовой проволочки, вставляемой между зубьями;
- 2) по углу свободного поворота одного колеса при заторможенном втором колесе;
- 3) по величине и расположению пятна контакта на боковой поверхности зуба, для чего краску наносят на колесо с меньшим числом зубьев, которая при вращении переносится на зубья другого колеса (рис. 3.4).

Угол свободного поворота колеса (угол «мертвого» хода) измеряют индикатором, который фиксирует перемещение поводка, закрепленного на поворачиваемом колесе, а затем пересчитывают на величину бокового зазора.

Суммарное пятно контакта, представляющее часть активной боковой поверхности зуба, на которой располагаются следы прилегания зубьев сопрягаемого колеса (рис. 3.5), оценивают в процентах относительными размерами:

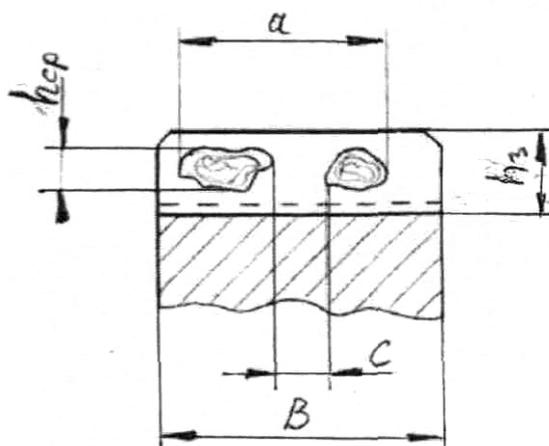


Рис. 3.4. Суммарное пятно контакта на боковой поверхности зубчатого колеса

по длине $\frac{a-b}{c} 100\%$ и по высоте $\frac{h_{cp}}{h_3} 100\%$,

где h_{cp} – средняя по длине зуба высота следов прилегания, h_3 – высота рабочей поверхности зуба.

Согласно ГОСТ 1643-81 суммарное пятно контакта должно составлять:

Степень точности	5-я;	6-я;	7-я;	8-я;	9-я;
По длине, %	80;	70;	60;	40;	25;
По высоте, %	60;	50;	45;	30;	20.

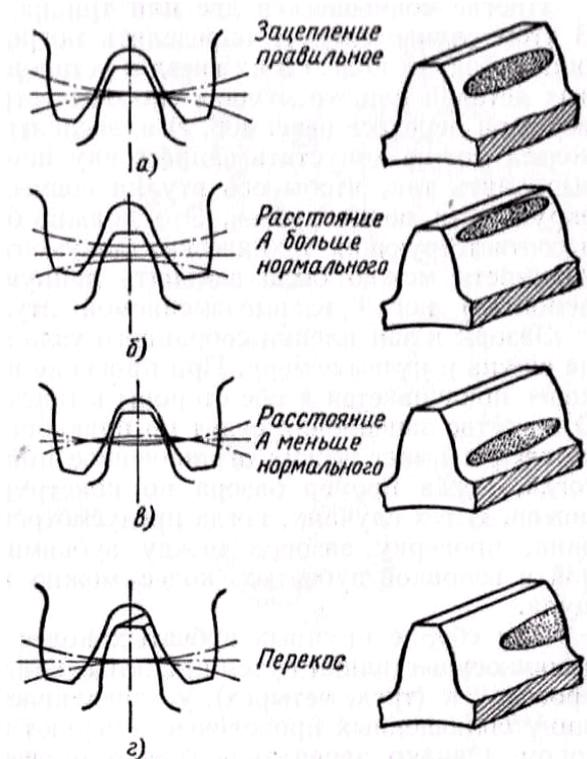


Рис. 3.5. Выявление погрешности монтажа зубчатых колес по расположению пятна контакта: а – правильное зацепление; б – увеличенный боковой зазор; в – уменьшенный боковой зазор; г – перекас осей зубчатых колес

сеое расстояние.

В свою очередь, смещение пятна контакта в направлении левого или правого торца колеса (рис. 3.5, г) говорит о перекасе осей зубчатых колес, который порождает неравномерный боковой зазор. Причиной этому могут быть смещение зубчатого венца относительно ба-

Расположение пятна контакта на боковой поверхности зуба позволяет выявить погрешности монтажа зубчатой передачи (см. рис. 3.5). Смещение пятна контакта в сторону головки зуба (рис. 3.5, б) свидетельствует о наличии увеличенного бокового зазора. Причиной этому могут быть уменьшенная толщина зубьев на одном или обоих колесах; большее по сравнению с допустимым межосевое расстояние.

Смещение пятна контакта в сторону ножки зуба (рис. 3.5, в) говорит о наличии уменьшенного зазора между зубьями, причиной которому могут быть увеличенная толщина зубьев на одном или обоих колесах; меньшее по сравнению с допустимым межосевое расстояние.

зового отверстия, перекося оси отверстия в корпусе или оси опорной шейки вала.

Устранение выявленных отклонений достигают путем подбора колес и выполнения описанных выше регулировок. В результате достигают правильного зацепления колес, при котором пятно контакта располагается в середине зуба (рис. 3.5, *a*).

3.2. Сборка конических зубчатых передач

Согласно ГОСТ 1758-81 на конические зубчатые колеса предусмотрено 12 степеней точности и шесть видов сопряжения: *A, B, C, D, E, H*, определяющих величину бокового зазора от увеличенного *A* до нулевого *H* значения, и пять видов допусков T_{jn} на боковой зазор *a, b, c, d, h*, расположенных в порядке уменьшения допуска. Обозначение точности конических зубчатых колес и передач выполняют условной записью 7-С ГОСТ 1758-81. Для каждой степени точности также установлены нормы кинематической точности, плавности и контакта зубьев. При комбинированном назначении норм по различным степеням условная запись точности передачи принимает вид: 8-7-6-С ГОСТ 1758-81.

При сборке конических передач необходимо обеспечить следующие параметры точности, определяемые согласно ГОСТ 1758-81 (рис. 3.6):

- совпадение вершин делительных конусов зацепляемых колес в двух перпендикулярных направлениях f_{AMr1} и f_{AMr2} (рис. 3.6, *a*);
- точность межосевого угла Σ , который для ортогональной передачи составляет $\Sigma = 90^\circ$ (рис. 3.6, *b*);
- точность межосевого расстояния в передаче $\pm f_{ar}$.

Оси зубчатых колес в конических передачах располагаются в одной плоскости, поэтому номинальное значение межосевого расстояния равно нулю. Устанавливаемый согласно ГОСТ 1758-81 параметр $\pm f_{ar}$ определяет допускаемые предельные отклонения межосевого расстояния в конической передаче.

Соблюдение требуемой точности указанных параметров обеспечивает достижение гарантированного бокового зазора $j_{n \min}$, определяемого на среднем конусном расстоянии. В табл. 3.4 приведены значения гарантированного бокового зазора $j_{n \min}$ и предельные отклоне-

ния межосевого угла E_{Σ} , устанавливаемые согласно ГОСТ 1758-81 для конических и гипоидных передач с $m \geq 1$ мм.

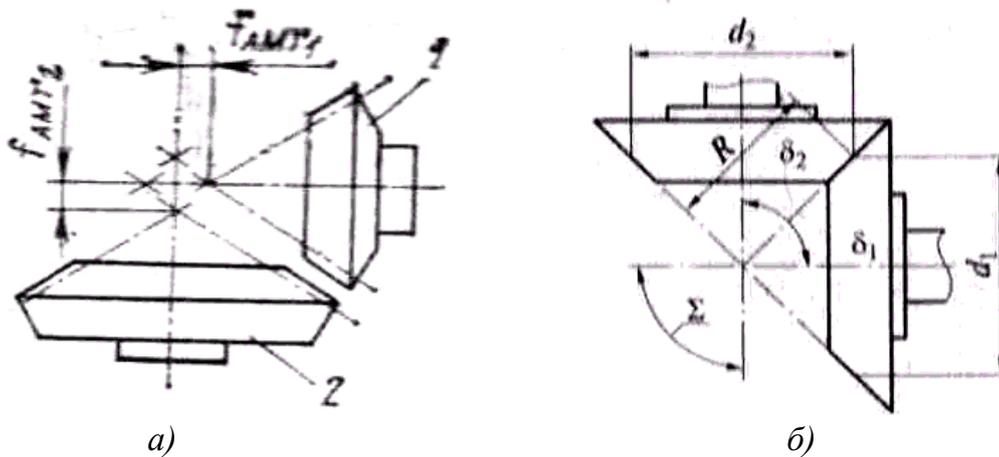


Рис. 3.6. Схемы к определению параметров геометрической точности конической передачи: а – осевые смещения вершин делительных конусов; б – схема к определению межосевого угла Σ , среднего конусного расстояния R , средних делительных диаметров d_1, d_2 и углов делительных конусов δ_1, δ_2

Таблица 3.4. Гарантированный боковой зазор $j_{n \min}$ и предельные отклонения межосевого угла E_{Σ} в конических и гипоидных передачах с $m \geq 1$ мм

Обозначение зазоров и откл.	Вид сопряжения	Среднее конусное расстояние R , мм											
		До 50			Св. 50 до 100			Св. 100 до 200			Св. 200 до 400		
		Угол делительного конуса зубчатого колеса δ, \dots°											
		До 15	15–25	Св. 25	До 15	15–25	Св. 25	До 15	15–25	Св. 25	До 15	15–25	Св. 25
$j_{n \min}$	Н	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Е	15	21	25	21	25	30	25	35	40	30	46	52
	Д	22	33	39	33	39	46	39	54	63	46	72	81
	С	36	52	62	52	62	74	62	87	100	74	115	130
	В	58	84	100	84	100	120	100	140	160	120	185	210
	А	90	130	160	130	160	190	160	220	250	190	290	320
$\pm E_{\Sigma}$	Н,Е	7,5	10	12	10	12	15	12	17	20	15	24	26
	Д	11	16	19	16	19	22	19	26	32	22	36	40
	С	18	26	30	26	30	32	30	45	50	32	56	63
	В	30	42	50	42	50	60	50	71	80	60	90	100
	А	45	63	80	63	80	95	80	110	125	95	140	160

Рассмотрим методы достижения точности зацепления конической пары на примере сборки конической передачи, представленной на рис. 3.7. Определяемые согласно ГОСТ осевые смещения зубчатых венцов f_{AMr1} и f_{AMr2} можно представить как замыкающие звенья двух размерных цепей, определяющих совпадение вершин делительных конусов по горизонтали $A_{\Delta} = f_{AMr1}$ (см. рис. 3.7) и по вертикали $B_{\Delta} = f_{AMr2}$ (см. рис. 3.8). Выявление и расчет этих цепей позволяют установить детали узла, размеры которых оказывают непосредственное влияние на формирование точности зацепления конической передачи:

совпадение вершин делительных конусов по горизонтали

$$A_{\Delta} = -A_1 - A_2 - A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8;$$

совпадение вершин делительных конусов по вертикали

$$B_{\Delta} = -B_1 - B_2 - B_3 + B_4 + B_5 + B_6 + B_7 + B_8.$$

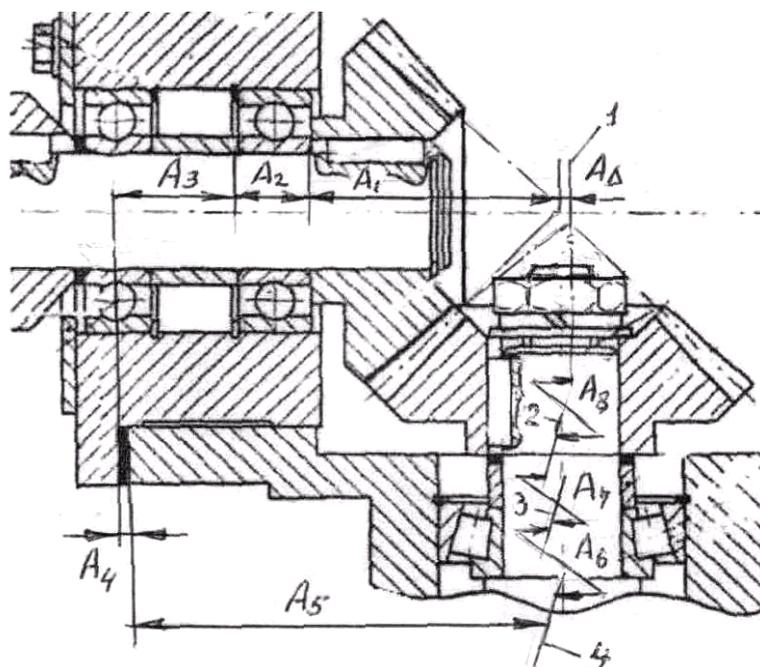


Рис. 3.7. Схема размерной цепи A_{Δ} , определяющей совпадение вершин делительных конусов по горизонтали: 1 – ось делительного конуса; 2 – ось базового отверстия колеса; 3 – ось опорной ступени вала; 4 – ось отверстия в корпусе под подшипник

Приведенные уравнения позволяют выполнить расчет в номиналах и установить правильность номинальных размеров комплектующих деталей, поступающих на сборку:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{i=8} A_i = f_{AMrI} = 0 \quad \text{и} \quad B_{\Delta} = \sum_{i=1}^{i=8} B_i = f_{AMrI} = 0.$$

Исходными данными для расчета размерных цепей в допусках являются:

$$T_{\Delta} = 2 \cdot f_{DM}; \quad \Delta_{\Delta}^{\epsilon} = +f_{DM}; \quad \Delta_{\Delta}^H = -f_{DM}; \quad \Delta_{0\Delta} = 0,$$

где $\pm f_{DM}$ – предельные осевые смещения зубчатых венцов.

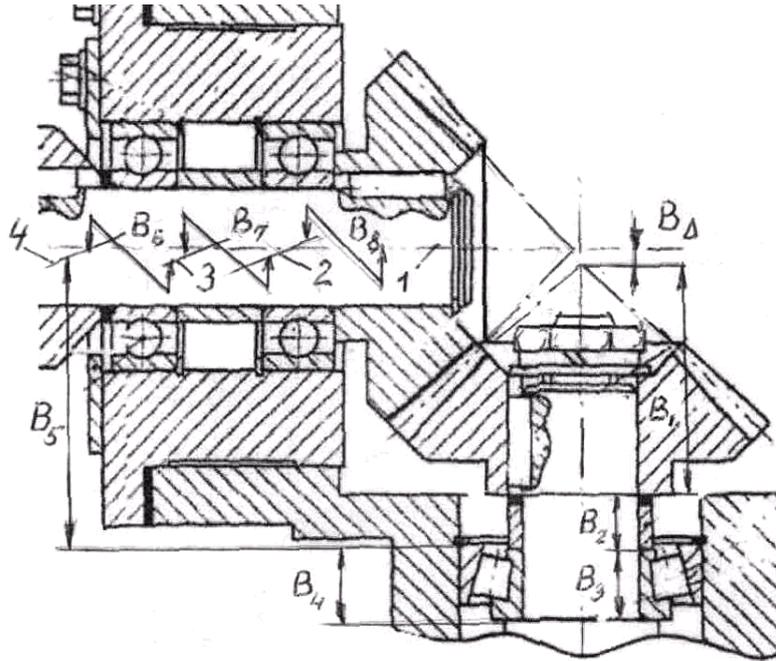


Рис. 3.8. Схема размерной цепи B_{Δ} , определяющей совпадение вершин делительных конусов по вертикали: 1 – ось делительного конуса; 2 – ось отверстия колеса; 3 – ось опорной шейки вала; 4 – ось отверстия в корпусе

Решение рассматриваемой задачи по методу полной взаимозаменяемости требует выполнения условий

$$T_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{i=8} T_{A_i} \quad \text{и} \quad T_{B_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{i=8} T_{B_i}.$$

При этом значения предельных отклонений (Δ_i^B , Δ_i^H) на составляющих звеньях в размерных цепях A_{Δ} и B_{Δ} должны соответствовать условию выполнения двух равенств:

$$\Delta_{\Delta}^{\epsilon} = \sum_{i=1}^{i=k} \vec{\Delta}_i^{\epsilon} - \sum_{i=k+1}^{i=m-1} \vec{\Delta}_i^H \leq +f_{DM}; \quad \Delta_{\Delta}^H = \sum_{i=1}^{i=k} \vec{\Delta}_i^H - \sum_{i=k+1}^{i=m-1} \vec{\Delta}_i^{\epsilon} \geq -f_{DM}.$$

Требуемая точность совпадения вершин делительных конусов A_{Δ} , B_{Δ} при сборке может быть достигнута также методом регулировки с использованием неподвижного компенсатора или методом пригонки путем снятия с компенсатора слоя металла. В размерных цепях A_{Δ} и B_{Δ} роль неподвижных компенсаторов могут выполнять звенья A_4 (кольцо) и B_2 (втулка). Величина компенсации T_k

$$T_k = \sum_{i=1}^{i=m-1} T'_i - T_{\Delta},$$

где T'_i – расширенные, экономически целесообразные допуски на составляющих звеньях; T_{Δ} – требуемый допуск на замыкающем звене.

Расчет количества групп компенсаторов N и их размеров следует выполнять по методике, изложенной в п. 1.3.

В случае применения метода пригонки необходимо оценить правильность размеров компенсаторов (звеньев A_4 , B_2) на предмет наличия на них минимального, но достаточного слоя металла для компенсации наибольшего возможного отклонения T_k . Это необходимое условие обеспечивают путем внесения в координату середины поля допуска компенсатора поправки Δ_k , которая при $\Delta_{0\Delta} = 0$ составляет

$$\Delta_k = \sum_{i=1}^{i=m-1} \Delta'_{oi} + \frac{T_k}{2},$$

где Δ'_{oi} – координаты середины расширенных допусков $T'_1 \dots T'_{m-1}$.

Для выявления фактического положения вершины делительного конуса с целью определения требуемого размера звена-компенсатора A_k в процессе сборки выполняют измерения, схемы которых приведены на рис. 3.9. В одно отверстие монтируют вал с зубчатым колесом (рис. 3.9, а), а во второе устанавливают оправку (эталонный валик), на оси которой должна располагаться вершина делительного конуса. Затем с помощью мерных плиток измеряют расстояние Π от торца зубчатого колеса, выполняющего роль измерительной базы, до образующей оправки и рассчитывают полученный размер K^* от торца до оси отверстия $K^* = \Pi + R$. По разности полученного размера K^* и требуемого K определяют смещение вершины делительного конуса: $\Delta_{\Delta} = f_{\Delta M} = K^* - K = (\Pi + R) - K$.

Вторая схема измерения, приведенная на рис. 3.9, б, позволяет решить ту же задачу с использованием плоского шаблона (калибра), по которому выставляют зубчатое колесо в осевом направлении. Измерительной базой в этом случае служит торцевая поверхность отверстия в корпусе, положение которой определено размером M относительно оси второго отверстия. Коническое колесо выставляют на требуемый размер K и измеряют расстояние A_K между торцом колеса и торцом корпуса. В соответствии с полученным размером A_K изготавливают или выбирают компенсатор и устанавливают его на вал $A_K = M - K$.

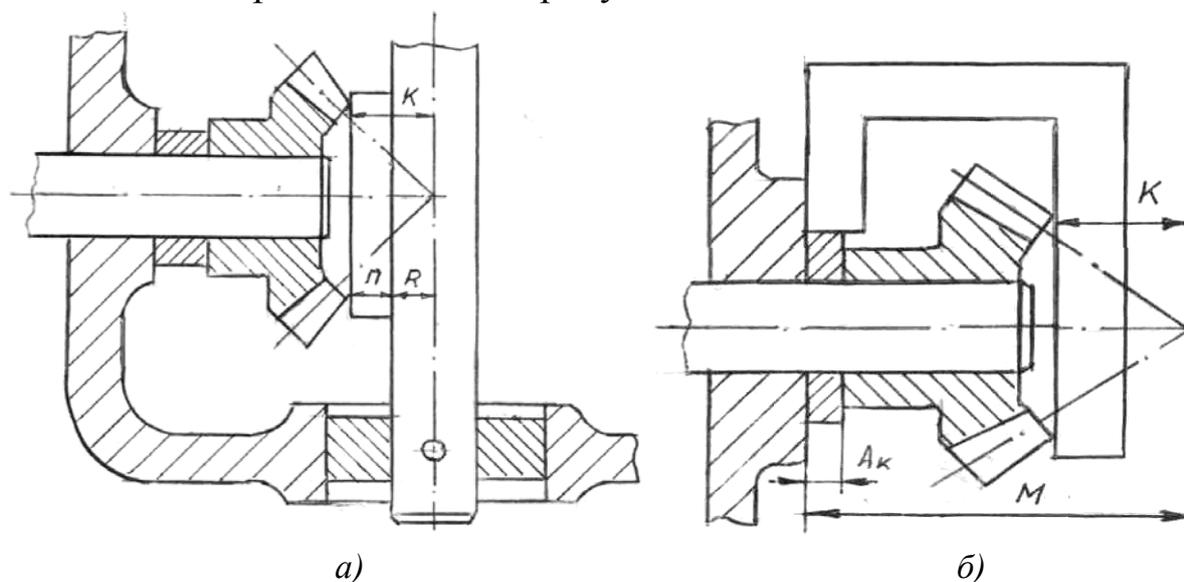


Рис. 3.9. Измерение положения вершины делительного конуса при сборке конической передачи: а – эталонного валика; б – с помощью плоского калибра

В табл. 3.5 приведены допускаемые по ГОСТ 1758-81 осевые смещения зубчатого венца $\pm f_{\text{дм}}$ для конических зубчатых передач с $m \geq 1$ мм.

Таблица 3.5. Нормы плавности работы конических передач с $m \geq 1$ мм. Предельные осевые смещения зубчатого венца $\pm f_{\text{дм}}$

Степень точности	Средний нормальный модуль m_n , мм	Среднее конусное расстояние R , мм								
		Св. 50...100			Св. 100...200			Св. 200...400		
		Угол делительного конуса зубчатого колеса δ , °								
		До 20	20...45	Св. 45	До 20	20...45	Св. 45	До 20	20...45	Св. 45
6-я	1...3,5	43	40	17	105	90	38	240	200	85
	3,5...6,3	26	22	9,5	60	50	21	130	105	45
	6,3...10	17	15	6	38	32	13	85	71	30
7-я	1...3,5	67	56	24	150	130	53	340	280	120
	3,5...6,3	38	32	13	80	71	30	180	150	63
	6,3...10	24	21	8,5	53	45	19	120	100	40

Степень точности	Средний нормальный модуль m_n , мм	Среднее конусное расстояние R , мм								
		Св. 50...100			Св. 100...200			Св. 200...400		
		Угол делительного конуса зубчатого колеса δ , °								
		До 20	20...45	Св. 45	До 20	20...45	Св. 45	До 20	20...45	Св. 45
8-я	1...3,5	95	80	34	200	180	75	480	400	170
	3,5...6,3	53	45	17	120	100	40	250	210	90
	6,3...10	34	30	12	75	63	26	170	140	60
9-я	1...3,5	140	120	48	300	260	105	670	560	240
	3,5...6,3	75	63	26	160	140	60	360	300	130
	6,3...10	50	42	17	105	90	38	240	200	85

Межосевой угол в конической передаче Σ также можно представить как замыкающее звено угловой размерной цепи $\beta_{\Delta} = \Sigma$ (рис. 3.10), выявление которой позволяет определить детали узла, угловые размеры которых оказывают непосредственное влияние на формирование точности межосевого угла

$$\beta_{\Delta} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_4 - \beta_5 - \beta_6 - \beta_7.$$

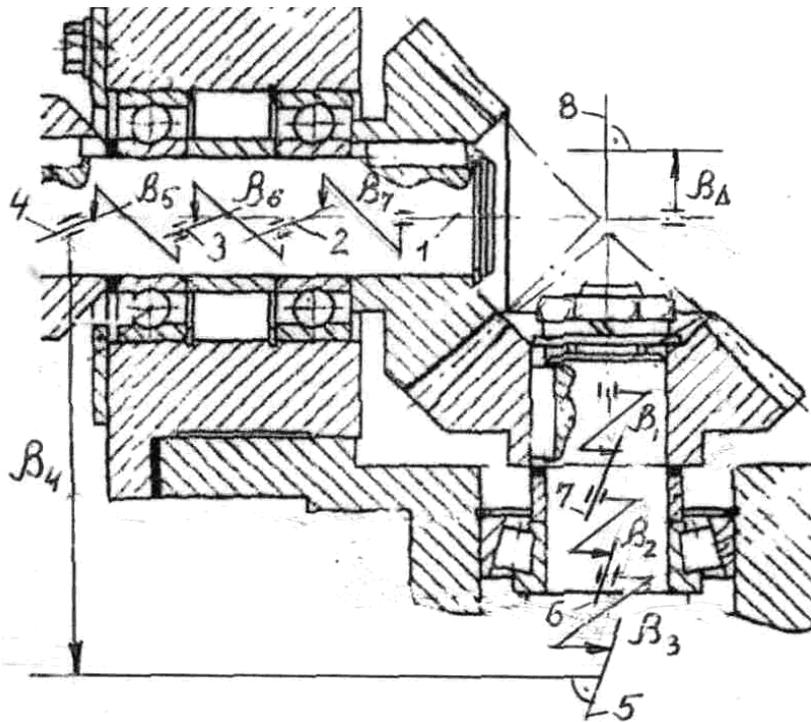


Рис. 3.10. Схема угловой размерной цепи β_{Δ} , определяющей угол скрещивания осей делительных конусов: 1 – ось делительного конуса; 2 – ось базового отверстия колеса; 3 – ось опорной ступени вала; 4 – ось отверстия в корпусе под подшипник; 5 – ось отверстия в корпусе под подшипник второго вала; 6 – ось опорной ступени второго вала; 7 – ось отверстия второго колеса; 8 – ось делительного конуса второго колеса

Расчет размерной цепи в номиналах позволяет оценить точность номинальных угловых размеров деталей, поступающих на сборку:

$$\beta_{\Delta} = \sum_{i=1}^{i=7} \beta_i = \Sigma = 90^{\circ}.$$

Исходными данными для расчета размерной цепи β_{Δ} в допусках являются:

допуск на замыкающем звене $T_{\beta_{\Delta}} = 2 \cdot E_{\Sigma r}$ и предельные отклонения:

$T_{\beta_{\Delta}} = \Delta^{\epsilon}_{\beta_{\Delta}} - \Delta^H_{\beta_{\Delta}}$, верхнее $\Delta^{\epsilon}_{\beta_{\Delta}} = + E_{\Sigma r} / R$, нижнее $\Delta^H_{\beta_{\Delta}} = - E_{\Sigma r} / R$, где E_{Σ} – предельные отклонения межосевого угла в передаче, измеряемые на среднем конусном расстоянии R . Значения предельных отклонений межосевого угла, установленные стандартом, приведены в табл. 3.4.

Рассматриваемая задача при сборке обычно решается методом полной взаимозаменяемости. Для данного примера это означает необходимость выполнения приведенных ниже равенств допусков и предельных отклонений

$$T_{\beta_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{i=7} T_{\beta_i};$$

$$\Delta^{\epsilon}_{\beta_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{i=3} \bar{\Delta}_i^{\epsilon} - \sum_{i=4}^{i=7} \bar{\Delta}_i^H \geq +E_{\Sigma r} \quad \text{или} \quad \Delta^{\epsilon}_{\beta_{\Delta}} = \bar{\Delta}_1^{\epsilon} + \bar{\Delta}_2^{\epsilon} + \bar{\Delta}_3^{\epsilon} - \bar{\Delta}_4^H - \bar{\Delta}_5^H - \bar{\Delta}_6^H - \bar{\Delta}_7^H \leq +E_{\Sigma r};$$

$$\Delta^H_{\beta_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{i=3} \bar{\Delta}_i^H - \sum_{i=4}^{i=7} \bar{\Delta}_i^{\epsilon} \geq -E_{\Sigma r} \quad \text{или} \quad \Delta^H_{\beta_{\Delta}} = \bar{\Delta}_1^H + \bar{\Delta}_2^H + \bar{\Delta}_3^H - \bar{\Delta}_4^{\epsilon} - \bar{\Delta}_5^{\epsilon} - \bar{\Delta}_6^{\epsilon} - \bar{\Delta}_7^{\epsilon} \leq +E_{\Sigma r}.$$

Целенаправленный разворот эксцентриситетов наружных колец подшипников, расположенных в опорах валов, позволяет в определенных пределах компенсировать отклонения межосевого угла конической передачи.

Качество зацепления конических зубчатых колес проверяют путем измерения бокового зазора с помощью щупа или по отпечатку мягкой свинцовой проволоочки, по углу свободного поворота одного колеса при заторможенном втором и по величине расположения пятна контакта на боковой поверхности зуба. Расположение пятна контакта при правильном зацеплении колес показано на рис. 3.11. При работе передачи под нагрузкой пятно контакта должно быть расположено в середине зуба (рис. 3.11, а), а при работе без нагрузки, когда упругие деформации в зацеплении уменьшаются, оно смещается в направлении вершины делительного конуса (рис. 3.11, б).

Относительные размеры суммарного пятна контакта в процентах и их предельные отклонения приведены в табл. 3.6.

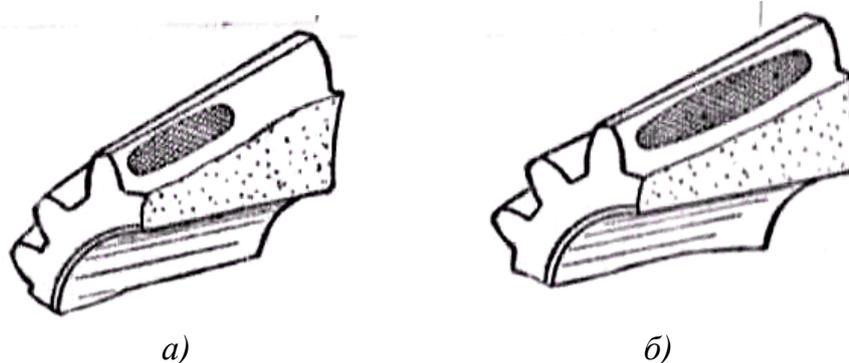


Рис. 3.11. Расположение пятна контакта на боковой поверхности зуба конического колеса: а – при работе без нагрузки; б – при работе под нагрузкой

Таблица 3.6. Нормы контакта зубьев в конических и гипоидных передачах с $m \geq 1$ мм согласно ГОСТ 1758-81, %

Степень точности	По длине зубьев		По высоте зубьев	
	Относительный размер пятна контакта, не менее	Предельные отклонения	Относительный размер пятна контакта, не менее	Предельные отклонения
4...5	65...80	± 10	75...90	± 10
6...7	60...75	± 10	75...90	± 10
8...9	50...70	± 15	70...85	± 15

3.3. Сборка червячных передач

В соответствии со служебным назначением червячные передачи бывают цилиндрические и глобоидные. Согласно ГОСТ 3675-81 на червячные передачи предусмотрено 12 степеней точности, шесть видов сопряжения *A, B, C, D, E, H* и восемь видов допусков на боковой зазор *h, d, c, b, a, z, y, x*, расположенных в порядке возрастания допуска. Соотношение между видом сопряжения и видом допуска на боковой зазор можно изменять, при этом могут быть использованы также виды допуска *x, y, z*. Для каждой степени точности установлены нормы кинематической точности, плавности и нормы контакта зубьев. Обозначение точности передачи осуществляется аналогично обозначению цилиндрических колес: 8-7-6 *B a* ГОСТ 3675-81.

В соответствии со служебным назначением червячные передачи разделяют на кинематические, которые изготавливают по 3...6-й сте-

пеням точности, и силовые, изготавливаемые по 5...9-й степеням точности.

Для достижения требуемых параметров качественного зацепления червячной пары необходимо в процессе сборки обеспечить создание заданного гарантированного бокового зазора $j_{n \min}$ между винтовой поверхностью червяка и боковыми поверхностями зубьев колеса. Значения гарантированного бокового зазора, определяемые для червячных передач согласно ГОСТ 3675-81, приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7. Гарантированный боковой зазор $j_{n \min}$ для червячных передач с $m \geq 1$ мм, мкм

Вид сопряжения	Межосевое расстояние a_w , мм			
	До 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250
Н	0	0	0	0
Е	30	35	40	46
Д	46	54	63	72
С	74	87	100	115
В	120	140	160	185
А	190	220	250	290

На формирование требуемой точности бокового зазора влияют:

- толщины зубьев колеса и витков червяка, получаемые при их нарезании на операциях механообработки;
- смещение образующих делительных цилиндров червяка и червячного колеса, которое формируется в процессе сборки;
- отклонение расположения средней плоскости червячного колеса относительно оси червяка, которая также формируется на этапе сборки;
- точность поворота оси делительного цилиндра колеса относительно оси делительного цилиндра червяка, достигаемая при сборке передачи.

Таким образом, достижение требуемой точности бокового зазора зависит как от точности изготовления червяка и червячного колеса, так и от точности сборки червячной передачи. На рис. 3.12 показаны параметры геометрической точности червячной передачи, формируемые в процессе ее сборки. Согласно стандарту отклонение межосевого расстояния f_{ar} (предельные $\pm f_a$) определяется как разность действи-

тельного и номинального межосевых расстояний a в собранной передаче (рис. 3.12, а). Смещение средней плоскости червячного колеса относительно оси червяка f_{xr} (предельные $\pm f_x$) определяется как расстояние между этой плоскостью и параллельной плоскостью, проходящей через ось червяка (рис. 3.12, б). В свою очередь, отклонение межосевого угла передачи $f_{\Sigma r}$ (предельные $\pm f_{\Sigma}$) определяется как разность между действительным и номинальным межосевыми углами (рис. 3.12, в). Отклонение межосевого угла $f_{\Sigma r}$ выражается в линейных величинах на ширине зубчатого венца колеса.

Рассмотрим причины формирования отклонений и возможные методы достижения точности зацепления червяка и червячного колеса на примере сборки червячной передачи, представленной на рис. 3.13.

Технология сборки представленной червячной передачи включает:

- сборку червячного колеса со ступицей (при составном колесе);
- установку червячного колеса со ступицей и подшипниками на вал;
- монтаж вала в сборе с колесом в корпус с установкой двух крышек;
- монтаж червяка и его подшипников в корпус;
- регулировку осевого положения колеса и зазоров в подшипниках.

Смещение образующих делительных цилиндров червяка и червячного колеса можно представить как замыкающее звено размерной цепи $E_{\Delta} = 0$:

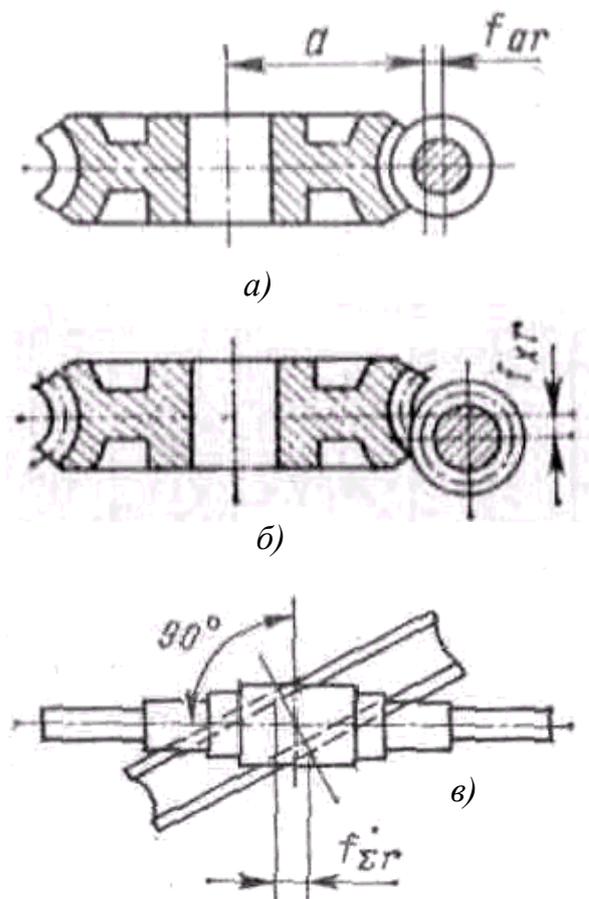


Рис. 3.12. Параметры точности собранной червячной передачи, определяемые согласно ГОСТ 3675-81: а – точность межосевого расстояния; б – точность положения средней плоскости червячного колеса относительно оси червяка; в – точность межосевого угла передачи

$$E_{\Delta} = -E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + E_7 - E_8.$$

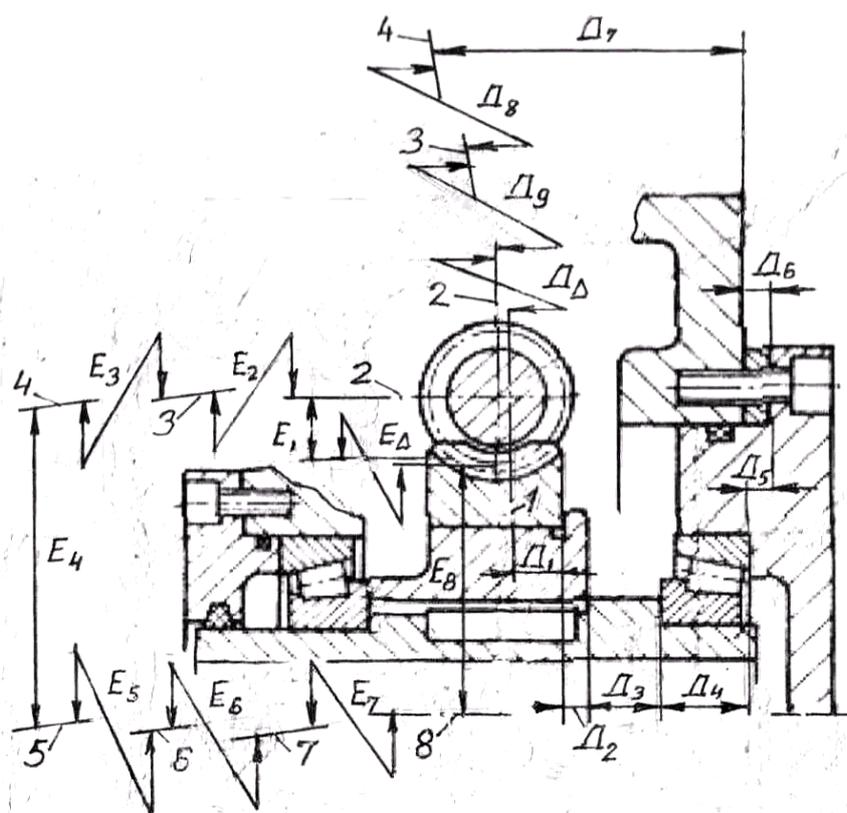


Рис. 3.13. Размерные связи, определяющие параметры точности червячной передачи, достигаемые в процессе сборки: 1, 2 – средняя плоскость червячного колеса и параллельная ей плоскость, проходящая через ось делительного цилиндра червяка; 3, 4 – оси опорной шейки червяка и отверстия в корпусе; 5, 6 – оси отверстия в корпусе под вал колеса и опорной шейки вала; 7, 8 – оси ступени вала и делительного цилиндра колеса

Составляющими звеньями цепи являются размеры деталей, которые непосредственно определяют точность положения червяка и червячного колеса (табл. 3.8).

Таблица 3.8. Отклонения, возникающие на каждом из звеньев, зависящие от точности изготовления детали узла

Звено цепи	Сущность определяемого размера детали узла	Точность изготовления деталей
E_1	Радиус делительного цилиндра червяка	Точность червяка
E_2	Смещение оси делительного цилиндра червяка относительно оси опорной шейки	

Звено цепи	Сущность определяемого размера детали узла	Точность изготовления деталей
E_3	Смещение оси опорной шейки червяка относительно оси отверстия в корпусе	Точность подшипника
E_4	Расстояние между осями двух отверстий в корпусе	Точность корпуса
E_5	Смещение оси опорной шейки полого вала относительно оси отверстия в корпусе	Точность подшипника
E_6	Смещение оси ступени полого вала относительно его опорной шейки	Точность полого вала
E_7	Смещение оси делительного цилиндра червячного колеса относительно оси его базового отверстия	Точность червячного колеса
E_8	Радиус делительного цилиндра червячного колеса	

Численные значения предельных отклонений межосевого расстояния в червячных передачах $\pm f_a$, определяемые стандартом, приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9. Предельные отклонения межосевого расстояния в червячных передачах $\pm f_a$ по ГОСТ 3675-81

Степень точности	Межосевое расстояние, a_w , мм			
	До 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250
	$\pm f_a$ мкм			
4-я	11	13	15	17
5-я	18	20	24	26
6-я	28	32	38	42
7-я	45	50	60	67
8-я	71	80	90	105
9-я	110	130	150	160

Если приведенные отклонения отнести к замыкающему звену размерной цепи $E_\Delta = 0$, то можно записать

$$T_\Delta = 2 \cdot f_a; \quad \Delta_\Delta^s = +f_a; \quad \Delta_\Delta^H = -f_a; \quad \Delta_{0\Delta} = 0.$$

При этом рекомендуется, чтобы сумма допусков на звеньях (E_2, \dots, E_7), определяющих относительное положение червяка и червячного колеса, не превышала $0,75 T_\Delta$.

Для червячных передач с нерегулируемым межосевым расстоянием, изготавливаемых по 6...9-й степеням точности, требуемое совпадение образующих делительных цилиндров червяка и червячного колеса обычно достигается методами полной или неполной взаимозаменяемости. При этом с увеличением точности коэффициент риска возрастает. Поэтому для передач высокой степени точности 4...6-й осуществляют подбор на стендах червячных пар по наилучшим параметрам их зацепления. Подбор выполняют на стендах в процессе проверки качества зацепления и приработки червячной пары. Для червячных передач с регулируемым межосевым расстоянием, применяемых, например, в делительных кинематических цепях зуборезных станков, точность межосевого расстояния (совпадения образующих делительных цилиндров червяка и колеса) достигается методом регулировки путем относительного радиального смещения червяка.

Приведенная на рис. 3.13 размерная цепь D_{Δ} определяет совмещение средней плоскости червячного колеса 1 с осью червяка 2

$$D_{\Delta} = -D_1 - D_2 - D_3 - D_4 - D_5 + D_6 + D_7 + D_8 + D_9.$$

Расчет размерной цепи в номиналах $D_{\Delta} = \sum_{i=1}^{i=9} D_i = f_{xr} = 0$ позволяет оце-

нить правильность назначения номинальных размеров на детали, которые непосредственно определяют относительное осевое положение червячного колеса, и учесть их при входном контроле на сборку (табл. 3.10).

Таблица 3.10. Отклонения, возникающие на замыкающем звене D_{Δ} , зависящие от точности изготовления деталей узла

Звено цепи	Сущность определяемого размера детали	Точность изготовления деталей
D_1	Половина ширины червячного колеса	Точность червячного колеса
D_2	Толщина буртика червячного колеса	
D_3	Длина ступени полого вала	Точность вала
D_4	Ширина подшипника	Точность подшипника
D_5	Расстояние между двумя опорными торцами крышки	Точность крышки

Звено цепи	Сущность определяемого размера детали	Точность изготовления деталей
D_6	Толщина кольца	Точность кольца
D_7	Расстояние от торца корпуса до оси отверстия	Точность корпуса
D_8	Смещение оси опорной шейки червяка относительно оси отверстия в корпусе	Точность подшипника
D_9	Смещение оси делительного цилиндра червяка относительно оси его опорной шейки	Точность червяка

Отклонения, возникающие на замыкающем звене D_{Δ} , зависят от точности изготовления деталей узла, входящих в размерную цепь. Расчет размерной цепи в допусках выполняют на основе исходных данных

$$T_{\Delta} = 2 \cdot f_x; \quad \Delta_{\Delta}^s = +f_x; \quad \Delta_{\Delta}^H = -f_x; \quad \Delta_{0\Delta} = 0,$$

где $\pm f_x$ – предельные смещения средней плоскости червячного колеса, определяемые согласно ГОСТ 3675-81 (табл. 3.11).

Таблица 3.11. Предельные смещения средней плоскости червячного колеса в червячной передаче $\pm f_x$ по ГОСТ 3675-81

Степень точности	Межосевое расстояние, a_{ω} , мм				
	До 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315
	$\pm f_x$, мкм				
4-я	8,5	10	11	13	14
5-я	14	16	18	20	22
6-я	22	25	28	32	36
7-я	34	40	45	50	56
8-я	53	63	71	80	90
9-я	85	100	110	130	140

Для решения размерной цепи D_{Δ} по методу полной взаимозаменяемости требуется обеспечить

$$T_{D_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{i=9} T_{D_i}; \quad \Delta_{D_{\Delta}}^s = \sum_{i=6}^{i=9} \vec{\Delta}_i^s - \sum_{i=1}^{i=5} \vec{\Delta}_i^H \leq +f_x; \quad \Delta_{D_{\Delta}}^H = \sum_{i=6}^{i=9} \vec{\Delta}_i^H - \sum_{i=1}^{i=5} \vec{\Delta}_i^s \geq -f_x.$$

Требуемое совмещение средней плоскости червячного колеса с осью червяка $T_{D\Delta}$ может быть достигнуто также методом регулировки с использованием неподвижного компенсатора или методом пригонки путем снятия с компенсатора слоя металла (см. раздел 1.3). В качестве компенсатора может быть выбрано кольцо – звено D_6 и ступица колеса – звено D_2 . Изменение размера компенсатора позволяет переместить зубчатое колесо вместе с валом в осевом направлении на требуемую величину.

Контроль качества зацепления червячной пары осуществляют по плавности и легкости вращения передачи. Боковой зазор измеряют с помощью щупа или по углу свободного поворота (мертвого хода) червяка до момента начала вращения колеса. С этой целью на червяк устанавливают градуированный диск, по которому измеряют угол свободного поворота червяка, а с помощью установленного индикатора фиксируют момент начала вращения колеса.

Контроль качества зацепления по расположению пятна контакта на боковой поверхности зуба червячного колеса позволяет оценить смещение средней плоскости колеса относительно оси червяка. При этом краску наносят на винтовую поверхность червяка, которая затем при вращении переносится на зуб колеса. Возможные варианты расположения пятна контакта на боковой поверхности зуба колеса показаны на рис. 3.14.

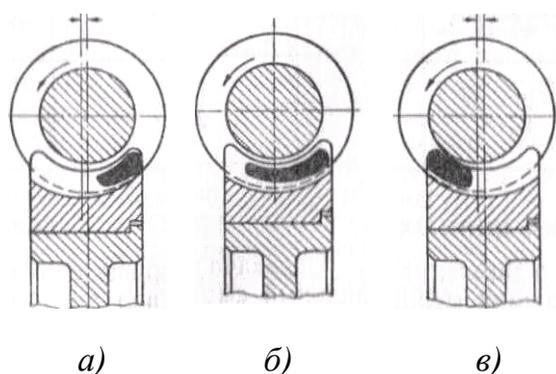


Рис. 3.14. Расположение пятна контакта на боковой поверхности зуба колеса: а – колесо смещено влево; б – правильное зацепление; в – колесо смещено вправо

При правильном зацеплении имеет место равномерный боковой зазор и пятно контакта располагается симметрично (рис. 3.14, б). В случае смещения колеса влево (рис. 3.14, а) или направо (рис. 3.14, в) возникает неравномерный боковой зазор и пятно контакта соответственно смещается в сторону правого или левого торца колеса.

В процессе контроля по краске определяют также относительные размеры суммарного пятна контакта по высоте и длине. Полученные значения сравнивают с допустимыми отклонениями, установленными стандартом (табл. 3.12)

Таблица 3.12. Суммарное пятно контакта в червячной передаче по ГОСТ 3675-81

Степень точности	Суммарное пятно контакта, %			
	по высоте		по длине	
	Относительные размеры	Допустимое отклонение	Относительные размеры	Допустимое отклонение
4...5	75	-10	70	-10
6...7	65	-10	60	-10
8...9	55	-15	50	-15

На положение пятна контакта оказывает влияние также отклонение межосевого угла передачи, предельные отклонения которого $\pm f_{\Sigma}$ регламентирует стандарт на червячные передачи (табл. 3.13).

Таблица 3.13. Предельные отклонения межосевого угла червячной передачи $\pm f_{\Sigma}$ по ГОСТ 3675-81

Ширина зубчатого венца червячного колеса, мм	Степень точности					
	4-я	5-я	6-я	7-я	8-я	9-я
	$\pm f_{\Sigma}$, мкм					
До 63	6,0	7,1	9	12	16	22
63 ... 100	7,5	9,5	12	17	22	28
100...160	11	13	17	24	30	40

Для определения деталей узла, угловые размеры которых оказывают влияние на формирование точности межосевого угла передачи, необходимо выявить угловую размерную цепь β_{Δ} , замыкающим звеном которой служит межосевой угол $\beta_{\Delta} = \Sigma = 90^{\circ}$. Составляющими звеньями такой цепи являются угловые размеры, которые определяют параллельность осей ступеней вала колеса и червяка, а также угол между осями двух отверстий в корпусе. Отклонения от перпендикулярности осей отверстий в корпусе под вал колеса и под червяк не должны превышать $0,75 f_{\Sigma}$.

Для червячных передач с нерегулируемым межосевым расстоянием, изготавливаемых по 6...9-й степеням точности, требуемый межосевой угол β_{Δ} обычно получают методами полной или неполной взаимозаменяемости с небольшим коэффициентом риска, который воз-

растает с увеличением степени точности передачи. При этом имеется возможность осуществить малую регулировку относительного углового положения осей. С этой целью выполняют целенаправленный разворот эксцентриситетов наружных колец подшипников в опорах червяка и червячного колеса.

Проверка качества зацепления передачи по величине крутящего момента на червяке, по величинам бокового зазора и суммарного пятна контакта и его расположения на боковой поверхности зуба позволяет в комплексе оценить точность изготовления и сборки деталей червячной передачи с учетом ряда показателей, относящихся к различным нормам точности.

Контрольные вопросы

1. Какие степени точности установлены на зубчатые колеса?
2. От чего зависит выбор степени точности зубчатой передачи?
3. Назовите виды сопряжения зубчатых колес.
4. Что определяет вид сопряжения зубчатой передачи?
5. Назовите нормы точности, устанавливаемые на зубчатые передачи.
6. Что определяют нормы кинематической точности зубчатых передач?
7. Что определяют нормы плавности зубчатых передач?
8. Что определяют нормы контакта зубьев?
9. Каким форматом записи определяют точность цилиндрических зубчатых колес?
10. Какие факторы определяют величину бокового зазора в цилиндрических зубчатых передачах?
11. Как можно проверить качество зацепления цилиндрических зубчатых колес?
12. Как можно проверить качество зацепления червячной пары?
13. Как можно проверить качество зацепления конических зубчатых колес?
14. Каким форматом записи определяют точность червячных зубчатых колес?
15. Какие задачи достижения точности решают при сборке конических зубчатых колес?
16. Как обеспечивается совпадение вершин делительных конусов при сборке конических колес?

17. В каких механизмах применяют кинематические червячные передачи?
18. В каких механизмах используют силовые червячные передачи?
19. Как обеспечивается требуемый угол скрещивания осей делительных цилиндров червяка и червячного колеса?
20. Как проверить величину бокового зазора в конической передаче?
21. Какие параметры точности необходимо обеспечить при сборке червячных передач?

ГЛАВА 4. СБОРКА СОЕДИНЕНИЙ

Технология сборки изделий в общем случае представляет собой процесс создания различных видов собираемых деталей и сборочных единиц. Сборочные работы – заключительный этап производственного процесса изготовления изделий, поэтому качество получаемых изделий, его надежность и долговечность во многом зависят от качества создаваемых соединений отдельных деталей и сборочных единиц. В соответствии с этим технологическим методам создания требуемых соединений следует уделять особое внимание.

Соединение деталей и сборочных единиц в общем случае может быть неподвижным или подвижным. В свою очередь, каждое из этих соединений конструктивно может быть выполнено как разъемное и неразъемное. Примеры конструктивной реализации соединений приведены на рис. 4.1.

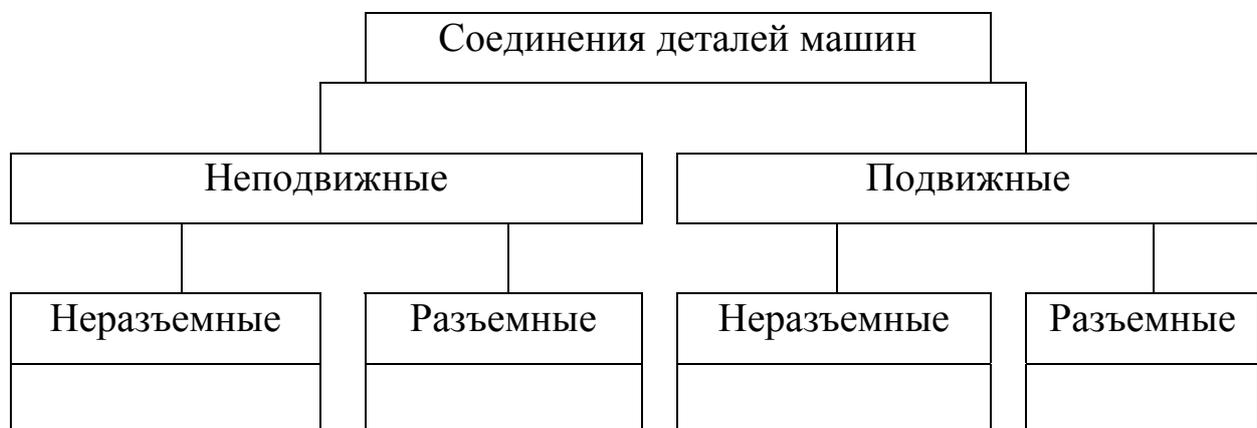


Рис. 4.1. Виды соединений деталей машин

В неподвижных соединениях собранные детали сохраняют неизменное относительное расположение. Между тем как в подвижных соединениях собранные детали имеют возможность осуществлять задаваемые относительные перемещения.

4.1. Сборка разъемных соединений

Разъемные подвижные соединения выполняют с использованием посадок с гарантированным зазором, а также в шаровых, винтовых и других соединениях. При соединении двух или более изделий необходимо обеспечить точность их относительного расположения.

Для выполнения неподвижных разъемных соединений в машиностроении используют различные по размерам крепежные детали: болты, винты, шпильки, гайки. Виды создаваемых резьбовых соединений приведены на рис. 4.2.

Операция сборки резьбовых соединений включает следующие последовательно выполняемые технологические переходы:

1. Установка и относительная ориентация скрепляемых деталей.
2. Установка крепежа в отверстие, завинчивание на 2...3 нитки резьбы.
3. Завинчивание, затяжка с заданным крутящим моментом (усилием).
4. Контроль затяжки и стопорение (для ответственных соединений).

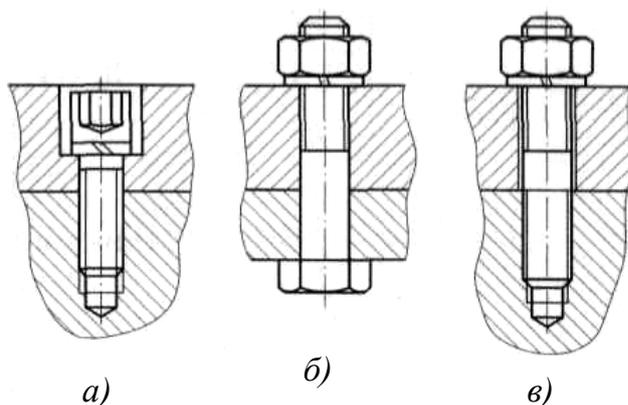


Рис. 4.2. Виды резьбовых соединений

Приведенная последовательность полно соответствует винтовому соединению (рис. 4.2, а). Для болтового соединения (рис. 4.2, б) после установки болта в отверстие его необходимо удерживать от выпадения, а затем установить шайбу и навинтить гайку. Для шпилечного соединения (рис. 4.2, в) в одну из скрепляемых деталей предварительно ввинчивают шпильку, создавая при этом требуемый натяг. Момент затяжки шпильки и перпендикулярность ее относительно плоскости разъема контролируют.

После установки крепежных деталей (болты, винты и т. п.) иногда возникает необходимость регулирования положения верхней устанавливаемой детали относительно нижней базовой. Регулирование осуществляется путем перемещения устанавливаемой детали в горизонтальной плоскости до момента совмещения центров крепежных отверстий присоединяемой и базовой детали. Величина возможной регулировки Δ в этом случае определяется как разность диаметров отверстия D и диаметра d крепежной детали $\Delta = (D - d)$. Если допуск на межосевое расстояние смежных отверстий T_m превышает величину этой разности $\Delta T_m > (D - d)$, то возможна несобираемость многоболтового соединения.

Гарантированное обеспечение собираемости многоболтового соединения возможно при условии, когда $T_m < (D - d)$. Поэтому для расширения возможности регулирования положения присоединяемой детали необходимо увеличивать разность диаметров $(D - d)$ и уменьшать допуски на межосевые расстояния. Если имеют место повышенные требования к точности относительного положения соединяемых деталей, а в процессе эксплуатации возникает необходимость их сборки-разборки, то после окончательной установки деталей выполняют сверление двух отверстий, в которые устанавливают два базовых штифта (цилиндрические или конические).

Сборка многочисленных резьбовых соединений – достаточно трудоемкая операция. Поэтому для механизации сборки резьбовых соединений применяют различные по конструкции гайковерты, винтоверты, которые могут иметь один или несколько шпинделей, а также динамометрические ключи, позволяющие контролировать усилие затяжки крепежного элемента.

Для ввинчивания шпилек в скрепляемые детали используют типовые патроны, которые по способу захвата бывают шариковыми, роликовыми и резьбовыми, а по способу вращения – реверсивными и нереверсивными.

Схема конструкции реверсивного патрона приведена на рис. 4.3. Корпус патрона устанавливается и крепится на шлицевом конце оправки при помощи гайки 2. С корпусом жестко соединен стакан 3 компенсационной муфты 4, передающей движение ступенчатому валу 5 и

обеспечивающей ему необходимые повороты и смещение. В отверстие вала установлен винт 6, который приводится вместе с валом во вращение при помощи наклонных упоров стакана и кольца 7. Далее посредством пальца 8 движение передается через наклонные упоры к головке 10, навинчиваемой на резьбовую часть шпильки. В головку устанавливается сменная шестигранная гайка 11, навинчиваемая на свободный резьбовой конец шпильки до упора 9. На головку устанавливается гайка 12 со сменными кольцами 13 и 14, обеспечивающими наладку на установку шпильки по высоте.

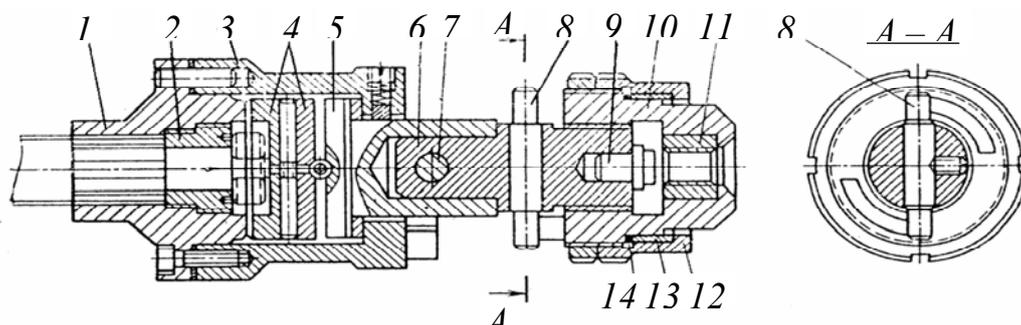


Рис. 4.3. Реверсивный патрон для ввинчивания шпилек в изделие с требуемым натягом

Ввертываемая шпилька должна быть установлена в скрепляемую деталь с натягом, который может быть получен одним из следующих способов: натяг по резьбе; посадка шпильки на сбеги резьбы; упор шпильки в дно резьбового отверстия; посадка на клей; завинчивание шпильки в гладкое отверстие (только для алюминиевых и магниевых сплавов); постановка шпильки со вставкой (спиральной проволочной); упор буртом шпильки в плоскость разъема скрепляемых деталей.

После сборки резьбового соединения необходимо выполнить его затяжку, которая должна создать в соединении усилия, превышающие действующие переменные рабочие нагрузки. Правильность выполнения при сборке предварительной затяжки во многом определяет надежность работы резьбового соединения.

Напряжение затяжки в общем случае рассчитывают по формуле

$$\sigma_3 = Q_3 / F_1,$$

где Q_3 – усилие затяжки; F_1 – площадь сечения стержня крепежной детали.

Верхний предел напряжения затяжки ограничивается максимально допустимым запасом прочности крепежной детали

$$\sigma_{z \max} = (0,5 \dots 0,9) \sigma_T,$$

где σ_T – предел текучести материала крепежной детали.

В свою очередь, номинальное напряжение, возникающее при работе в стержне болта или шпильки, составляет

$$\sigma_p = P / F_1,$$

где P – осевая нагрузка, возникающая на крепежной детали при работе.

Минимально возможные напряжения предварительной затяжки устанавливают из условия жесткости (плотности) и герметичности стыка

$$\sigma_{z \min} = \sigma_p (1 - \chi),$$

где χ – коэффициент нагрузки ($\chi = 0,2 \dots 0,4$), учитывающий, что в затянутом соединении внешняя нагрузка на крепежную деталь передается частично.

В процессе работы соединения в результате вибраций и временных повышений рабочих нагрузок происходит снижение напряжения предварительной затяжки. С учетом этого расчетное значение напряжения затяжки увеличивают в соответствии с величиной принимаемого коэффициента v

$$\sigma_z = v \cdot \sigma_p (1 - \chi).$$

При постоянных нагрузках принимают $v = 1,25 \dots 2,0$; для переменных – $v = 1,25 \dots 2$. По условиям герметичности назначают $v = 1,2 \dots 2,5$ для мягких прокладок; $v = 2,5 \dots 3,5$ для металлических фасонных и $v = 3 \dots 4$ для плоских металлических прокладок.

В процессе сборки измерить усилие затяжки напрямую практически невозможно. Поэтому о его величине судят по другим параметрам, косвенно связанным с усилием затяжки: по величине крутящего момента, углу поворота гайки или по удлинению стержня крепежной детали.

С этой целью при ручной затяжке для контроля применяют динамометрические ключи или ключи с предельно задаваемой величиной момента для затягивания как правых, так и левых резьбовых соединений. При использовании механизированных инструментов – гайковертов и винтовертов – контроль осуществляется с помощью пре-

дельных устройств (фрикционных муфт, реле тока и др.), встроенных в данный механизм.

Величина прикладываемого крутящего момента M_3 связана с усилием затяжки зависимостью

$$M_3 = k \cdot Q_3 \cdot d ,$$

где k – коэффициент, учитывающий трение в резьбовом соединении; d – наружный диаметр резьбы.

Практика показывает, что в зависимости от твердости деталей, шероховатости сопрягаемых поверхностей, вида покрытия и смазки требуемый момент затяжки может отличаться от расчетного в пределах $\pm 20\%$. При этом погрешности, связанные с конструктивными особенностями применяемого инструмента, не всегда позволяют обеспечить заданный момент. Так, например, при использовании гайковертов с муфтами ударного действия разброс крутящего момента составляет $\pm 25\%$, а гайковертов с фрикционными муфтами $\pm 10\%$. При использовании более точных автоматизированных систем с тензодатчиками разброс может находиться в пределах $\pm 1,0\%$.

Необходимые значения крутящих моментов для затяжки резьбовых соединений приводятся в таблицах справочной литературы, в которых учитываются размеры и геометрия резьбы, прочность материала крепежных деталей, тип поверхностного покрытия и др.

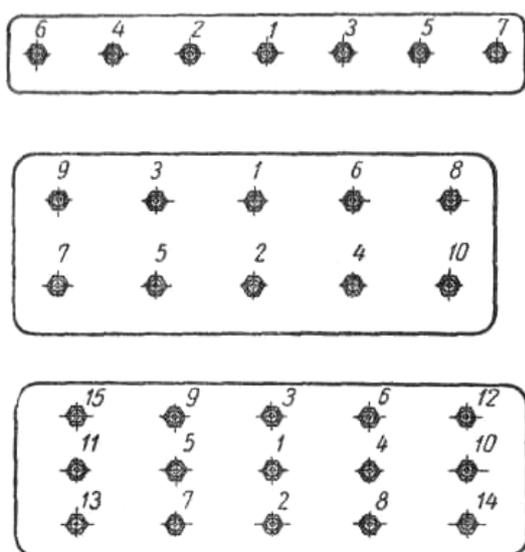


Рис. 4.4. Схема очередности затяжки резьбовых соединений

Для сборки ответственных резьбовых соединений, когда присутствует группа крепежных деталей, в технических условиях на сборку указывают очередность предварительной и окончательной затяжек крепежных элементов (рис. 4.4).

Затяжку начинают от центра по диагонали. Это объясняется тем, что детали при затяжке постепенно деформируются. Применяемая последовательность затяжки позволяет обеспечить требуемый контакт по всей поверхности соединяемых деталей.

Одним из направлений рационализации сборки является дальнейшее совершенствование конструкции крепежных деталей. В настоящее время в машиностроении широко применяют самонарезающие винты, которые не требуют нарезания резьбы в предварительно обработанных отверстиях скрепляемых деталей (рис. 4.5, а) или вообще не требуют предварительного сверления отверстий (рис. 4.5, б, в). Последние применяют для соединения металлических и других деталей толщиной не более 12 мм.

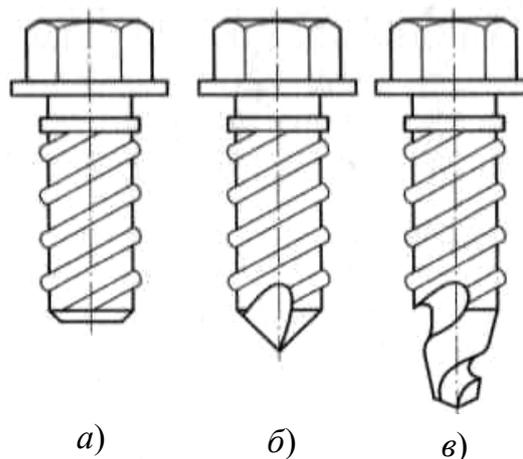


Рис. 4.5. Схема конструкции самонарезающих винтов

Применение самонарезающих винтов позволяет исключить в технологии механообработки деталей многочисленные операции сверления мелких отверстий и нарезания в них резьб, которые в сумме составляют достаточно высокую трудоемкость. При этом исключается риск поломки сверл малых диаметров (до 6 мм), а следовательно, и необходимость исправления возможного брака. Помимо этого за счет уплотнения и отсутствия зазоров повышаются прочность и надежность соединения между скрепляемыми деталями.

Практика показывает, что при использовании крепежных деталей такой конструкции трудоемкость сборки резьбовых соединений может быть снижена до 40 %. При этом создаются благоприятные возможности для автоматизации процесса соединения деталей.

Шпоночные и шлицевые соединения, применяемые для передачи крутящих моментов в сочленениях: вал–зубчатое колесо, вал–шкив, вал–муфта и других, являются разъемными. Их геометрические параметры определяются соответствующими стандартами. Поэтому соблюдение требований геометрической точности деталей соединения при их изготовлении (см. пп. 8.1, 8.6, 12.1) позволяет осуществлять их сборку с использованием метода полной взаимозаменяемости.

Наиболее распространенными считаются соединения с призматическими и сегментными шпонками. В соответствии с требованием конструкторской документации на чертеже соединения должны быть

указаны посадки в сочленениях паз втулки – шпонка и паз вала – шпонка, а также посадка в сочленении вал – втулка

$$18 \frac{N9}{h9} \cdot \frac{Js9}{h9} \times 11 \times 100 \text{ ГОСТ22360–78.}$$

Анализ собираемого соединения на допустимые напряжения смятия $[\sigma_{см}]$ и среза $[\tau_{ср}]$ шпонки выполняют по выражениям

$$\sigma = \frac{4M_{кр}}{h \cdot l \cdot d} \leq [\sigma_{см}]; \quad \tau = \frac{2M_{кр}}{b \cdot l \cdot d} \leq [\tau_{ср}],$$

где b , h , l – соответственно ширина, высота и длина шпонки.

Технология сборки шпоночного соединения включает установку шпонки в паз вала; контроль плотности посадки и параллельности поверхностей шпонки относительно оси вала; установку сопряженной детали; фиксацию сопряженной детали.

Длинные шпонки после установки в паз вала могут дополнительно крепиться винтами. В крупносерийных и массовых производствах сборку обычно выполняют по методу полной взаимозаменяемости. В условиях единичного и мелкосерийного производства допускается подбор и пригонка шпонки по ширине паза вала.

Шлицевые соединения, которые могут быть прямобочные, эвольвентные и треугольные, также являются разъемными. Они служат для передачи значительных больших крутящих моментов при обеспечении относительно высоких требований соосности соединяемых деталей.

Прямобочное шлицевое соединение на сборочном чертеже обозначают записью $D - 8 \times 42 \times 48 \frac{H7}{js6} \times 8 \frac{F8}{f8}$, которая определяет требования точности изготовления собираемых деталей (см. пп. 8.6, 12.1).

Сборку шлицевых соединений обычно выполняют по методу полной взаимозаменяемости, а при повышенных требованиях применяют метод групповой взаимозаменяемости, предусматривающий измерение и сортировку деталей по группам размеров.

Сборке предшествуют тщательная очистка базовых поверхностей деталей, их контроль и внешний осмотр на предмет выявления дефектов поверхностей (выбоин, сколов и т.п.). При сборке подвижных соединений детали должны иметь возможность плавных осевых перемещений (от руки). Величины зазоров в радиальном и окружном на-

правлениях не должны выходить за пределы допусков. Сборку деталей неподвижных шлицевых соединений чаще всего выполняют путем запрессовки. При высоких требованиях к соосности деталей соединения после сборки проводят контроль с использованием в качестве измерительных баз центровых гнезд вала или цилиндрических поверхностей его опорных шеек.

4.2. Сборка неразъемных соединений

Под неразъемным понимается соединение, которое невозможно разобрать без разрушения его составных частей. Неподвижные неразъемные соединения используют в тех случаях, когда в процессе эксплуатации разборка изделия не предусматривается.

Неподвижные неразъемные соединения выполняют пластическим деформированием, посадкой под прессом со значительными натягами, клепкой, сваркой, пайкой, склеиванием.

Соединение методом пластического деформирования достаточно широко распространено в машиностроении. Примеры выполнения таких соединений приведены на рис. 4.6. Деформации подвергается одна или обе скрепляемые детали. При этом получается герметичное плотное соединение, способное передавать осевые усилия или крутящие моменты. На рис. 4.6, а приведена схема вальцевания роликовой вальцовкой, позволяющая получить прочное соединение полых деталей со стенкой корпуса. На рис. 4.6, б, в показаны соответственно отбортовка и завальцовка, выполняемые роликовыми вальцовками. На рис. 4.6, г дана схема дорнования втулки с использованием шарика, что обеспечивает плотное соединение втулки с базовой деталью.

Заклёпочные соединения применяют для изделий, материалы которых плохо свариваются, а также в тех конструкциях, для которых требуется растянуть во времени развитие процесса разрушения соединения. Процесс клепкой широко применяют для соединения деталей из разнородных материалов, которые нельзя нагревать, и др.

По назначению заклепочные соединения разделяют на прочные, применяемые в металлоконструкциях, прочноплотные, используемые в котлах, резервуарах с большим давлением, и плотные, применяемые в резервуарах с незначительным давлением. Конструктивно заклепоч-

ное соединение может быть выполнено внахлестку и встык. Они бывают одно- и многорядными, односрезными и многосрезными.

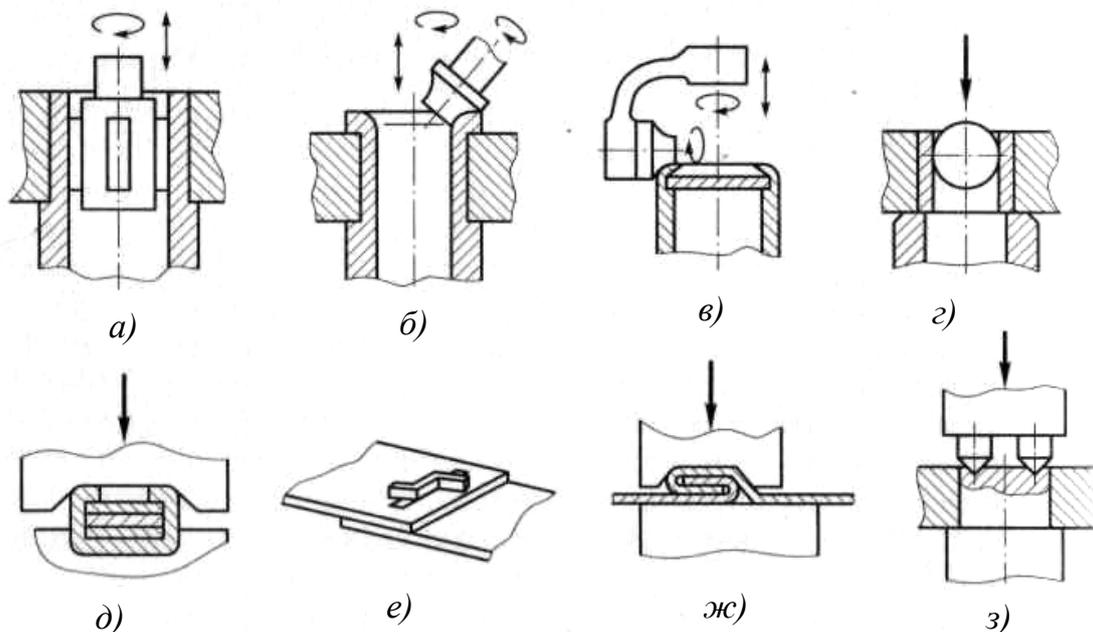


Рис. 4.6. Сборка неразъемных соединений пластическим деформированием

Если зоны действия соседних заклёпок пересекаются, то соединение считают плотным. Для этих соединений дополнительно можно выполнять чеканку заклёпок, а также листов по кромкам.

Клепке предшествует получение отверстий и сжатие соединяемых деталей. При этом, как показывает практика, предварительно сжатие листов позволяет повысить прочность соединения на 10...20 %.

Отверстия получают сверлением или пробивкой. Повышение точности расположения отверстий достигают одновременным сверлением, например многошпиндельным инструментом или одновременной пробивкой с использованием нескольких пуансонов.

Для соединения обычно используют стандартные заклепки с головками различного вида, а также специальные пустотелые или трубчатые заклепки. Для изготовления заклепок применяют Ст. 2, Ст. 3, Ст. 10, Ст. 15, используют также цветные сплавы, а для ответственных соединений – легированные стали. Клепка может осуществляться вручную или с использованием специальных пневматических молотков. Схемы процесса клепки и формирования замыкающей головки показаны на рис. 4.7.

Сварные соединения образуются путем сваривания материалов в зоне стыка без применения каких-либо крепежных деталей или элементов. Прочность соединения обеспечивается атомно-молекулярными связями между элементарными частицами соединяемых элементов. Применение сварки для создания новых комбинированных изделий, состоящих из литых, кованных и штампованных элементов, приводит к значительной экономии металлов, сокращению трудоемкости и снижению себестоимости [24].

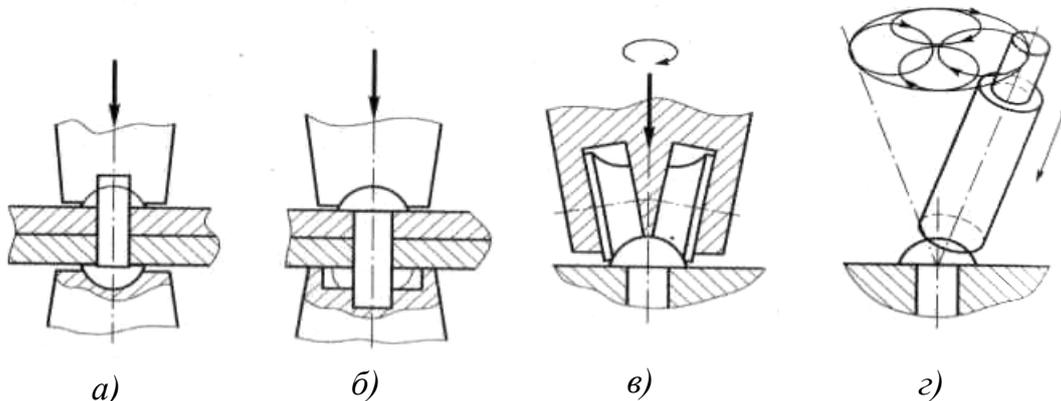


Рис. 4.7. Схемы создания соединений клепкой: а – прямой с обжимкой; б – обратной с поддержкой; в – давлением и раскатыванием; г – орбитальной раскаткой

Наиболее распространенная электрическая сварка выполняется как дуговая и контактная. При ручной электродуговой сварке применяют ток от 90 до 500 А. При автоматической сварке – от 1000 до 2000 А. Сварку используют не только как способ соединения, но и как способ изготовления изделий. Лучшие результаты достигают при сварке короткой дугой, длина которой $\leq 0,5...1,1$ диаметра электрода, при токе 90...350 А и напряжении дуги 18...30 В. При длинной дуге усиливается окисление электродного металла, увеличивается разбрызгивание и снижается глубина провара.

Сварочный ток I [А] определяется зависимостью

$$I = Kd,$$

где d – диаметр электрода, мм; K – коэффициент, [А/мм].

Коэффициент K определяется опытным путем, при использовании электродов из низкоуглеродистых сталей $K = 40...60$, а для электродов из высоколегированных сталей $K = 35...40$.

Электроды выбирают в зависимости от назначения конструкций и типа свариваемых материалов. Режим сварки – в зависимости от тол-

щины металла, типа сварного соединения и пространственного положения сварного шва. Диаметр электрода d зависит от толщины S свариваемого металла:

толщина металла S , мм	0,5...1,0	1,0...2,0	2,0...5,0	5,0...10	$\geq 10,0$;
диаметр электрода d , мм	1,0...1,5	1,5 ...2,5	2,5 ...4,0	4,0...5,0	5,0... 8,0.

Электродуговая сварка с использованием покрытых электродов, порошковой проволоки и сварочных флюсов позволяет создать комбинированную газовую и шлаковую защиту шва от воздействия окружающего воздуха, обеспечивая стабильное горение дуги и формирование качественного шва.

Местный нагрев металла концентрированным источником теплоты приводит к возникновению временных и остаточных сварочных напряжений. Причиной возникновения этих напряжений являются затруднения в изменении размеров металла при его нагреве и охлаждении. К числу основных мероприятий, определяющих уменьшение сварочных деформаций, напряжений и перемещений, следует отнести [27]:

1. Рациональное конструирование сварных конструкций: минимальные катеты угловых швов; максимальная жесткость конструкции к моменту сварки швов; симметричное расположение швов для взаимной компенсации перемещений.

2. Рациональную технологию сборки и сварки: сборка в жестких приспособлениях или на прихватах; правильная последовательность наложения швов; выбор рационального способа и режима сварки; предварительные и сопутствующие подогревы при сварке.

3. Пластическое деформирование после сварки, которое позволяет за счет сжатия шва и околошовной зоны осуществить правку конструкции, уменьшить усадку шва и продольных остаточных напряжений в шве.

Существенное снижение остаточных напряжений обеспечивает термическая обработка (отпуск или отжиг) [6]. Термический цикл отпуска сварных конструкций состоит из нагрева, выравнивания температур, выдержки при заданной температуре и охлаждения. Температуры отпуска для углеродистых сталей 580...680 °С; аустенитных сталей 850...1050 °С; сплавов магния и алюминия 250...300°С; титановых сплавов 1100...1200°С.

В качестве исходного материала для получения сварных заготовок – станин, рам, корпусов, плит, кронштейнов – применяют листовой прокат Ст. 3...Ст. 5 различной толщины 4...15 мм и более. Стальные листы размечают на прямоугольники, квадраты, треугольники (косынки), бобышки требуемых размеров, а затем разрезают по разметке или шаблонам с помощью газовых или электрических резаков. Резка деталей из листа может выполняться также на пресс-ножницах, гильотинных и дисковых ножницах. Необходимые детали круглой, квадратной, шестигранной или кольцевой формы получают путем мерной отрезки соответствующего проката или трубы. В современном автоматизированном производстве применяют автоматический раскрой с использованием компьютера и автоматическую разрезку листа на установках для лазерной, микроплазменной или газоплазменной резки.

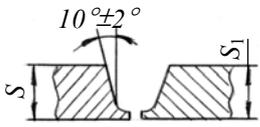
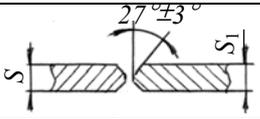
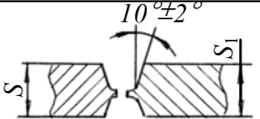
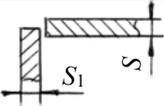
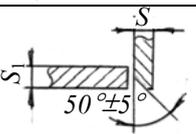
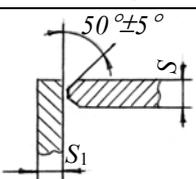
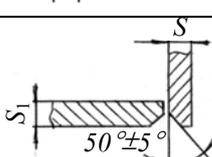
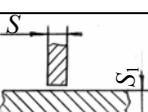
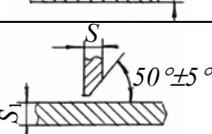
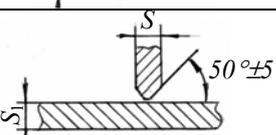
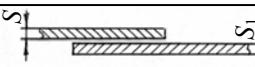
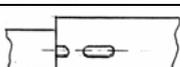
Процессу сварки предшествует механическая обработка на станках кромок сварных швов. Типы сварных соединений и создаваемая геометрия кромок сварных швов регламентируются согласно ГОСТ 2601-74.

После раскроя детали поступают в механические цеха, где выполняют их обработку по контуру на строгальных, фрезерных или токарных станках для создания требуемой геометрии сварных швов, обеспечивающих получение надежных сварных соединений (см. таблицу).

Типы сварных соединений по ГОСТ 2601–74

Вид соединения	Толщина листа S , мм	Эскиз
Стыковые соединения		
С отбортовкой двух кромок	1 – 3	
Без скоса кромок	1 – 6	
Со скосом одной кромки	4 – 26	
С двумя симметричными скосами одной кромки	12 – 60	
Со скосом двух кромок	8 – 50	

Окончание таблицы

Вид соединения	Толщина листа S , мм	Эскиз
Стыковые соединения		
С криволинейным скосом двух кромок	15 – 100	
С двумя симметричными скосами двух кромок	12 – 60	
С двумя симметричными скосами двух кромок	30 – 100	
Угловые соединения		
Без скоса кромок	1 – 6	
Со скосом одной кромки	4 – 26	
С двумя скосами одной кромки	12 – 60	
Со скосом двух кромок	12 – 50	
Тавровые соединения		
Без скоса кромок	2 – 20	
Со скосом одной кромки	4 – 30	
С двумя скосами одной кромки	12 – 60	
Соединение внахлестку		
Без скоса кромок	–	
С удлиненным отверстием	–	

При сварке встык элементов различной толщины (см. таблицу) наибольшая допустимая разность $(S_1 - S)$ согласно ГОСТ 5264–80 зависит от толщины тонкого элемента, мм,

S	до 3	4 – 8	9 – 11	12 – 25	25
$S_1 - S$	0,7	1,6	4	5	7

При разности толщины, превышающей указанные пределы, на толстом элементе делают пологий скос длиной $L = 5(S_1 - S)$ – для одностороннего скоса и $L = 2,5(S_1 - S)$ – для двустороннего. Допускается смещение свариваемых кромок в зависимости от толщины свариваемых элементов: 0,5 мм – для $S \leq 4$ мм; 1 мм – для $S = 4 \dots 10$ мм; $0,1 \cdot S$ – для $S > 10$ мм. Использование современных установок лазерной и газоплазменной резки с компьютерными системами ЧПУ (CNC), обеспечивающими точность позиционирования $\pm 0,1$ мм, позволяет до минимума уменьшить припуски под отделку сварных швов, а в ряде случаев вообще исключить механическую обработку контура свариваемых деталей.

Подготовленные для сварки детали собирают в единую конструкцию, для чего используют струбцины и специальные сборочные приспособления, обеспечивающие требуемую ориентацию соединяемых деталей. После этого выполняют сварку. Детали соединяют главным образом ручной электродуговой сваркой, газовую сварку используют значительно реже.

В зависимости от расположения швы делятся на односторонние и двусторонние, сплошные и прерывистые, а по положению в пространстве – на нижние, вертикальные, горизонтальные, потолочные. Основные типы, конструктивные элементы, размеры и условные обозначения сварных соединений стандартизованы [27]. Чертежи сварных деталей (заготовок) оформляют как сборочные чертежи и при анализе конструкторской документации следует руководствоваться ГОСТ 2.312–72.

При точечной сварке видимую одиночную сварную точку обозначают знаком «+» с указанием стрелкой, (рис. 4.8, а), невидимые точки не изображают. При изображении сечения многопроходного шва допускается выносить контуры отдельных проходов, которые обозначают прописными буквами русского алфавита (рис. 4.8, б). Нестандартные швы изображают с конструктивными элементами кромок в гра-

ницах шва, которые обозначают сплошными тонкими линиями, и с указанием размеров конструктивных элементов (рис. 4.8, в).

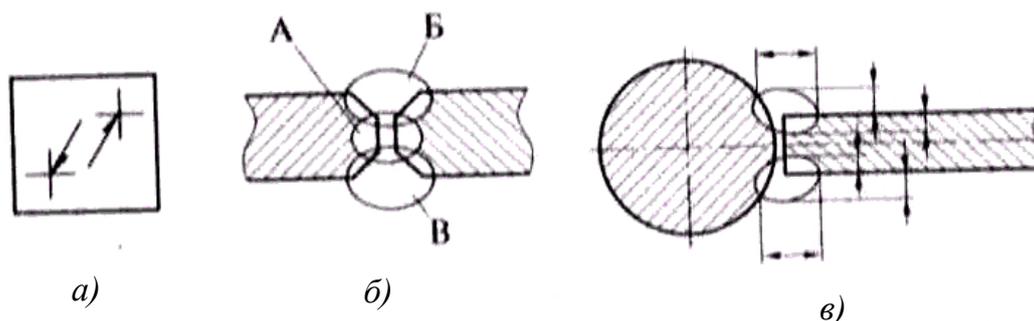


Рис. 4.8. Схемы обозначения сварных швов в соединениях: а – любого стандартного; б – многопроходного; в – нестандартного

Независимо от способа сварки сварные швы на чертеже соединения изображают: видимые – сплошной основной линией; невидимые – штриховой линией. Положение шва указывает выносная линия со стрелкой. Условное обозначение лицевого стандартного шва наносят над полкой линии-выноски, а оборотного шва – под линией полки-выноски (рис. 4.9). Лицевой стороной считают: для одностороннего шва – сторону, с которой производится сварка; для двустороннего шва – сторону, с которой производится сварка основного шва (если подготовка несимметричная); для двустороннего шва (при симметричной подготовке) – любую сторону.

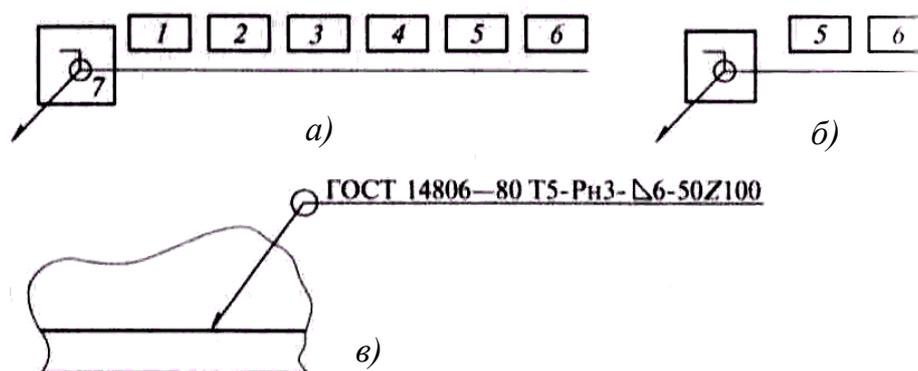


Рис. 4.9. Форматы записи при обозначении сварных швов: а – стандартного; б – нестандартного; в – пример обозначения

Форматы записей условного обозначения стандартного и нестандартного швов приведены на рис. 4.9. Позиции условного обозначения шва (рис. 4.9, а, в) включают:

- 1 – обозначение стандарта, определяющего типы и конструктивные элементы швов сварных соединений;
- 2 – буквенно-цифровое обозначение шва согласно стандарту;
- 3 – условное обозначение способа сварки (допускается не указывать);
- 4 – знак Δ и размер катета по стандарту;
- 5 – для прерывистого шва – длина провариваемого участка; для одиночной сварной точки – расчетный диаметр точки;
- 6 – обозначение вспомогательных знаков, указывающих на незамкнутость линии шва, на необходимость усиления или обработки шва;
- 7 – обозначение вспомогательных знаков, указывающих замкнутую линию шва и выполнение его при монтаже изделия [27].

Если согласно технологии предусматривается механическая обработка шва, то после вспомогательных знаков указывают шероховатость поверхности шва. Технологичность конструкции сварного изделия определяют оптимальное конструктивное оформление изделия; выбор материалов; удобство и простота соединений выбранным способом сварки на соответствующих режимах; автоматизация и механизация процесса сварки; минимизация искажений формы изделий; наименьшая стоимость процесса сварки.

Соединение пайкой применяют для получения прочных и герметичных соединений различных деталей, особенно из листового материала. Пайку осуществляют твердыми или мягкими припоями. Температура плавления твердых припоев примерно 550 °С и предел прочности до 50 МПа. Мягкие припои имеют температуру плавления до 450 °С и предел прочности 50...70 МПа. Технология сборки таких соединений включает очистку и обезжиривание соединяемых поверхностей деталей; промывку и сушку горячим воздухом; сборку изделия; нанесение флюса и припоя в место соединения; местный или общий нагрев и последующее охлаждение изделия; промывку и удаление остатков флюса.

Паяные соединения очень чувствительны к величине зазора в стыке. При пайке сталей твердыми припоями величина зазора в стыке должна составлять 0,03...0,05 мм, при пайке мягкими припоями величина зазора от 0,05 до 0,2 мм, а при пайке цветных сплавов – от 0,08 до 0,35 мм. Для обеспечения указанных требований выполняют точную

обработку поверхностей соединяемых деталей, а при расчетах приспособлений учитывают возникающую тепловую деформацию.

4.3. Испытания машин

Машины и сборочные единицы после их сборки подвергают различного рода испытаниям. Цель испытаний – проверка качества машины, достигнутого в результате всего производственного процесса ее изготовления. В зависимости от вида, назначения и программы выпуска машины проходят испытания на холостом ходу, под нагрузкой, на производительность, жесткость, мощность и качество производимой продукции.

При испытании на холостом ходу проверяют правильность работы органов управления и механизмов машины, надежность блокировки и безотказность работы автоматических устройств. Вместе с тем проверяют соблюдение норм работы подшипников, зубчатых колес и других ответственных элементов конструкции машины.

Испытания под нагрузкой должны выявить качество работы машины в производственных условиях. Для этого создают условия, близкие к условиям эксплуатации машины, а испытания ведут на форсированных режимах.

Испытаниям на производительность подвергают обычно машины специального назначения и опытные образцы. Цель испытания – выявление соответствия машины требованиям заказчика и в частности требованиям производительности – выпуск изделий в единицу времени, скорость проходки и т. д.

На жесткость испытывают главным образом станки. Нормы жесткости и методы испытания основных видов станков стандартизированы.

Испытаниям на мощность подвергают все машины в единичном производстве и все или выборочно машины, изготавливаемые серийно. В процессе испытаний с помощью специальных нагрузочных устройств в машине создают максимальные силы и моменты сил, которые могут возникнуть при эксплуатации машины. В результате определяют КПД машины.

Машины, производящие, сортирующие, измеряющие, проверяют на качество производимой продукции. О качестве машины судят по

результатам ее работы – точности изготовленных деталей, точности сортировки, контроля и т.п. Для машин, выпускаемых в больших количествах, порядок испытаний, образцы и требования к качеству продукции регламентированы государственными стандартами. Для оригинальных машин программу и режимы испытаний разрабатывают с учетом их назначения, конструкции и требований к качеству продукции.

Для испытания машин и их узлов средних размеров и массы создают специальные испытательные стенды, которые оснащают необходимым диагностическим оборудованием.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные виды соединений деталей машин.
2. Приведите примеры разъемных соединений деталей машин.
3. Приведите примеры неразъемных соединений деталей машин.
4. Как осуществляется сборка разъемных соединений?
5. Как осуществляется сборка неразъемных соединений?
6. Определите функциональное назначение шпоночных и шлицевых соединений.
7. Какие методы достижения точности используют при сборке шпоночных и шлицевых соединений?
8. Объясните формат записи на сборочном чертеже прямобочного шлицевого соединения $D - 8 \times 42 \times 48 \frac{H7}{js6} \times 8 \frac{F8}{f8}$.
9. Объясните формат записи на сборочном чертеже шпоночного соединения $18 \frac{N9}{h9} \cdot \frac{Js9}{h9} \times 11 \times 100$ ГОСТ 22360–78.
10. Назовите основные типы сварочных соединений.
11. Приведите примеры оформления кромок сварных швов.
12. Какие технологические мероприятия применяют для снижения внутренних напряжений в сварных изделиях?
13. Назовите основные виды испытания машин.
14. Объясните сущность испытания машин на холостом ходу.
15. Объясните сущность испытания машин под нагрузкой.

ГЛАВА 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ

Для сборочных процессов характерны большое разнообразие выполняемых операций и их высокая точность, достижение которой определяет качество выпускаемых изделий. Согласно статистики трудоемкость сборочных операций составляет 20...60 % от общей трудоемкости изготовления изделий. Поэтому автоматизация сборки является актуальной технологической задачей [16].

5.1. Математическое описание и моделирование баз

Для однозначного математического описания различных схем базирования детали разработан принцип идентификации баз. При наличии погрешности установки ω заготовки в приспособлении или на столе станка происходит смещение координатной системы $OXYZ$ технологических баз заготовки относительно координатной системы $oxyz$ исполнительных поверхностей приспособления или стола станка (рис. 5.1). Положение системы $OXYZ$ в системе $oxyz$ определяют составляющие вектора $\omega_y = (a_y, b_y, c_y, \lambda_y, \beta_y, \gamma_y)$. При соприкосновении базирующих поверхностей устанавливаемой и базовой детали теоретические опорные точки проявляются в виде точек контакта.

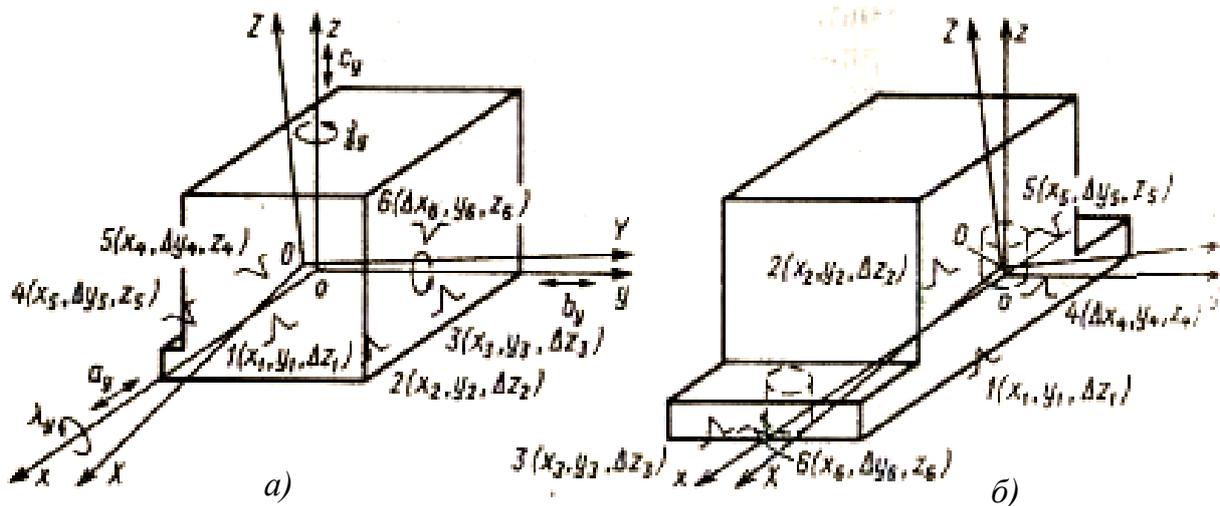


Рис. 5.1. Схемы формирования погрешности установки корпусных деталей при базировании: а – в координатный угол; б – по плоскости и двум базовым отверстиям

Координаты опорных точек в системе huz можно разделить на две группы:

– плановые координаты (x_i, y_i, z_i) , определяющие расположение опорных точек на трех базирующих поверхностях (вид в плане на базирующую поверхность);

– нормальные координаты $(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i)$, определяющие отклонения опорных точек в перпендикулярном к базирующим поверхностям направлении.

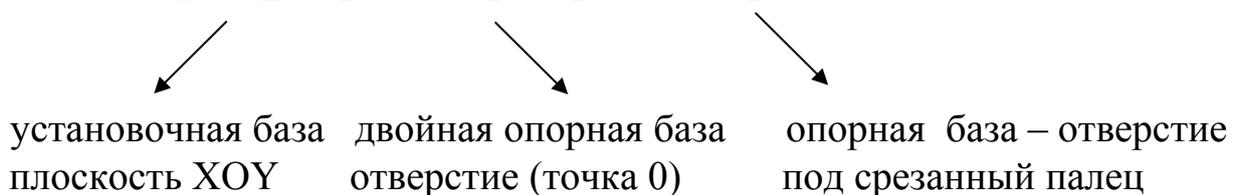
Если нормальные координаты опорных точек сгруппировать по базам и записать в последовательности уменьшения точек на базах, то получим матрицу-столбец T нормальных координат, которая однозначно определяет схему базирования и расположение точек на координатных плоскостях. Для базирования заготовки по трем плоскостям (рис. 5.1, а) матрица T записывается

$$T = (\underline{\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3}, \quad \underline{\Delta y_4, \Delta y_5}, \quad \underline{\Delta x_6}).$$



При базировании заготовки по двум базовым отверстиям с использованием двойной опорной базы (рис. 5.1, б) матрица T имеет вид

$$T = (\underline{\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3}, \quad \underline{\Delta x_4, \Delta y_5}, \quad \underline{\Delta x_6}).$$

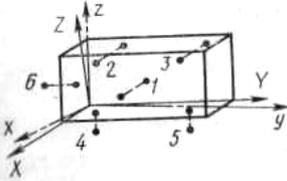
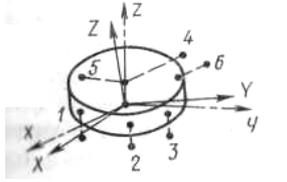
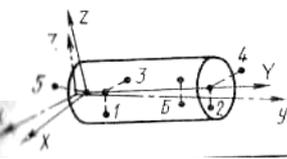


Примеры идентификации схем базирования путем построения матриц нормальных координат приведены в таблице.

Идентификация баз

Схема базирования	Комплект баз	Нормальные координаты	Матрица нормальных координат
	Установочная Направляющая Опорная	$\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3,$ $\Delta x_4, \Delta x_5,$ Δy_6	$T = (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3,$ $\Delta x_4, \Delta x_5, \Delta y_6)$

Окончание таблицы

Схема базирования	Комплект баз	Нормальные координаты	Матрица нормальных координат
	Установочная Направляющая Опорная	$\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3,$ $\Delta z_4, \Delta z_5,$ Δy_6	$T = (\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3,$ $\Delta z_4, \Delta z_5, \Delta y_6)$
	Установочная Двойная опорная Опорная	$\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3,$ $\Delta x_4, \Delta y_5,$ Δx_6	$T = (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3,$ $\Delta x_4, \Delta y_5, \Delta x_6)$
	Двойная Направляющая Опорная Опорная	$\Delta z_1, \Delta z_2,$ $\Delta x_3, \Delta x_4,$ $\Delta y_5,$ Δz_6	$T = (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta x_3,$ $\Delta x_4, \Delta y_5, \Delta z_6)$

Таким образом, идентификация баз, основанная на построении матриц нормальных координат, позволяет:

- определить схему базирования и раскрыть структуру комплекта баз по отбираемым степеням свободы;
- определить расположение опорных точек базовых поверхностей на соответствующих координатных плоскостях;
- установить значения нормальных координат в соответствии с геометрической точностью базующих поверхностей и рассчитать составляющие погрешности установки детали.

Если для определенной схемы базирования известны численные значения плановых (x_i, y_i, z_i) и нормальных координат ($\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$) опорных точек, то составляющие погрешности установки детали $\omega_y = (a_y, b_y, c_y, \lambda_y, \beta_y, \gamma_y)$ можно рассчитать по матричной формуле

$$\omega_y = Q \cdot T, \quad (5.1)$$

где Q – матрица налагаемых связей, получаемая в соответствии с принятой схемой базирования; T – матрица нормальных координат, определяющая рассматриваемую схему базирования.

Для схемы базирования, представленной на рис. 5.1, а, выражение (5.1) в развернутой форме записи имеет вид:

$$\begin{bmatrix} a_y \\ b_y \\ c_y \\ \lambda_y \\ \beta_y \\ \gamma_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_{16} \\ 0 & 0 & 0 & q_{24} & q_{25} & 0 \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & 0 & 0 & 0 \\ q_{41} & q_{42} & q_{43} & 0 & 0 & 0 \\ q_{51} & q_{52} & q_{53} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_{64} & q_{65} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta z_1 \\ \Delta z_2 \\ \Delta x_3 \\ \Delta x_4 \\ \Delta y_5 \\ \Delta x_6 \end{bmatrix}, \quad (5.2)$$

где q_{ij} – элементы матрицы Q , являются линейными функциями плановых координат $q_{ij} = f(x_i, y_i, z_i)$. Для составляющих погрешности установки $(c_y, \lambda_y, \beta_y)$, формируемых на установочной базе:

$$q_{31} = \frac{x_2 y_3 - y_2 x_3}{C}; \quad q_{32} = \frac{x_3 y_1 - y_3 x_1}{C}; \quad q_{33} = \frac{x_1 y_2 - y_1 x_2}{C};$$

$$q_{41} = \frac{x_3 - x_2}{C}; \quad q_{42} = \frac{x_1 - x_3}{C}; \quad q_{43} = \frac{x_2 - x_1}{C}; \quad q_{51} = \frac{y_3 - y_2}{C}; \quad q_{52} = \frac{y_1 - y_3}{C}; \quad q_{53} = \frac{x_2 - x_1}{C}.$$

Здесь C является определителем $C = \begin{bmatrix} 1 & y_1 & -x_1 \\ 1 & y_2 & -x_2 \\ 1 & y_3 & -x_3 \end{bmatrix}$.

Для составляющих (b_y, γ_y) направляющей и (a_y) опорной базы:

$$q_{24} = \frac{x_5}{x_5 - x_4}; \quad q_{25} = \frac{x_4}{x_5 - x_4}; \quad q_{26} = \frac{1}{x_5 - x_4}; \quad q_{16} = 1.$$

Таким образом, согласно (5.2) произведение каждой строки матрицы Q на матрицу-столбец T определяет соответствующий параметр вектора погрешности установки.

Для базирования с использованием двойной опорной базы $T = (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \Delta x_4, \Delta y_5, \Delta x_6)$ (рис. 5.1, б) матрица налагаемых связей Q имеет вид

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & q_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_{25} & 0 \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & 0 & 0 & 0 \\ q_{41} & q_{42} & q_{43} & 0 & 0 & 0 \\ q_{51} & q_{52} & q_{53} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_{66} \end{bmatrix}, \quad (5.3)$$

где элементы $(q_{31}, q_{32}, \dots, q_{43}, \dots, q_{53})$, относящиеся к установочной базе, определяют согласно (5.2), а элементы (q_{14}, q_{25}, q_{66}) , относящиеся к двойной опорной и опорной базам, равны $q_{14} = q_{25} = q_{66} = 1$.

Для базирования с использованием двойной направляющей базы $T = (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \Delta x_4, \Delta y_5, \Delta x_6)$ (см. таблицу) матрица налагаемых связей Q имеет другой вид и составляющие погрешности установки, определяемые согласно (5.1), можно рассчитать:

$$\begin{bmatrix} a_y \\ b_y \\ c_y \\ \lambda_y \\ \beta_y \\ \gamma_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & q_{13} & q_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_{26} \\ q_{31} & q_{32} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ q_{41} & q_{42} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_{56} \\ 0 & 0 & q_{63} & q_{64} & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta z_1 \\ \Delta z_2 \\ \Delta x_3 \\ \Delta x_4 \\ \Delta y_5 \\ \Delta z_6 \end{bmatrix}, \quad (5.4)$$

В выражении (5.4) элементы матрицы Q , относящиеся к двойной направляющей базе $(q_{13}, q_{14}, q_{63}, q_{64})$ и $(q_{31}, q_{32}, q_{41}, q_{42})$, определяют:

для составляющих (a_y, c_y) : $q_{13} = q_{31} = \frac{y_2}{y_2 - y_1}$; $q_{14} = q_{32} = \frac{y_1}{y_2 - y_1}$;

для составляющих (λ_y, γ_y) : $q_{41} = q_{42} = q_{63} = q_{64} = \frac{1}{y_2 - y_1}$.

Элементы матрицы Q , относящиеся к опорным базам (q_{26}, q_{56}) , находят: для составляющей (b_y) $q_{26} = 1$; для составляющей (β_y) $q_{56} = \frac{1}{x_6}$.

Приведенная методика может быть использована как для расчета погрешности установки заготовок при обработке их на станках, так и для расчета точности положения деталей в узлах машин. При наличии постоянных конструктивно оформленных баз плановые координаты опорных точек (x_i, y_i, z_i) в общем случае представляют собой постоянные величины, численные значения которых определяют путем рассмотрения конструкции приспособления или рассматриваемой детали машины.

Между тем как нормальные координаты опорных точек $(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i)$ являются случайными величинами, значения которых зависят от геометрической точности контактируемых базовых поверхностей, от контактных деформаций, правильности приложения силового замыкания и возможной неорганизованной смене баз. В соответствии с этим составляющие вектора ω_y могут изменяться в пределах от верхнего $\omega_y^B = (a_y^B, b_y^B, c_y^B, \lambda_y^B, \beta_y^B, \gamma_y^B)$ до нижнего $\omega_y^H = (a_y^H, b_y^H, c_y^H, \lambda_y^H, \beta_y^H, \gamma_y^H)$ значения отклонений. Наиболее вероятные отклонения определяют как

математические ожидания: $[m(a_y), m(b_y), m(c_y), m(\lambda_y), m(\beta_y), m(\gamma_y)]$. С этой целью в формуле (5.1) матрицу T следует заменить матрицей $M_{(\Delta xyz)}$, определяющей наиболее вероятные значения нормальных координат $(m\Delta x_i, m\Delta y_i, m\Delta z_i)$:

$$m(\omega_y) = Q \cdot M_{(\Delta xyz)}. \quad (5.5)$$

Наиболее вероятные ненулевые значения параметров поворот $(\lambda_y, \beta_y, \gamma_y)$ при базировании по трем плоскостям (см. рис. 5.1, а) рассчитывают как условные математические ожидания:

для установочной базы

$$m[\lambda_y | \lambda_y \neq 0] = \frac{1}{4} \frac{(x_{\max} - x_{\min})}{C} h_{ycm}; \quad m[\beta_y | \beta_y \neq 0] = \frac{1}{4} \frac{(y_{\max} - y_{\min})}{C} h_{ycm},$$

где $(x_{\max}, x_{\min}, y_{\max}, y_{\min})$ – наибольшие и наименьшие значения плановых координат; h_{ycm} – погрешность геометрической формы (отклонение от плоскостности) установочной базы; C – определитель (см. (5.2));

$$\text{для направляющей базы: } m[\gamma_y | \gamma_y \neq 0] = \frac{1}{6} \cdot \frac{h_{nan}}{y_{\max} - y_{\min}},$$

где (y_{\max}, y_{\min}) – наибольшее и наименьшее значения плановых координат; h_{nan} – погрешность геометрической формы (отклонение от прямолинейности) поверхности направляющей базы.

5.2. Проработка деталей на технологичность, создание условий собираемости

Автоматическое соединение двух деталей достигается при придании им определенного пространственного положения и относительного движения. Требуемое соотношение параметров относительного положения и движения соединяемых деталей, при которых обеспечивается их автоматическое соединение, называется условием собираемости. Для условий соединения различных деталей эти параметры выявляют из составляющих двух векторов: вектора положения $\Delta_k = (\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z, \Delta_\lambda, \Delta_\beta, \Delta_\gamma)$ координатной системы поверхности присоединяемой детали относительно поверхности базовой детали и вектора линейных и угловых относительных перемещений $\eta = (a, b, c, \lambda, \beta, \gamma)$ соединяемых деталей.

Рассмотрим это на примере установки вала (система $X_B Y_B Z_B$) в отверстие корпуса (система $x_0 y_0 z_0$), что показано на рис. 5.2. Для автоматического соединения необходимо обеспечить совмещение центра торца вала d_B с центром отверстия корпуса D_0 , которое не должно превышать половины наименьшего зазора в соединении $0,5 S_{HM}$:

$$\Delta_c + \Delta_{II} \leq 0,5 \cdot S_{HM}, \quad (5.6)$$

где Δ_c и Δ_{II} – отклонения центра вала, обусловленные его смещениями и поворотами относительно отверстия; S_{HM} – наименьший зазор $S_{HM} = D_0 - d_B$.

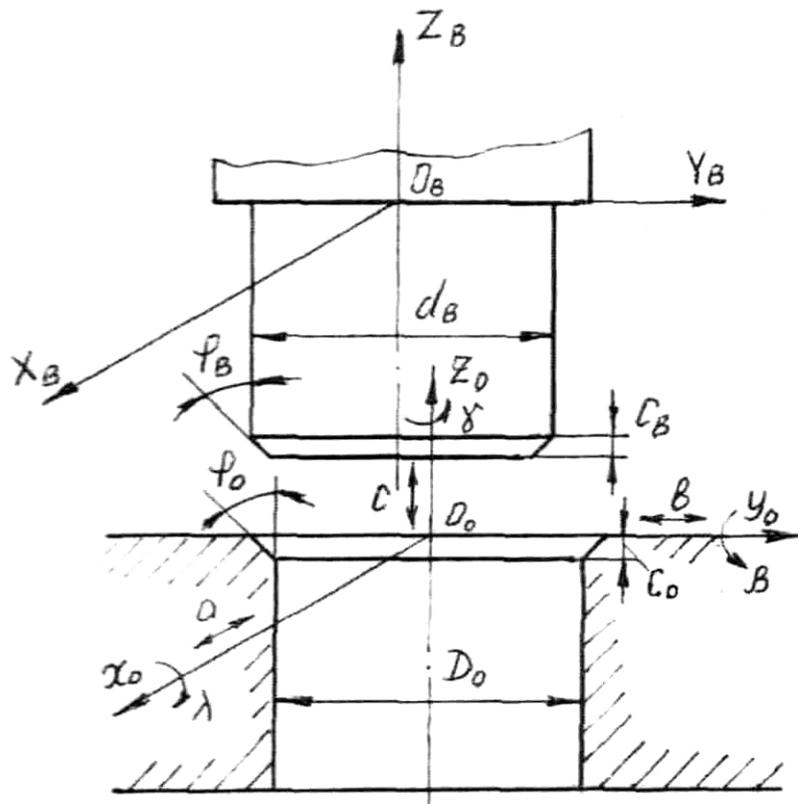


Рис. 5.2. Установка вала в отверстие корпуса

Отклонения центра вала, возникающие в результате смещений в направлении двух координатных осей Δ_x , Δ_y и относительных поворотов Δ_λ , Δ_β , определяются выражениями:

$$\Delta_c = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} = \Delta_{x,y} \sqrt{2} \quad (5.7)$$

$$\Delta_{II} = Z \cdot \Delta_\phi = Z \sqrt{\Delta_\lambda^2 + \Delta_\beta^2} = Z \cdot \Delta_{\lambda,\beta} \sqrt{2} \quad (5.8)$$

С учетом (5.7) и (5.8) выражение (5.6), определяющее условие собираемости рассматриваемого соединения, принимает вид:

$$\sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} + Z\sqrt{\Delta_\lambda^2 + \Delta_\beta^2} \leq S_{nm} \quad (5.9)$$

и при $\Delta_x = \Delta_y = \Delta_{x,y}$ и $\Delta_\lambda = \Delta_\beta = \Delta_{\lambda,\beta}$ получим

$$\sqrt{2}(\Delta_{x,y} + Z \cdot \Delta_{\lambda,\beta}) \leq 0,5 \cdot S_{nm} \quad (5.10)$$

$$\text{или } (\Delta_{x,y} + Z \cdot \Delta_{\lambda,\beta}) \leq 0,35 \cdot S_{nm}. \quad (5.11)$$

В соответствии с этим при равном ограничении линейных и угловых параметров ($\Delta_{x,y} = Z \cdot \Delta_{\lambda,\beta}$) требования к точности относительного положения устанавливаемого вала составят

$$\pm \Delta_x = 0,17 \cdot S_{nm}; \quad \pm \Delta_y = 0,17 \cdot S_{nm}; \quad \pm \Delta_\lambda = 0,17 \cdot S_{nm} / Z; \quad \pm \Delta_\beta = 0,17 \cdot S_{nm} / Z.$$

Для расширения условий собираемости на соединяемых цилиндрических поверхностях вала и корпуса создают фаски, которые при возможности малых перемещений вала относительно корпуса позволяют осуществить самоустановку вала в отверстие. Эта малая саморегулировка в пределах клиновой пары двух фасок обеспечивает пассивную адаптацию, которая широко применяется при автоматической сборке. Расширение условий собираемости в данном случае адекватно увеличению зазора S_{nm} на величину

$$P = C_o \cdot \operatorname{tg}\varphi_o + C_\epsilon \cdot \operatorname{tg}\varphi_\epsilon, \quad (5.12)$$

где C_o, C_ϵ и $\varphi_o, \varphi_\epsilon$ – соответственно ширина и углы наклона фасок в отверстии и на валике.

С учетом (5.12) условие собираемости (5.9) принимает вид

$$\sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} + Z\sqrt{\Delta_\lambda^2 + \Delta_\beta^2} \leq S_{nm} + C_o \cdot \operatorname{tg}\varphi_o + C_\epsilon \cdot \operatorname{tg}\varphi_\epsilon. \quad (5.13)$$

В соответствии с этим допускаемые расширенные параметры точности положения устанавливаемого вала можно рассчитать по формулам:

$$\text{линейные } \pm \Delta_x = 0,17(S_{nm} + P); \quad \pm \Delta_y = 0,17(S_{nm} + P); \quad (5.14)$$

$$\text{угловые } \pm \Delta_\lambda = 0,17(S_{nm} + P)/Z; \quad \pm \Delta_\beta = 0,17(S_{nm} + P)/Z. \quad (5.15)$$

Полученные значения $(\pm \Delta_x, \pm \Delta_y)$ и $(\pm \Delta_\lambda, \pm \Delta_\beta)$ являются исходными данными для определения точности позиционирования конечных звеньев сборочных машин или роботов.

Требуемые относительные перемещения вала, совершаемые при его установке в корпус, определяет вектор $\eta = (\Delta a, \Delta b, c, \Delta \lambda, \Delta \beta)$, в котором c – задаваемое главное перемещение вала в направлении оси z_o , а $(\Delta a, \Delta b)$ и $(\Delta \lambda, \Delta \beta)$ – малые линейные и угловые смещения, выполняемые в процессе самоцентрирования вала по отверстию.

Созданию автоматических сборочных систем должен предшествовать глубокий анализ существа сборочных переходов и самого процесса соединения деталей рассматриваемого узла. На основе такого анализа выявляют требования к технологичности соединяемых деталей узла и к точности автоматического сборочного оборудования. Узел, который в обычных условиях при ручной сборке не вызывает сложностей, при автоматической сборке может оказаться нетехнологичным. В общем случае имеют место следующие рекомендации для деталей при автоматической сборке. Соединяемые детали должны иметь на сопрягаемых поверхностях возможно большие по размерам заходные фаски. На втулках и кольцах подшипников, устанавливаемых в корпус с гарантированным натягом, заходные фаски желательно выполнять ступенчатыми. Вначале с большим углом ($30\dots45^\circ$), а затем с меньшим ($10\dots15^\circ$) (см. рис. 5.3, *а*). Всё это способствует снижению усилий запрессовки, обеспечивает правильное центрирование и снижает деформации колец.

Более сложной представляется автоматическая сборка резьбовых соединений. Вектор относительных перемещений винта при его установке имеет вид $\eta = (\Delta a, \Delta b, c, \Delta\lambda, \Delta\beta, \gamma)$. Он показывает, что требуется не только перемещение винта c вдоль оси, но и придание ему вращения γ для попадания в нитку резьбы и выполнения автоматического навинчивания. Малые смещения ($\Delta a, \Delta b$) и повороты ($\Delta\lambda, \Delta\beta$), совершаемые при пассивной адаптации, обеспечивают самоцентрирование винта в резьбовом отверстии. Для расширения условий собираемости торец винта делают в виде сферы (рис. 5.3, *б*), а на корпусе предусматривают фаски. С этой же целью изменяют конструкцию винтов и создают сравнительно большой заходный конус.

Для уменьшения сборочных переходов отдельные детали конструктивно объединяют в одну более сложную деталь. Так, например, вместо трех деталей (винта, шайбы и гровер-шайбы) применяют один винт, у которого на торце головки делают бурт с зубцами, исключающими самоотвинчивание (рис. 5.3, *в*). С целью уменьшения погрешности установки соединяемых деталей в их конструкции предусматривают точные базовые поверхности, по которым происходит их захват роботами (рис. 5.3, *г*).

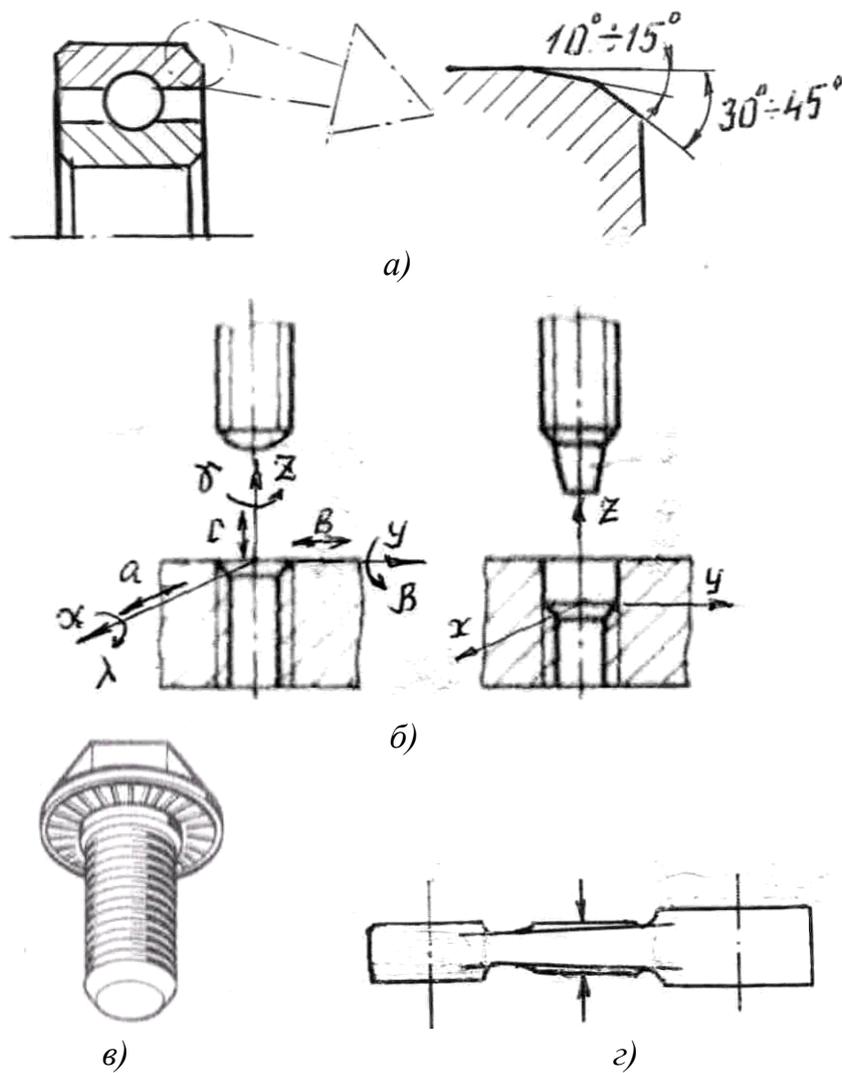


Рис. 5.3. Повышение технологичности деталей для выполнения автоматической сборки: а – направляющие фаски на кольцах подшипников; б – геометрия деталей для соединения винтовых поверхностей; в – объединение винта, плоской и разрезной стопорных шайб в одну деталь; г – создание на детали типа рычаг точных базовых поверхностей

У стопорных колец, устанавливаемых на вал или в отверстие для фиксации осевого положения деталей, требование автоматической сборки определяет необходимость ужесточения допуска на толщину кольца и точность геометрической формы. Устанавливаемые пружины имеют уменьшенный шаг между витками на концах и в середине пружины, благодаря этому упрощается их установка и уменьшается возможность их сцепляемости в ориентирующих устройствах сборочных машин.

5.3. Автоматизация сборки с использованием сборочных машин

Автоматические сборочные машины применяют для сборки определенных изделий, выпускаемых в условиях крупносерийного и массового производства. Это специальные высокопроизводительные сборочные автоматы, которые создают под конкретное изделие устойчивой конструкции (например для сборки подшипников). Сборочные машины обладают малой технологической гибкостью, они практически не перенастраиваются на сборку другого изделия.

Сборочные машины могут быть однопозиционные и многопозиционные. В первом случае сборка осуществляется на одной позиции с использованием нескольких сборочных головок, в которых имеются накопители с комплектующими деталями, ориентирующие устройства и исполнительные механизмы. Установка на рабочую позицию базовой детали выполняется с помощью манипулятора, который осуществляет также съём собранного изделия. Однопозиционные машины применяются для сборки простых изделий с малым числом деталей. Ограниченность пространства на одной позиции не позволяет осуществить параллельную установку ряда деталей.

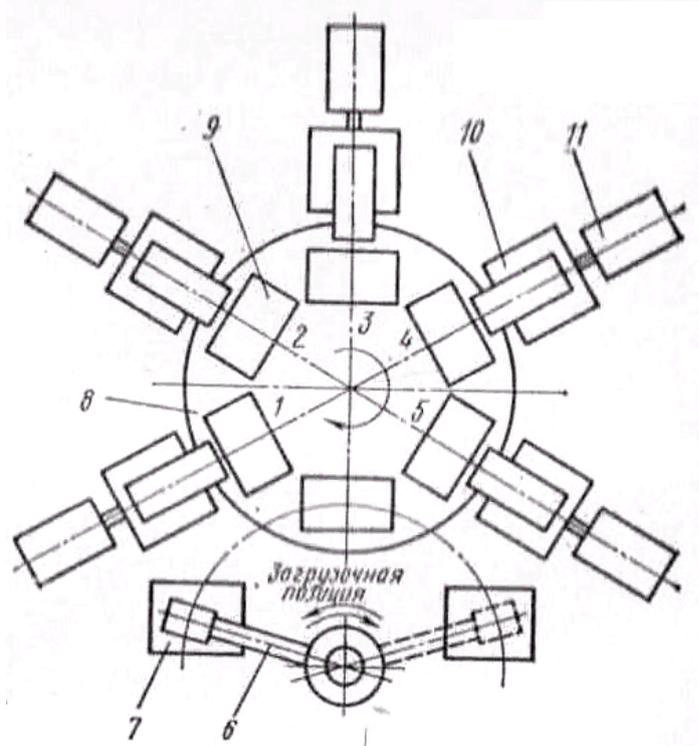


Рис. 5.4. Многопозиционный сборочный автомат: 1-5 – сборочные позиции; 6 – манипулятор; 7 – деталь; 8 – поворотный стол; 9 – приспособления на позициях; 10 – сборочные головки; 11 – магазины для комплектующих деталей

В многопозиционных сборочных машинах собираемый объект перемещается от одной рабочей позиции к другой (рис. 5.4). По периметру поворотного круглого стола устанавливают несколько сборочных головок, каждая из которых выполняет определенный переход. В результате происходит параллельно-последовательное выполнение сборки.

В многопозиционных сборочных машинах собираемый объект перемещается от одной рабочей позиции к другой (рис. 5.4). По периметру поворотного круглого стола устанавливают несколько сборочных головок, каждая из которых выполняет определенный переход. В результате происходит параллельно-последовательное выполнение сборки.

рочных переходов. На первой позиции манипулятор устанавливает базовую деталь и снимает собранное изделие. Сборка может выполняться с использованием одной или нескольких машин, соединённых транспортером в одну сборочную линию.

5.4. Автоматизация сборки с использованием промышленных роботов

Автоматическая сборка с использованием промышленных роботов (ПР) и манипуляторов осуществляется как на отдельных сборочных модулях, так и на автоматических линиях. Основным преимуществом такого оборудования является технологическая гибкость, позволяющая перенастроить модуль на сборку новых изделий с использованием других комплектующих деталей. Робот программируется компьютерными системами управления. Управляющая программа в соответствии с технологией сборки разрабатывается заранее и при необходимости ее можно дополнить и внести коррекцию.

С помощью специальных сменных сборочных головок и схватов робот последовательно выполняет заданные технологические переходы, связанные с ориентацией, установкой, запрессовкой, завинчиванием деталей или измерением параметров точности. Сборочные головки и схваты имеют одинаковые базы и их замену на конечном звене робот также осуществляет автоматически по заданной программе. При последовательной сборке, выполняемой одним роботом, производительность модуля оказывается ниже, чем сборочных машин. Поэтому на базе роботов и манипуляторов создают автоматические линии, на которых осуществляется высокопроизводительная параллельно-последовательная сборка (рис. 5.5).

Точность позиционирования конечных звеньев роботов обычно составляет $\pm 0,1 \dots 0,3$ мм, между тем как соединение ряда деталей требует обеспечить точность их относительного положения в пределах $\pm 0,01 \dots \pm 0,05$ мм. Этого достигают за счет применения систем пассивной и активной адаптации, создающих малые ориентирующие перемещения непосредственно в момент соединения деталей. Конструктивно такие системы располагают в схвате робота или на столе, на котором устанавливают базовую деталь собираемого изделия. В системах активной адаптации в качестве датчиков обратной связи применяют датчики давления, силы, моментов и системы технического зрения.

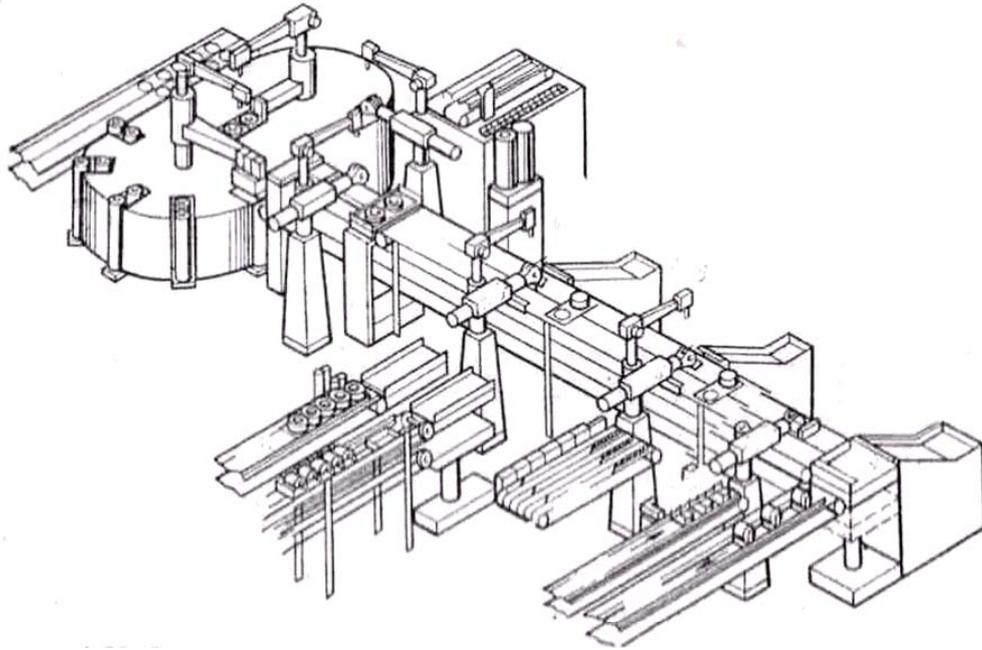


Рис. 5.5. Автоматическая сборочная линия из промышленных роботов

Контрольные вопросы

1. Назовите составляющие вектора погрешности установки ω .
2. В чем заключается принцип идентификации баз?
3. Что определяют плановые координаты опорных точек?
4. Что определяют нормальные координаты опорных точек?
5. Как составляется матрица нормальных координат, однозначно определяющая схему базирования?
6. Составьте матрицу нормальных координат для базирования детали по трем плоскостям.
7. Составьте матрицу нормальных координат для базирования детали с использованием двойной опорной базы.
8. Составьте матрицу нормальных координат для базирования детали с использованием двойной направляющей базы.
9. Напишите матричное выражение для расчета составляющих вектора погрешности установки.
10. Что следует понимать под условиями собираемости при выполнении автоматической сборки?
11. Назовите мероприятия, позволяющие расширить условия собираемости в соединениях по цилиндрическим поверхностям.
12. В каких случаях для автоматизации сборки применяют сборочные машины?
13. В условиях какого производства для автоматизации сборки применяют сборочные модули, создаваемые на базе промышленных роботов?

РАЗДЕЛ 2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

ГЛАВА 6. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

6.1. Служебное назначение корпусных деталей и технические требования на их изготовление

Служебное назначение корпусных деталей. Корпусные детали машин представляют собой базовые детали, на которые устанавливаются различные присоединяемые детали и сборочные единицы, точность относительного положения которых должна обеспечиваться как в статике, так и в процессе работы машин под нагрузкой. В соответствии с этим корпусные детали должны иметь требуемую точность, обладать необходимыми параметрами жесткости и виброустойчивости, что обеспечивает постоянство относительного положения соединяемых деталей и узлов, правильность работы механизмов и отсутствие вибраций.

Конструктивное исполнение корпусных деталей, применяемый материал и необходимые параметры точности определяют исходя из служебного назначения деталей, требований к работе механизмов и условий их эксплуатации. При этом учитывают также технологические факторы, связанные с возможностью получения требуемой конфигурации заготовки, возможностями механической обработки и удобства сборки, которую начинают с базовой корпусной детали.

На рис. 6.1 представлен редуктор конвейера, используемого в системе удаления стружки на автоматических линиях. Корпус является базовой деталью, обеспечивающей требуемую точность относительного положения червяка 2, вала 3, на котором установлено червячное колесо 4. Основной базирующей поверхностью корпуса, по которой его устанавливают на станину, является плоскость *A*. Поверхности главных отверстий и торцов, на которых находятся подшипники и фланцы, считаются вспомогательными базами корпуса. Резьбовые отверстия на корпусе обеспечивают крепление присоединяемых к нему деталей и узлов.

В двигателе внутреннего сгорания базовой корпусной деталью является блок цилиндров, в котором установлены с требуемой точностью различные детали и механизмы двигателя (коленчатый вал, шатунно-

поршневая группа, головка блока, масляный и топливный насосы, картер двигателя, масляный фильтр и др.).

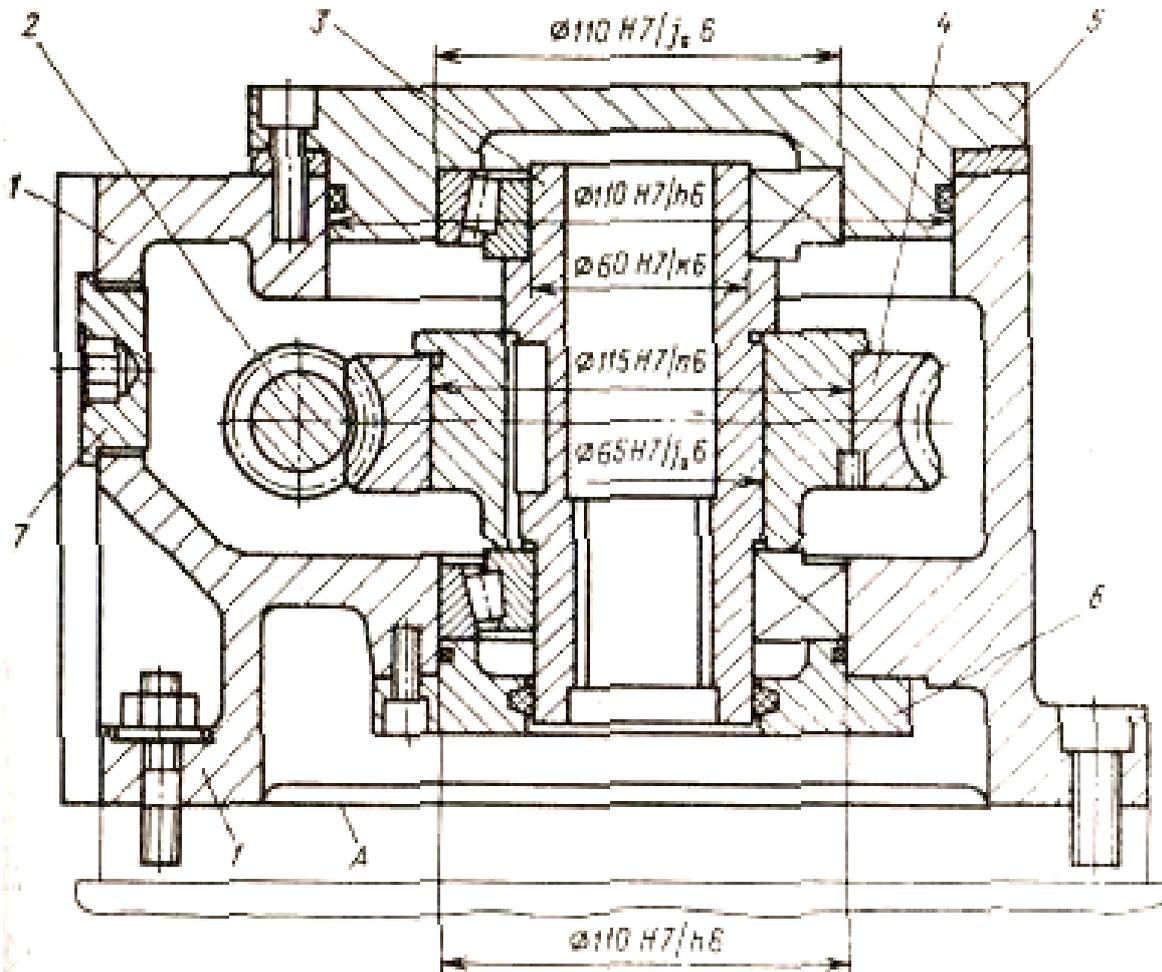


Рис. 6.1. Редуктор конвейера: 1 – корпус; 2 – червяк; 3 – вал; 4 – червячное колесо; 5, 6 – верхний и нижний фланцы; 7 – гайка

Для базирования этих узлов в блоке цилиндров имеются соответствующие комплекты вспомогательных баз, определяющие требуемое положение узлов в процессе работы двигателя. Поршни двигателя базируются по внутренним цилиндрическим поверхностям большого диаметра, головка – по верхней плоскости разъема, коленчатый вал – в отверстиях под коренные шейки и т. д. Двигатель крепится на раме. Блок цилиндров работает в условиях вибраций и ударных нагрузок при высоких давлениях и температурах в камерах сгорания. Все это предопределяет повышенные требования к материалу и точности изготовления нагруженных внутренних поверхностей корпуса, в котором циркулируют охлаждающая жидкость и смазочный материал.

Корпусные детали машин в общем случае можно разделить по группам (рис. 6.2) [26]. Детали, принадлежащие каждой из групп, имеют общность служебного назначения, что означает наличие совокупности одинаковых поверхностей и идентичное по форме конструктивное исполнение. Все это определяет особенности технологических решений, обеспечивающих достижение требуемых параметров точности при изготовлении деталей каждой из групп.

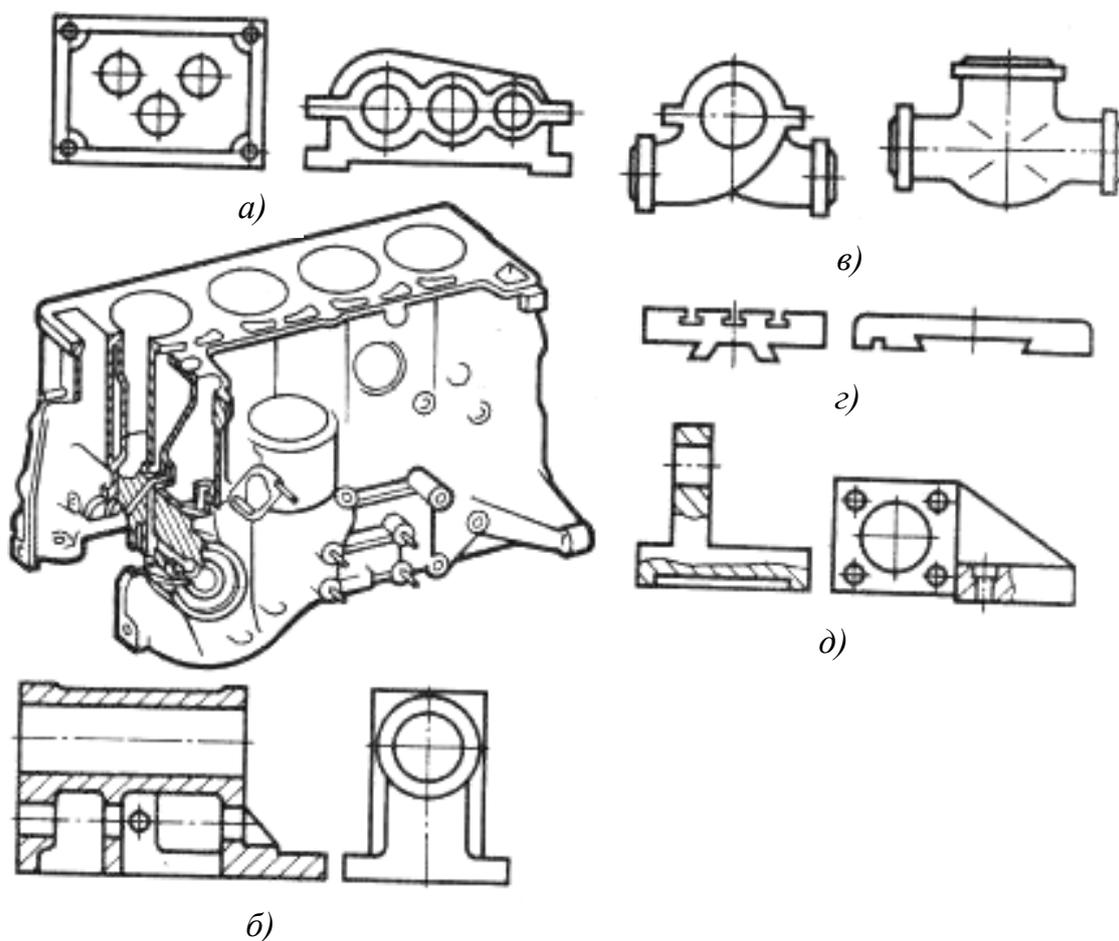


Рис. 6.2. Виды корпусных деталей: а – коробчатой формы (цельные и разъемные); б – с гладкими внутренними цилиндрическими поверхностями; в – корпуса сложной пространственной формы; г – корпусные детали с направляющими поверхностями; д – детали типа кронштейнов, угольников

Группа 1 – корпусные детали коробчатой формы в виде параллелепипеда, габаритные размеры которых имеют одинаковый порядок. К этой группе относятся корпуса различных редукторов, коробок скоростей, коробок передач, корпуса шпиндельных бабок (рис. 6.2, а). В большинстве

случаев основными базами таких корпусов являются плоские поверхности, а вспомогательными базами служат главные отверстия и торцы, предназначенные для базирования валов и шпинделей. Конструкция и размеры корпусов зависят от условий размещения в них необходимых деталей и механизмов.

Они имеют также стенки, ребра и перегородки, повышающие их жесткость. С этой же целью имеющиеся бобышки и приливы, на которых расположены главные отверстия, имеют высоту 2,5...3 мм толщины стенки и диаметр в пределах 1,4...1,6 мм диаметра отверстия. Корпуса коробчатой формы могут быть цельные и разъемные. При этом плоскость разъема может проходить по осям главных отверстий.

Группа 2 – корпусные детали с гладкими внутренними цилиндрическими поверхностями, протяженность которых превышает их диаметральные размеры. К этой группе относятся блоки цилиндров двигателей и компрессоров, корпуса различных цилиндров и гидрораспределителей, пневмо- и гидроаппаратура (рис. 6.2, б), а также корпуса задних бабок, обеспечивающие базирование выдвигной пиноли и заднего центра. В соответствии со служебным назначением к внутренним цилиндрическим поверхностям предъявляют повышенные требования по точности диаметральных размеров и точности формы. Эти цилиндрические поверхности обычно работают на изнашивание. Поэтому к ним предъявляют высокие требования по шероховатости и износостойкости.

Группа 3 – корпусные детали сложной пространственной геометрической формы. К этой группе относятся корпуса паровых и газовых турбин, центробежных насосов, коллекторов тройников, вентилях, кранов (рис. 6.2, в). Сложная пространственная форма и геометрические размеры таких корпусов предназначены для формирования требуемых потоков движения газов или жидкостей. К этой группе относятся также сложные по форме корпусные детали ходовой части автомашины (картер заднего моста, корпус поворотного рычага и др.).

Группа 4 – корпусные детали с направляющими поверхностями. Это столы, спутники, каретки, салазки, суппорты, ползуны, планшайбы (рис. 6.2, г). В процессе работы эти детали совершают возврато-поступательное или вращательное движение по направляющим поверхностям, обеспечивая точное относительное перемещение обрабатываемых заготовок или ре-

жущего инструмента. Такие корпуса входят в состав несущей системы большинства станков. Требуемая жесткость этих деталей достигается созданием внутренних перегородок и ребер. Отношение высоты плоских столов, спутников, салазок к ширине находится в пределах $0,1 \dots 0,18$.

Группа 5 – корпусные детали типа кронштейнов, угольников, стоек и крышек (рис. 6.2, д). Эта группа объединяет наиболее простые по конструкции корпусные детали, которые выполняют функции дополнительных опор для обеспечения требуемой точности относительного положения отдельных механизмов, валов, зубчатых колес.

Различные базирующие поверхности корпусных деталей с точки зрения их функционального назначения можно отнести к категории основных или вспомогательных баз. Основными базами, с помощью которых корпусные детали присоединяются к станинам, рамам или другим корпусам, в большинстве случаев являются плоские поверхности или сочетание плоской поверхности одного или двух базовых отверстий. При этом чаще реализуются схемы базирования по трем плоскостям или по плоскости и двум отверстиям.

У деталей типа столов, кареток, суппортов комплект основных баз образуется сочетанием определенных поверхностей направляющих. Вспомогательными базами корпусных деталей служат главные отверстия, по которым базируются шпиндели, валы, а также плоские поверхности и их сочетания, определяющие положение различных присоединяемых узлов и отдельных деталей (крышек, фланцев и др.).

У большинства корпусных деталей имеются также различные мелкие простые и резьбовые крепежные отверстия. Они предназначены для подвода смазочного материала к трущимся поверхностям деталей и фиксации достигнутого положения присоединяемых сборочных единиц. Работа машины и ее механизмов означает формирование размерных связей, обеспечивающих выполнение их служебного назначения. В размерных связях машины или отдельных узлов корпусная деталь участвует размерами и относительными поворотами своих поверхностей. Эти параметры детали непосредственно определяют точность положения одного комплекта вспомогательных баз относительно другого или точность положения вспомогательных баз относительно основных баз детали. В соответствии с этим к точности формы, размеров и относительных поворотов базирующих поверхностей корпусных деталей предъявляют повышенные требования.

Технические требования на изготовление корпусных деталей

К корпусным деталям предъявляют комплекс технических требований, определяемых в каждом конкретном случае, в первую очередь исходя из их служебного назначения. Соблюдение технических требований означает формирование требуемых физико-механических свойств материала детали, получение необходимой прочности и виброустойчивости детали, обеспечение требуемой точности детали и создание условий для удобства выполнения механосборочных и эксплуатационных работ. Технические требования, относящиеся к параметрам геометрической точности детали, обеспечивают в результате механической обработки на различных этапах технологического процесса изготовления корпусной детали.

В зависимости от конструктивного исполнения и сложности к корпусным деталям предъявляются следующие технические требования, характеризующие различные параметры их геометрической точности.

1. Точность геометрической формы плоских базирующих поверхностей. Она регламентируется как допуск прямолинейности поверхности в заданном направлении на определенной длине и как допуск плоскостности поверхности в пределах ее габаритных размеров. Для поверхностей размерами до 500 мм отклонение от плоскостности и параллельности обычно находится в пределах 0,01...0,07 мм, а у ответственных корпусов 0,002...0,005 мм.

2. Точность относительного поворота плоских базирующих поверхностей. Предельные отклонения от параллельности или перпендикулярности одной плоской поверхности относительно другой составляют 0,015/200...0,1/200, а для деталей повышенной точности 0,003/200...0,01/200.

3. Точность расстояния между двумя параллельными плоскостями. Для большинства деталей она находится в пределах 0,2...0,5 мм, а у корпусных деталей повышенной точности 0,005... 0,01 мм.

4. Точность диаметральных размеров и формы отверстий. Диаметральные размеры главных отверстий, выполняющие в основном роль базирующих поверхностей под подшипники, соответствуют 6...11-му квалитетам точности. Отклонения формы отверстий (отклонение от круглости в поперечном сечении и конусность или изогну-

тость в продольном сечении) находятся пределах $1/5 \dots 1/2$ допуска на диаметр отверстия.

5. Точность относительного углового положения осей отверстий.

Отклонения от параллельности и перпендикулярности осей главных отверстий относительно плоских поверхностей составляют $0,01/200 \dots 0,15/200$, предельные угловые отклонения одного отверстия относительно оси другого $0,005/200 \dots 0,1/200$.

6. Точность расстояния от осей главных отверстий до базирующей плоскости для большинства деталей составляет $0,02 \dots 0,5$ мм. Точность расстояний между осями главных отверстий $0,01 \dots 0,15$ мм. Отклонения от соосности отверстий $0,002 \dots 0,05$ мм.

7. Параметры шероховатости плоских базирующих поверхностей $Ra = 2,5 \dots 6,3$ мкм, поверхностей главных отверстий $Ra = 1,25 \dots 0,16$ мкм, а для отверстий ответственных деталей до $Ra = 0,08$ мкм.

Приведенные параметры точности общие для всего разнообразия различных по конструкции корпусных деталей машин.

В каждом конкретном случае параметры точности корпусной детали определяются ее служебным назначением. Линейные и угловые размеры корпуса являются составляющими звеньями соответствующих конструкторских размерных цепей, в которых базовая корпусная деталь непосредственно участвует своими размерами. Поэтому переход от служебного назначения узла к параметрам точности его корпусной детали осуществляют путем выявления и расчета конструкторских размерных цепей, замыкающие звенья которых определяют технические требования на изготовление узла.

Точность расстояний между осями главных отверстий корпусной детали и их угловые отклонения в общем случае зависят от параметров зубчатых колес, устанавливаемых в корпус. Задаваемые предельные отклонения на линейные и угловые размеры, определяющие относительное положение осей отверстий, зависят от степени точности и вида сопряжения зубчатых колес, от их модуля и размеров.

Предельные отклонения межосевых расстояний рекомендуется задавать [5]

$$\pm \Delta = \pm 0,8 f_a,$$

Корпусная деталь механизма обеспечивает требуемую точность относительного положения двух конических зубчатых колес, через которые происходит передача крутящего момента к паре червяк – рейка, и требуемую точность положения червяка относительно зубчатой рейки, расположенной на перемещаемой пиноли. Основными конструкторскими базами корпуса (см. рис. 6.3) являются привалочная плоскость A (установочная база) и расположенные на ней два базовые отверстия под штифты (двойная опорная и опорная базы).

Анализ размерных цепей A_{Δ} и B_{Δ} показывает, что в решении задачи совмещения вершин делительных конусов двух конических колес корпусная деталь механизма участвуют размеры A_4 и B_7 . Эти размеры определяют точность расстояния между главными отверстиями и плоскими поверхностями, выполняющими функции вспомогательных баз корпусной детали. Обеспечение точности размеров корпуса $A_4 = 78 \pm 0,04$ и $B_7 = 112 \pm 0,3$ позволяет осуществить совпадение вершин делительных конусов по горизонтали методом регулировки с применением четырех групп неподвижных компенсаторов, а по вертикали методом регулировки с использованием подвижного компенсатора.

В решении задачи достижения требуемого угла скрещивания осей делительных конусов (межосевого угла) конической передачи (размерная цепь β_{Δ}) корпусная деталь участвует звеном β_4 . В соответствии с этим показатель точности корпуса, характеризующий поворот оси отверстия диаметром 62Н7 относительно оси отверстия диаметром 25Н7 составит

$$T_{\beta_4} = 0,03 / 100 ; \Delta_{\beta_4}^B = 0,015 / 100 ; \Delta_{\beta_4}^H = -0,015 / 100 .$$

В решении задачи достижения требуемой точности зацепления червяка и рейки, когда требуется обеспечить совпадение образующих делительных окружностей червяка и рейки B_{Δ} (размерная цепь B_{Δ}) и параллельность образующей делительного цилиндра червяка относительно образующей делительного цилиндра рейки γ_{Δ} , корпусная деталь участвует звеньями B_4 и γ_4 . Для решения этих задач по методу полной взаимозаменяемости точность рассматриваемых размеров корпуса должна соответственно составить $B_4 = 56 \pm 0,03$ и $\gamma_4 = 0, (T_{\gamma_4} = 0,02 / 150)$.

Для создания правильного зацепления червячной передачи необходимо обеспечить также совпадение средних плоскостей червяка и рейки Γ_{Δ} , допускаемые предельные отклонения $\pm 0,1$ мм. В решении этой задачи участвует размер корпусной детали, определяющий точность совпадения оси отверстия под вал червяка диаметром 25Н7 с осью базового центрирующего отверстия диаметром 10Н7. Оси отверстия 25Н7 и базового отверстия 10Н7 должны располагаться в одной плоскости, допускаемое отклонение $\pm 0,06$ мм.

Таким образом, достижение точности совпадения вершин делительных конусов A_{Δ} , B_{Δ} и точности межосевого угла β_{Δ} , при которых достигается качественное зацепление конических колес, требует обеспечения точности изготовления главных отверстий корпуса диаметрами 25Н7, 62Н7 и получения соответствующей точности размеров между осями главных отверстий и плоскими базирующими поверхностями $78 \pm 0,04$ и $112 \pm 0,3$. В свою очередь, требование качественного зацепления червяка с рейкой B_{Δ} , γ_{Δ} обуславливает необходимость обеспечения параллельности отверстия диаметром 25Н7 относительно привалочной плоскости A и точность расстояния $56 \pm 0,03$ от оси отверстия до плоскости.

Если с основными базирующими поверхностями корпусной детали связать координатную систему $OXYZ$, а с вспомогательными базирующими поверхностями соответствующую систему $oxuz$, то положение вспомогательных баз относительно основных можно определить как положение системы $oxuz$ в системе $OXYZ$ с помощью вектора [1]:

$$k = \begin{pmatrix} A \\ B \\ G \\ \lambda \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = (A, B, G, \lambda, \beta, \gamma). \quad (6.1)$$

Элементы вектора k являются обобщенными координатами, определяющими три параметра смещения A , B , G центра системы $oxuz$ (рис. 6.4) в направлении координатных осей OX , OY , OZ и три угла поворота λ , β , γ системы $oxuz$ относительно системы $OXYZ$.

Матрицу-столбец (6.1), образуемую элементами вектора k , называют матрицей комплекта вспомогательных баз детали или просто матрицей вспомогательных баз.

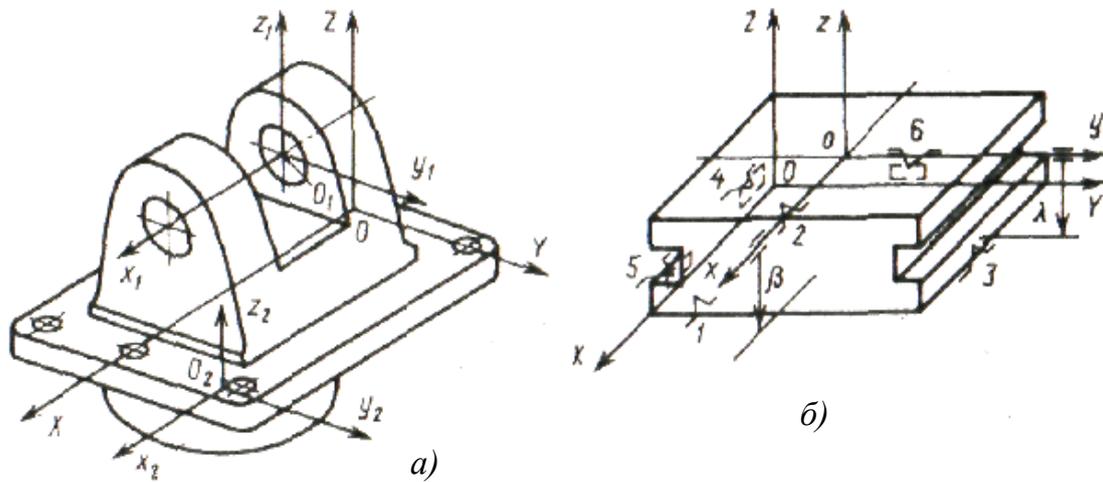


Рис. 6.4. Схемы расположения координатных систем на основных и вспомогательных базах корпусных деталей: а – корпус механизма перемещения пиноли; б – плита спутника

Эти матрицы дают возможность описать геометрическую точность детали обобщенными координатами. Для рассматриваемой корпусной детали (рис. 6.5, а), имеющей два комплекта вспомогательных баз k_1 , k_2 , можно записать $K = (k_1, k_2)$. Параметры вектора k имеют:

$$\text{верхние } \Delta_{ki}^B = (\Delta_{Ai}^B, \Delta_{Bi}^B, \Delta_{Gi}^B, \Delta_{\lambda i}^B, \Delta_{\beta i}^B, \Delta_{\gamma i}^B)$$

$$\text{нижние } \Delta_{ki}^H = (\Delta_{Ai}^H, \Delta_{Bi}^H, \Delta_{Gi}^H, \Delta_{\lambda i}^H, \Delta_{\beta i}^H, \Delta_{\gamma i}^H) \text{ предельные отклонения.}$$

Разность предельных отклонений составляет матрицу допусков

$$T_k = \Delta_k^B - \Delta_k^H; \quad T_k = (T_A, T_B, T_G, T_\lambda, T_\beta, T_\gamma).$$

Использование обобщенных координат позволяет установить функциональную и количественную связи между основными параметрами точности детали, относящимися к различным комплексам ее геометрических поверхностей. В результате становится возможным оценить правильность назначения допусков и предельных отклонений по отдельным параметрам точности корпусной детали, а также определить влияние отклонений формы, поворота и расстояния на точность различных участков базирующих поверхностей. Функциональная связь между предельными отклонениями размеров, относительных поворотов и геометрической формы плоских базирующих поверхностей определяется матричными выражениями:

верхние предельные отклонения размеров L_x, L_y, L_z в направлении координатных осей

$$\begin{vmatrix} \Delta_{L_x}^B \\ \Delta_{L_y}^B \\ \Delta_{L_z}^B \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta_A^B \\ \Delta_B^B \\ \Delta_\Gamma^B \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & -\Delta_\gamma^H & \Delta_\beta^B \\ \Delta_\gamma^B & 0 & -\Delta_\lambda^H \\ -\Delta_\beta^H & \Delta_\lambda^B & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} h_x^B \\ h_y^B \\ h_z^B \end{vmatrix},$$

нижние предельные отклонения размеров L_x, L_y, L_z в направлении координатных осей

$$\begin{vmatrix} \Delta_{L_x}^H \\ \Delta_{L_y}^H \\ \Delta_{L_z}^H \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta_A^H \\ \Delta_B^H \\ \Delta_\Gamma^H \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & -\Delta_\gamma^B & \Delta_\beta^H \\ \Delta_\gamma^H & 0 & -\Delta_\lambda^B \\ -\Delta_\beta^B & \Delta_\lambda^H & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} h_x^H \\ h_y^H \\ h_z^H \end{vmatrix},$$

где x, y, z – координаты краевых точек на базирующих поверхностях; $(h_x^B, h_x^H), (h_y^B, h_y^H), (h_z^B, h_z^H)$ – предельные отклонения геометрической формы поверхностей.

Функциональная связь между допусками, ограничивающими три вида геометрических отклонений, имеет вид:

$$\begin{vmatrix} T_{L_x} \\ T_{L_y} \\ T_{L_z} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} T_A \\ T_B \\ T_\Gamma \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & z & y \\ z & 0 & x \\ y & x & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} T_\lambda \\ T_\beta \\ T_\gamma \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} h_x \\ h_y \\ h_z \end{vmatrix} \quad (6.2)$$

Рассмотрим применение приведенных формул на примере корпусной детали – плиты спутника (рис. 6.4, б). Для спутника важным параметром качества, существенно влияющим на показатели точности обрабатываемых на нем деталей, считается точность расстояния по высоте спутников T_{Lz} . Необходимо обеспечить одинаковую точность расстояния $T_{Lz} = 0,03$ мм у всех спутников, используемых на автоматизированном участке. В противном случае исключается возможность использования метода взаимозаменяемости при обработке деталей.

Согласно техническим требованиям на спутник отклонение от параллельности верхней исполнительной поверхности спутника относительно установочной базы должно быть в пределах $T_\psi = 0,01/350$, а погрешность геометрической формы рассматриваемых плоских поверхностей не должна превышать $h_z = 0,006$ мм. Если учесть, что отклонение относительного поворота, ограничиваемое допуском T_ψ , в равной степени зависит от поворота относительно осей $OX \Rightarrow T_\lambda$ и $OY \Rightarrow T_\beta$, то можно записать

$$T_{\psi}^2 = T_{\lambda}^2 + T_{\beta}^2,$$

откуда при $T_{\lambda} = T_{\beta}$ получим $T_{\lambda} = T_{\beta} = T_{\psi} \cdot \sqrt{2}$ и в числовом выражении имеем $T_{\lambda} = T_{\beta} = 0,007/350$. Точность расстояния по оси OZ определяет третья строка матричного выражения (6.2)

$$T_{Lz} = T_{\Gamma} + y \cdot T_{\lambda} + x \cdot T_{\beta} + h_z \leq 0,03 \text{ мм.} \quad (6.3)$$

Подставив в формулу (6.3) численные значения допусков и координат краевых точек, получим $0,03 = T_{\Gamma} + 0,02$. Положительная величина $T_{\Gamma} = 0,01$ мм свидетельствует о правильности назначения допусков на отклонения формы, на линейные и угловые размеры плиты спутника.

Отклонение расстояния от оси отверстия, расположенного на плоскости корпуса, до его базовой плоскости зависит от параметров, определяющих точность параллельного смещения и точность углового положения оси, а также от параметров, характеризующих геометрическую точность оси отверстия и базовой плоскости. Для отверстия, расположенного в плоскости YOZ параллельно оси OX (см. рис. 6.4, а), предельные отклонения размеров L_z и L_y , определяющих расстояния от центра до базовых поверхностей в вертикальном OZ и горизонтальном OY направлениях, составят:

$$\begin{aligned} \text{верхние отклонения} \quad \begin{bmatrix} \Delta_Z^B \\ \Delta_Y^B \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \Delta_{\Gamma}^B \\ \Delta_B^B \end{bmatrix} + X \cdot \begin{bmatrix} -\Delta_{\beta}^H \\ \Delta_{\gamma}^B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_z^B \\ h_y^B \end{bmatrix}, \\ \text{нижние отклонения} \quad \begin{bmatrix} \Delta_Z^H \\ \Delta_Y^H \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \Delta_{\Gamma}^H \\ \Delta_B^H \end{bmatrix} + X \cdot \begin{bmatrix} \Delta_{\beta}^B \\ -\Delta_{\gamma}^H \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_z^H \\ h_x^H \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

где X – длина отверстия в направлении оси OX ; $(\Delta_{\Gamma}^B, \Delta_{\Gamma}^H)$, (Δ_B^B, Δ_B^H) – предельные отклонения параметров смещения центра отверстия; $(\Delta_{\lambda}^B, \Delta_{\lambda}^H)$, $(\Delta_{\gamma}^B, \Delta_{\gamma}^H)$ – предельные отклонения углов относительного поворота оси отверстия; (h_x^B, h_x^H) , (h_z^B, h_z^H) – суммарные предельные отклонения геометрической формы базовой плоскости и отверстия (отклонения от прямолинейности оси).

Для рассматриваемых размеров L_z , L_y , определяющих положение отверстия, функциональная связь между допусками, ограничивающими три вида геометрических отклонений, имеет вид:

$$\begin{vmatrix} T_{Lz} \\ T_{Ly} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} T_{\Gamma} \\ T_B \end{vmatrix} + X \cdot \begin{vmatrix} T_{\lambda} \\ T_{\beta} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} h_z \\ h_y \end{vmatrix}, \quad (6.4)$$

где $T_G, T_B, T_\lambda, T_\beta$ – допуски, определяющие соответственно точность параметров смещения и точность относительного поворота оси отверстия; h_z, h_y – пределы суммарного отклонения геометрической формы базовой плоскости и оси отверстия.

Покажем использование приведенных формул на примере корпусной детали, представленной на рис. 6.4, а. Согласно техническим требованиям допуск на расстояние 56 мм от оси отверстия диаметром 25Н7 до базовой плоскости A составит $T_{Lz} = 0,06$ мм, а допуск на относительный поворот оси отверстия $T_\beta = 0,03/250$. Отклонение от прямолинейности оси отверстия $h_{от} = 0,005$ мм, а отклонение от плоскостности поверхности A не превышает $h_{пл} = 0,01$ мм. В результате $h_z = h_{от} + h_{пл} = 0,015$ мм. Согласно выражению (6.4) при длине отверстия $x = 150$ мм для T_{Lz} можно записать $0,06 = T_G + 150 \cdot 0,03/250 + 0,015$. Тождественность полученного выражения имеет место при положительном значении T_G , что свидетельствует о правильности назначенных допусков.

При рассмотрении точности расстояния между осями двух главных отверстий одно из отверстий следует считать базовым. Например, система $(O x y z)_1$, относительно которой имеют место смещение и поворот координатной системы $(O x y z)_2$ второго отверстия. Отклонение межосевого расстояния зависит от параметров, характеризующих точность параллельного смещения и точность относительного поворота одного отверстия относительно другого, а также от прямолинейности осей двух отверстий.

Формулы, устанавливающие связь допусков, ограничивающих три вида отклонений для межосевых размеров $L_{цZ}, L_{цY}, L_{цX}$, расположенных в различных координатных плоскостях, имеют вид:

$$\text{для плоскости } YOZ \quad T_{цX} = \sqrt{2}(T_G + X \cdot T_\gamma + h_x);$$

$$\text{для плоскости } XOZ \quad T_{цY} = \sqrt{2}(T_A + Y \cdot T_\lambda + h_y);$$

$$\text{для плоскости } XOY \quad T_{цZ} = \sqrt{2}(T_A + Z \cdot T_\lambda + h_z),$$

где X, Y, Z – длины соответствующих отверстий;

$T_A, T_B, T_G, T_\lambda, T_\beta, T_\gamma$ – допуски, определяющие точность параметров смещения и относительных поворотов осей отверстий;

h_x, h_y, h_z – допустимые отклонения от прямолинейности осей отверстий. Приведенные выше формулы получены при условии равенства

допусков на соответствующие параметры смещения и поворота осей отверстий, расположенных в соответствующих координатных плоскостях:

в YOZ ($T_{\Gamma} = T_{\beta}$; $T_{\gamma} = T_{\beta}$), в YOZ ($T_A = T_{\Gamma}$; $T_{\lambda} = T_{\gamma}$), в XOY ($T_A = T_{\beta}$; $T_{\lambda} = T_{\beta}$).

6.2. Материал и методы получения заготовок для корпусных деталей

Марку материала для изготовления корпусных деталей выбирают исходя из служебного назначения корпуса и условий работы его в машине. При этом учитывают влияние свойств материала на формирование таких конструктивных параметров, как прочность и жесткость конструкции, ее виброустойчивость, износостойкость отдельных поверхностей, габаритные размеры и масса детали. Одновременно необходимо учитывать технологические факторы, определяющие методы получения заготовки, обрабатываемость материала и связанные с этим затраты. В качестве материала для изготовления различных корпусных деталей применяют главным образом серый чугун, реже углеродистые стали, а также ковкий чугун, легированные стали и сплавы цветных металлов.

Серый чугун – основной конструктивный материал для корпусных деталей. При относительно невысокой стоимости серый чугун обладает хорошими литейными свойствами, что позволяет использовать его для получения отливок сложной конфигурации. Он хорошо обрабатывается и имеет неплохие физико-механические свойства, которые путем модификации и термической обработки можно изменять в требуемом направлении. Отливки из серого чугуна обладают высокой циклической вязкостью, что способствует демпфированию колебаний.

Корпусные детали металлорежущих станков, корпуса сельскохозяйственных и подъемно-транспортных машин, корпуса различных стационарных редукторов, центробежных насосов и других изделий изготавливают из серого чугуна марок СЧ15, СЧ18, СЧ20. Числа, определяющие марку серого чугуна, например СЧ15, соответствуют пределу прочности на растяжение.

Для изготовления малонагруженных деталей типа крышек, плит, поддонов применяют чугун СЧ12. Корпусные детали с направляющими, к которым предъявляются повышенные требования на износостойкость,

изготавливают из серого чугуна СЧ20 и модифицированного чугуна марок СЧ30, СЧ35. Модифицирование чугуна способствует получению необходимой формы графита, в частности шаровидного, созданию однородной структуры и повышению его прочности. Оно осуществляется путем введения в чугун присадок ферросилиция, силикоалюминия, церия, магния и др. Отливки прецизионных станков должны иметь однородную беспористую структуру и обладать высокими физико-механическими свойствами, равномерной нормированной твердостью, износостойкостью и хорошей обрабатываемостью.

Для получения тонкостенных отливок применяют чугуны с повышенным содержанием фосфора, способствующего улучшению литейных свойств, а также высоким содержанием углерода до 3,6 % и кремния до 2,8 %.

Плиты спутников изготавливают из сталей 30Л, 40Х, 12ХНЗА. Корпусные детали ходовой части машин, тракторов, работающие под большими нагрузками, производят из серого чугуна СЧ20, СЧ25, а также из ковкого чугуна КЧ35. Для получения повышенной прочности картеры задних мостов автомобилей большой грузоподъемности выполняют из литейных сталей 40Л, 40ЛК. Ковкий чугун и литейные стали применяют также для производства корпусных деталей сельскохозяйственных и дорожных машин, подверженных вибрациям, ударным и знакопеременным нагрузкам. Блоки цилиндров, головки блоков различных двигателей изготавливают из чугуна СЧ20, СЧ25 и алюминиевых сплавов.

Корпуса высоконапорных насосов, компрессоров производят из чугунов повышенной прочности СЧ25, СЧ30 или стального литья. Корпуса паровых турбин, работающих при температуре 250...400 °С и высоком давлении, – из модифицированных чугунов повышенной прочности или углеродистой стали 30Л.

Для корпусов паровых турбин применяют также легированные молибденовые и хромомолибденовые стали. Корпуса электродвигателей отливают из стали 15Л. Корпусные детали, работающие в соприкосновении с агрессивной средой (кислотами, щелочами, морской водой), изготавливают из коррозионно-стойких материалов. С этой целью используют коррозионно-стойкие стали и, в частности, легированные хромистые или хромоникелевые стали 12Х18Н9ТЛ, 20Х23Н13, а также бронзу и литейные латуни ЛК 80-3Л. Для изготовления корпусных деталей ма-

лой массы широко применяют алюминиевые и магниевые сплавы АЛ4, АЛ8, АЛ10В, АЛ13. Получение из них точных отливок под давлением позволяет значительно уменьшить трудоемкость механической обработки деталей резанием. Корпусные детали из легких сплавов используют в авиации и транспортном машиностроении.

Сварные корпусные детали редукторов, сварные детали типа кронштейнов, стоек, угольников в большинстве случаев изготавливают из листовой малоуглеродистой стали Ст. 3, Ст. 4, штампованные сварные картеры задних мостов автомобилей из листовой стали 35, 40. По сравнению с литыми картерами они имеют меньшие габаритные размеры и массу, что позволяет получить более высокий коэффициент использования металла.

Методы получения заготовок. При выборе заготовки необходимо определить рациональный метод ее получения, назначение требуемых припусков на механическую обработку резанием поверхности и выявление комплекса технических требований, характеризующих геометрическую точность заготовки и физико-механические свойства ее материала. Заготовки для корпусных деталей получают литьем и сваркой. Причем около 95 % заготовок – это отливки, а основным литейным материалом служит чугун.

Основными способами получения отливок являются литье в песчаные формы, в кокиль, под давлением, литье в оболочковые формы, а для малых по размеру и массе деталей литье по выплавляемым моделям. Для корпусных деталей наиболее широко используют литье в песчаные формы. В зависимости от серийности и сложности отливки возможна ручная и машинная формовка. В единичном производстве и при изготовлении особо сложных отливок применяют ручную формовку. Для крупных отливок в единичном производстве формовку выполняют в песчаные формы, в остальных случаях производится формовка в парные опоки. Машинная формовка с применением металлических или деревянных моделей не требует рабочих высокой квалификации, ее применяют для малых и средних отливок в серийном и массовом производстве, что обеспечивает более высокую производительность. Машинная формовка по сравнению с ручной позволяет получить более качественные однородные отливки со стабильными параметрами точности.

Для ответственных отливок сложной конфигурации, как, например, блоки цилиндров, формы собирают с использованием сухих стержней, выставляемых по специальным шаблонам-кондукторам.

При проектировании технологического процесса получения отливки необходимо учитывать технологические базы, используемые для механической обработки детали, и базы разметки. Эти поверхности должны быть исходными при изготовлении модели и для контроля точности отливки. Базовые поверхности нужно располагать так, чтобы на их точность не влияло возможное относительное смещение опок или стержней. Поверхности, в которых требуется получение равномерного припуска или размеров более высокой точности, необходимо располагать в одной полуформе или получать, используя один стержень и не допуская пересечения плоскостью разъема. Литье в кокиль применяют для получения фасонных отливок из цветных сплавов, чугуна и стали в условиях серийного и массового производства. Размеры таких отливок могут достигать 1,5 м, а масса от нескольких килограммов до нескольких тонн. Отливки, полученные литьем в кокиль, имеют точность размеров 11...12-го качества. Параметр шероховатости поверхности отливок соответствует $Ra = 10...5$ мкм. Это позволяет в 2...3 раза уменьшить припуск под механическую обработку резанием. Для отливок из чугуна размерами 1000 мм припуск равен 0,7...3,5 мм, а для более точных отливок из цветных сплавов отпадает необходимость дальнейшей обработки большинства поверхностей. Для отливок при литье в кокиль характерна более плотная мелкозернистая структура металла, что способствует повышению механических свойств заготовок на 15...30 % [6, 24].

В зависимости от материала и массы отливки многократность использования металлических форм может составить от ста до нескольких тысяч заливок. Для получения качественных отливок и увеличения периода эксплуатации формы ее внутреннюю поверхность покрывают огнеупорной облицовкой и специальной краской. Металлическая форма может иметь две и более разъемные части. Внутренняя конфигурация отливки обеспечивается с помощью песчаных или металлических стержней. В условиях крупносерийного и массового производства при литье в кокиль используют специальные литейные машины, уровень автоматизации которых возрастает с увеличением серийности производства. Эти машины выполняют в цикле такие переходы, как открытие и за-

крытие форм, установка и выемка стержней, съем и выбивка отливок из форм.

К заготовкам, отливаемым в кокиль, предъявляют определенные требования. Для легкости извлечения отливки из форм ее конфигурация должна иметь по возможности меньше выступающих элементов и уклонов в сторону плоскости разъема. Для создания условий нормального заполнения формы толщина стенок чугунных и стальных отливок размером до 700 мм должна быть не менее 8...10 мм, а отливок из цветных сплавов не менее 3...6 мм. Отливки не должны иметь резких утолщений, ребра необходимо располагать перпендикулярно к плоскости разъема. Поверхности отливки, используемые в качестве баз для механической обработки или баз разметки, следует располагать в одной части кокиля. Эти поверхности не должны лежать в плоскости разъема.

Литьем под давлением получают в основном точные отливки корпусных деталей из цветных сплавов. Этот способ обеспечивает получение фасонных отливок сложной конфигурации с тонкими стенками и различными по размерам отверстиями с внутренними или наружными резьбами. Такие отливки имеют хороший внешний вид, получаемый параметр шероховатости поверхности $Ra = 5...1,25$ мкм. Металлические формы при этом способе имеют более сложную конструкцию с применением металлических стержней, технические требования на точность изготовления форм значительно выше по сравнению с обычным кокилем. Это позволяет получить точные отливки размерами до 500 мм с точностью по 11...14-му квалитетам, иногда точность достигает 9...10-го квалитетов. Корпусные детали, получаемые из таких отливок, требуют минимальной механической обработки.

При литье в кокиль и под давлением можно получить армированные отливки с использованием вставок из других материалов, обладающих более высокими физико-механическими свойствами. Например, для отливок из алюминиевых сплавов применяют армирующие трубки из углеродистой или коррозионно-стойкой стали; при этом толщина стенки вокруг арматуры равна примерно 5 мм. Блоки цилиндров из алюминиевых сплавов отливают под давлением или в кокиль. Для литья под давлением используют специальные машины, в которых пресс-форма нагревается до 200...250 °С и заливка осуществляется при давлении 11...12 МПа. Предварительно в пресс-формы вставляют чугунные гильзы цилиндров и

другую арматуру. Полученные отливки испытывают на герметичность воздухом или водой при давлении 0,3...0,4 МПа. Припуски на механическую обработку резанием у блоков из алюминиевых сплавов составят 2...3 мм.

Литье в оболочковые формы одноразового пользования применяют для получения ответственных фасонных отливок из различных материалов в серийном и массовом производстве. Получаемые при этом способе заготовки корпусных деталей имеют размеры до 500...700 мм и массу не более 50 кг. Точность размеров таких отливок соответствует 12...14-му качествам, параметр шероховатости поверхности Ra 10...2,5 мкм. Высокая точность размеров отливки позволяет уменьшить припуски до 0,25...0,5 мм или вообще исключить механическую обработку большинства поверхностей.

Сварные заготовки из стали применяют главным образом в условиях единичного и мелкосерийного производства для корпусов относительно простой геометрической формы и для корпусов, подверженных ударным нагрузкам. Применение сварных и штампованных сварных заготовок в серийном производстве требует хорошо оборудованного сварочного цеха. Для уменьшения деформирования при сварке такие корпуса должны быть достаточно жесткими, иметь симметричную форму и симметричное расположение сварных швов. По сравнению с заготовками из чугуна, получаемыми литьем в песчаные формы, они имеют меньшую массу (в 1,5...2 раза), меньшие припуски, а следовательно, меньшую трудоемкость механической обработки. Получение сварных заготовок не требует первоначальных затрат, связанных с изготовлением модельного комплекта. Однако подготовка для сварки различных деталей (пластин, укосин, бобышек), раскрой и резка листовой стали, механическая обработка резанием требуют значительных затрат. Необходимо учитывать также стоимость сварочных приспособлений и расходы на сварку.

Полученные заготовки подвергают термической обработке, характер и режимы которой выбирают в зависимости от материала и служебного назначения детали, учитывая при этом ее конструкцию и технические требования. Низкотемпературный отжиг, используемый для отливок из серого чугуна, предусматривает нагрев заготовок до 500...600 °C со скоростью 50...150 °C в час, выдержку деталей при этой температуре

в течение 2,5...10 ч и медленное охлаждение до 250...300 °С со скоростью 30...50 °С в час. Он обеспечивает снятие внутренних напряжений, повышение вязкости и стабилизацию размеров детали [8, 14].

Термическая обработка отливок из легких сплавов улучшает структуру и обрабатываемость материала, способствует снижению внутренних напряжений и повышению физико-механических свойств. Одним из видов искусственного старения отливок можно назвать вибростарение. Отливки малых размеров загружают во вращающиеся барабаны, где при их соударении возникает знакопеременная нагрузка, а заготовки средних и больших размеров устанавливают на вибростолы. Этот процесс продолжается несколько часов. Естественное старение (вылеживание заготовок на улице в условиях колебания температуры) в течение нескольких недель или месяцев также способствует снижению внутренних напряжений и упрочнению чугунных отливок.

Параметры точности размеров и шероховатости поверхностей, получаемые при различных способах литья, приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1. Точность размеров и шероховатость поверхности отливок

Способ литья	Квалитет точности размеров <i>IT</i> и параметр шероховатости поверхности <i>Ra</i> (мкм) для материалов заготовки		
	Легкие цветные сплавы	Серый чугун	Ковкий чугун, сталь
Под давлением	13...11; <i>Ra</i> до 0,63	14...12; <i>Ra</i> 1,25	–
В керамические формы и по выплавляемым моделям	14...12; <i>Ra</i> 2,5...1	15...13; <i>Ra</i> 5...2,5	15...14; <i>Ra</i> 2,5...5
В кокиль и в оболочковые формы	17...13; <i>Ra</i> 5...2,5	17...14; <i>Ra</i> 10...5	18...15; <i>Ra</i> 20...10
В песчано-глинистые формы, центробежное литье	18...14; <i>Ra</i> 10...5	19...15; <i>Ra</i> 20...10	19...16; <i>Ra</i> 20...10

Перед механической обработкой резанием заготовки подвергают пескоструйной или дробеструйной очистке в специальных камерах, а затем производят грунтовку и окраску необрабатываемых поверхностей. В технических требованиях чертежа отливки или детали с нанесенными размерами отливки должны быть указаны нормы точности отливки. Их приводят в следующем порядке: класс размерной точности, сте-

пень коробления, степень точности поверхностей, класс точности массы и допуск смещения отливки. *Пример условного обозначения* точности отливки 8-го класса размерной точности, 5-й степени коробления, 4-й степени точности поверхностей, 7-го класса точности массы с допуском смещения 0,8 мм

Точность отливки 8-5-4-7. См. 0.8 ГОСТ 26645-85.

В целом согласно ГОСТ 26645-85 на отливки предусмотрено в порядке уменьшения норм точности: классов размерной точности 1...16; степеней коробления 1...11; степеней точности поверхностей 1...22; класса точности массы 1...16.

В технических требованиях чертежей литой детали допускается сокращенная запись норм точности отливки, когда ненормируемые параметры заменяют нулями:

Точность отливки 8-0-0-7 ГОСТ 26645-85,

однако указание классов размерной точности и класса точности массы отливки является обязательным.

В технических требованиях чертежа отливки или детали с нанесенными размерами отливки должны быть приведены в указанном ниже формате значения номинальных масс:

масса 20,35-3,15-1,35-24,85 ГОСТ 26645-85,

где 20, 35кг – номинальная масса детали; 3,15 кг – масса припусков на обработку; 1,35 кг – масса технологических напусков; 24,85 кг – масса отливки.

Для необрабатываемых отливок или при отсутствии технологических напусков соответствующие величины заменяют нулями:

масса 20,35-0-1,35-20,70 ГОСТ 26645-85

или *масса 20,35-0-0-20,35 ГОСТ 26645-85.*

В технических требованиях чертежа литой детали указывают только массу детали.

6.3. Выбор технологических баз и последовательность обработки

Структура и содержание технологического процесса механической обработки резанием корпусной детали зависят от конструктивного исполнения детали, сложности ее геометрической формы, размеров и массы детали, от вида применяемой заготовки, сложности предъявляемых технических требований и характера производства.

Несмотря на многообразие конструктивного исполнения корпусных деталей, различие их геометрических форм, размеров и предъявляемых технических требований, в разработке и построении технологического процесса механической обработки имеют место общие закономерности. Эти закономерности относятся к задачам выбора технологических баз, определению последовательности обработки поверхностей в соответствии с намеченными технологическими базами, определению необходимого числа переходов по обработке определенных поверхностей детали, к выбору оборудования и формированию операций.

Для различных по конструкции и размерам корпусных деталей технологический процесс механической обработки включает в себя следующие основные этапы.

1. Предварительная и чистовая обработка плоских поверхностей или плоскости и двух отверстий, используемых в дальнейшем в качестве технологических баз детали.
2. Обработка остальных наружных поверхностей детали.
3. Предварительная и чистовая обработка главных отверстий.
4. Обработка мелких и резьбовых отверстий.
5. Отделочная обработка плоских поверхностей и главных отверстий детали.
6. Контроль точности детали.

В зависимости от технических требований между этапами черновой и чистовой обработки детали может быть предусмотрено естественное или искусственное старение для снятия внутренних напряжений. Приведенные этапы являются общими, и построение технологических процессов механической обработки различных корпусных деталей обычно не выходит за их рамки.

Выбор технологических баз и определение последовательности обработки поверхностей детали – наиболее ответственный этап разработки технологического процесса. Правильность принятия решения на этом этапе технологического проектирования во многом определяет достижение требуемой точности детали в процессе ее изготовления и экономичность технологического процесса. Выбор технологических баз основан на выявлении и анализе функционального назначения поверхностей детали и установлении соответствующих размерных связей, определяющих точность положения одних поверхностей детали относительно дру-

гих. Выполнение такого анализа требует полного и четкого понимания задач служебного назначения детали.

Следует различать выбор технологических баз для обработки большинства поверхностей детали и выбор технологических баз на первой или на первых операциях, когда создаются базы для выполнения большинства операций технологического процесса. В первую очередь необходимо выбирать технологические базы для обработки большинства поверхностей детали, а затем базы для первой или первых операций.

Для корпусных деталей машин характерным является наличие нескольких комплектов вспомогательных баз, образуемых сочетанием различных геометрических поверхностей, которые определенным образом связаны с основными базами детали и между собой. Анализ функционального назначения различных поверхностей детали и размерных связей между ними позволяет определить поверхности, относительно которых задано положение большинства других поверхностей, и выявить поверхности, к которым предъявляют наиболее жесткие технические требования, необходимость выполнения последних во многом определяет принимаемые решения. Проведение такого анализа можно сделать наглядным и существенно облегчить путем построения графа связей поверхностей детали. Для этого поверхности детали обозначают индексами из определенных букв *O*, *B*, *K*, *C* и цифр, которые устанавливают функциональное назначение поверхности и ее номер. Буквы, входящие в индекс, обозначают поверхности основных баз – *O*, вспомогательных баз – *B*, крепежных и резьбовых отверстий – *K*, свободные поверхности детали, включая и необрабатываемые, – *C*.

Поверхности основных баз нумеруют в порядке уменьшения числа располагаемых на них опорных точек. Например, *O1* – установочная база, *O2* – направляющая или двойная опорная, *O3* – опорная база. Для остальных поверхностей цифры обозначают последовательность их нумерации. Построение графа связей поверхностей начинают с нанесения узлов, обозначающих определенные поверхности детали. Затем узлы соединяют ребрами, которые обозначают наличие размерных и угловых связей между соответствующими поверхностями детали. Размерные связи наносят сплошными линиями, а угловые – штриховыми со стрелкой, направленной в сторону базы. На ребрах могут быть проставлены также номиналы и допуски соответствующих размеров и относительных поворотов поверхности детали.

На рис. 6.5 и 6.6 показаны примеры построения графа связей поверхностей соответственно для корпусов механизма перемещения пиноли и сверлильной головки. Анализ приведенных связей показывает, что положение главных отверстий и других обрабатываемых поверхностей определяется по отношению к основным базам корпуса.

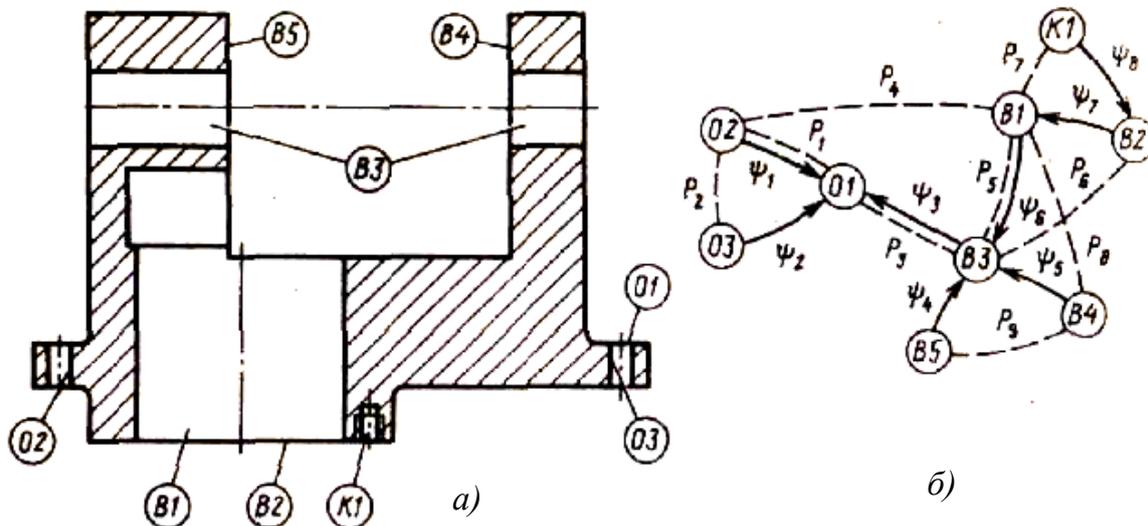


Рис. 6.5. Схема связи поверхностей корпусной детали: а – обозначение поверхностей детали; б – граф связей поверхностей

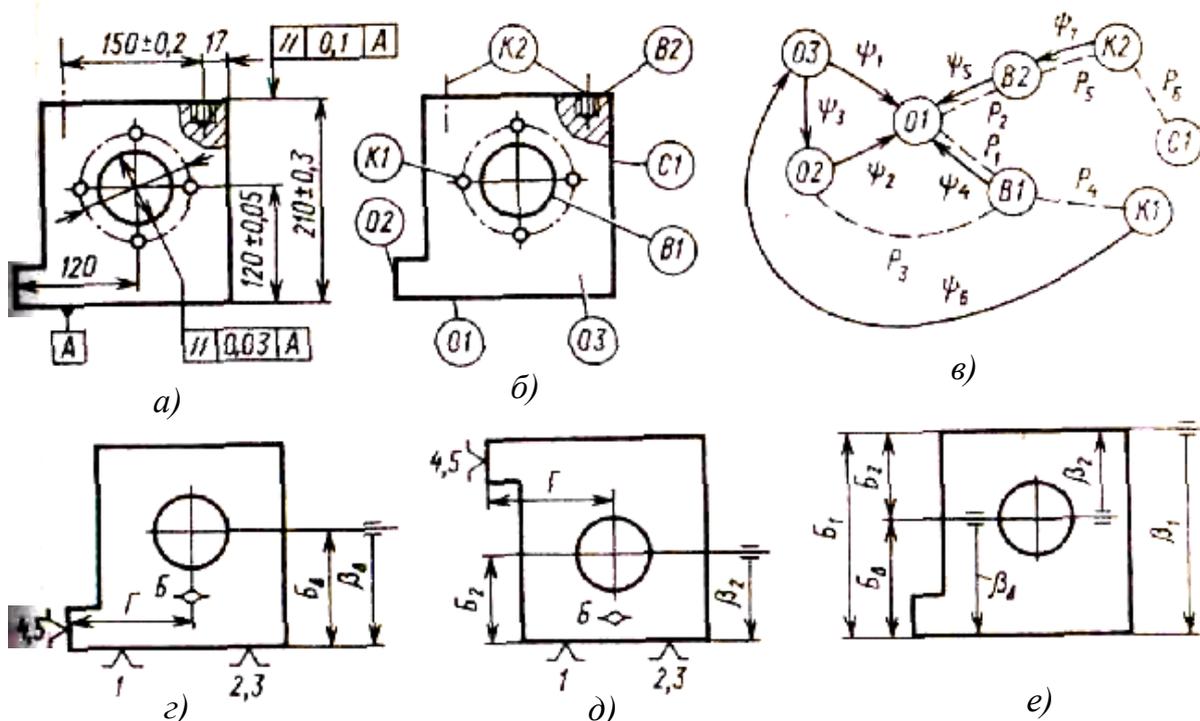


Рис. 6.6. Выбор технологических баз при изготовлении корпуса сверлильной головки: а – рабочий эскиз детали; б – поверхности детали, подлежащие обработке; в – схемы связей поверхностей; г – базирование по основным базам детали; д – базирование по вспомогательным базам; е – технологическая размерная цепь

Выбирая технологические базы, в первую очередь следует исходить из необходимости достижения точности относительного поворота поверхностей детали, а затем точности расстояния. Это объясняется тем, что точность относительного поворота обеспечивается на ставках методами взаимозаменяемости, что практически исключает возможность коррекции, а точность расстояния – методом регулировки, при котором возможна компенсация отклонений.

Для достижения требуемой точности детали наиболее коротким путем в качестве технологических баз для выполнения большинства операций следует выбирать поверхности детали, от которых задано положение большинства других поверхностей. Обычно положение большинства поверхностей детали задают согласно служебному назначению относительно ее основных баз. В соответствии с этим в качестве технологических баз для обработки большинства поверхностей выбирают, как правило, основные базы детали.

Для корпуса механизма перемещения пиноли (рис. 6.5, а) такими базами являются плоскость $O1$ и два отверстия $O2, O3$. А для корпуса сверлильной головки технологическими базами для большинства операций будут плоскость основания $O1$ и плоскости $O2, O3$, образующие координатный угол (рис. 6.6, б). Если при обработке отверстия в корпусе сверлильной головки в качестве установочной технологической базы взять противоположащую поверхность $B2$, то возникают более длинные технологические размерные цепи (рис. 6.6, д). Точность параметров, определяющих положение отверстия $B1$ относительно плоскости $O1$, в этом случае будет зависеть от точности, получаемой на двух операциях: при обработке плоскости $B2$ и при растачивании отверстия $B1$ (рис. 6.6, е)

$$B_{\Delta} = B_1 - B_2; \quad \beta_{\Delta} = \beta_1 + \beta_2; \quad \omega_{B_{\Delta}} = \omega_{B_1} + \omega_{B_2}; \quad \omega_{\beta_{\Delta}} = \omega_{\beta_1} + \omega_{\beta_2}.$$

Необходимость получения $T_{B_{\Delta}} = 0,1$ мм и $T_{\beta_{\Delta}} = 0,03/300$ потребует уменьшить допуски на операционные размеры до значений $T_{B_1} = 0,07$ мм; $T_{B_2} = 0,03$ мм; $T_{\beta_1} = T_{\beta_2} = 0,015/300$. В результате получим:

$$T_{B_{\Delta}} = 0,07 + 0,03 = 0,1 \text{ мм}, \quad T_{\beta_{\Delta}} = 0,015/300 + 0,015/300 = 0,03/300.$$

Однако выполнить это не всегда возможно. Необходимо стремиться к тому, чтобы на основе принципа единства баз наиболее ответственные параметры точности детали с жесткими допусками были получены при

обработке как замыкающие звенья технологической системы одного станка.

Обработка большинства поверхностей детали с одних и тех же технологических баз означает использование координатного метода получения точности размеров. Использование этого метода имеет особо важное значение для достижения требуемой точности относительных поворотов поверхностей детали. При координатном методе получения размеров влияние погрешности установки детали на точность линейных и угловых размеров, полученных с одной установки, исключается.

Использование на операциях механической обработки основных баз детали в качестве технологических, а затем в процессе контроля в качестве измерительных означает наиболее полное соблюдение принципа единства баз. Однако от использования координатного метода, основанного на соблюдении принципа единства баз, в ряде случаев приходится отходить. Это связано с необходимостью получения более высокой точности размеров, заданных от поверхностей, которые не являются основными базами детали. В качестве новых технологических баз в этом случае выбирают те поверхности, от которых непосредственно заданы требуемые размеры. Это означает переход от координатного метода получения размеров к цепному, что позволяет уменьшить число звеньев технологических размерных цепей.

В отдельных случаях расположение основных баз корпуса затрудняет осуществить правильное силовое замыкание. Малые габаритные размеры основных базирующих поверхностей также могут быть причиной появления значительной погрешности установки. Все это в определенных случаях не позволяет использовать основные базы детали в качестве технологических. Отличительными геометрическими признаками поверхностей, выбираемых в качестве технологических баз, являются наибольшие габаритные размеры поверхности установочной базы, наибольшая протяженность поверхности направляющей базы и наименьшие габаритные размеры поверхности опорной базы. Соблюдение этих условий позволяет значительно уменьшить влияние погрешности установки детали на точность обработки. В тех случаях, когда основные базирующие поверхности корпусной детали не отвечают указанным требованиям и неудобны для установки детали на станках, приходится создавать искусственные технологические базы в виде специальных приливов и платиков.

Решив задачу выбора баз для обработки большинства поверхностей детали, необходимо определить технологические базы для выполнения первой или первых операций технологического процесса. На первой или первых операциях обрабатывают поверхности, которые затем используют в качестве технологических баз на большинстве последующих операций технологического процесса. Выбор баз на первой операции имеет особое значение. Технологические базы на первой операции следует выбирать с учетом необходимости решения следующих двух задач [4, 14].

1. Установление требуемой точности положения обрабатываемых поверхностей детали относительно черных необрабатываемых поверхностей.

2. Обеспечение равномерного припуска на обрабатываемых поверхностях детали.

Если первая задача определяется техническими условиями, вытекающими из служебного назначения детали, то вторая задача – требованиями технологии. Правильное решение ее позволяет уменьшить количество выполняемых переходов и операций, что имеет важное значение для повышения производительности и эффективности использования станочного оборудования. Выявив и четко сформулировав стоящие в каждом конкретном случае задачи, необходимо с учетом их важности установить приоритет их решения. В большинстве случаев возможно несколько вариантов решения этих задач, и для нахождения предпочтительного решения необходимо проанализировать различные схемы базирования детали путем выявления и расчета возникающих технологических размерных связей. Для этого в первую очередь необходимо найти то место в технологическом процессе, где поставленная задача находит свое окончательное решение. В большинстве случаев результат выбора определенной схемы базирования детали на первой операции проявляется не в начале, а на последующих этапах технологического процесса. Например, если стоит задача обеспечения требуемой точности положения обрабатываемой поверхности относительно свободных необрабатываемых поверхностей, то ее решение следует искать на операции окончательной обработки данной поверхности. Если же стоит задача обеспечения равномерного припуска при обработке определенной поверхности, то ее решение проявляется уже на первом этапе обработки этой поверхности.

Определив в технологическом процессе место решения рассматриваемой задачи, т.е. место формирования замыкающего звена, необходимо выявить составляющие звенья соответствующей технологической цепи. Это означает, что следует определить те операционные размеры, получаемые на данной и предшествующих операциях, и те размеры заготовки, которые влияют на точность замыкающего звена. Цепочку искомых операционных размеров выявляют, идя от обработанной поверхности к соответствующей технологической базе на данной операции и далее от базы к поверхности, от которой она была получена на предшествующей операции, и т. д. Осуществляя таким образом последовательный переход от рассматриваемой операции к началу технологического процесса, доходят до поверхности заготовки, которую используют в качестве технологической базы на первой операции. Если при этом искомая технологическая размерная цепь оказывается незамкнутой, то ее построение завершают одним или несколькими размерами, принадлежащими заготовке, которые связывают технологические базы на первой операции и поверхность заготовки, от которой задано исходное (замыкающее) звено.

Рассмотрим задачи выбора технологических баз на примере обработки корпуса электродвигателя (рис. 6.7). В результате обработки необходимо обеспечить точность положения главного отверстия – требуемое расстояние A и параллельность λ оси отверстия основанию (рис. 6.7, *a*). Необходимо обеспечить также симметричное расположение отверстия относительно наружного контура ($B = 0$, $T_B = \pm 0,5$ мм) и требуемый размер B полки. Механическую обработку корпуса предполагается выполнять на станках с ЧПУ.

В качестве технологических баз для обработки большинства поверхностей детали примем плоскость основания, которая является основной базой корпуса, и два перпендикулярных к ней отверстия (рис. 6.7, *b*, *z*). Такой выбор объясняется тем, что большинство поверхностей корпуса, включая главные и резьбовые отверстия, поверхности торцов и полки связаны размерами и относительными поворотами с плоскостью основания, геометрические параметры которой отвечают требованиям установочной базы. Достижение ответственных параметров точности детали с жесткими техническими требованиями представляется возможным получить при нахождении варианта обработки с

наиболее короткими технологическими размерными связями. Размер A и поворот λ получаем как замыкающие звенья технологической системы сверлильно-расточного станка на операции № 2. Точность этих параметров будет зависеть только от выполнения данной операции

$$A = A_{\Delta}; \quad \lambda = \lambda_{\Delta}; \quad \omega_A = \omega_{\Delta}; \quad \omega_{\lambda} = \omega_{\lambda_{\Delta}}.$$

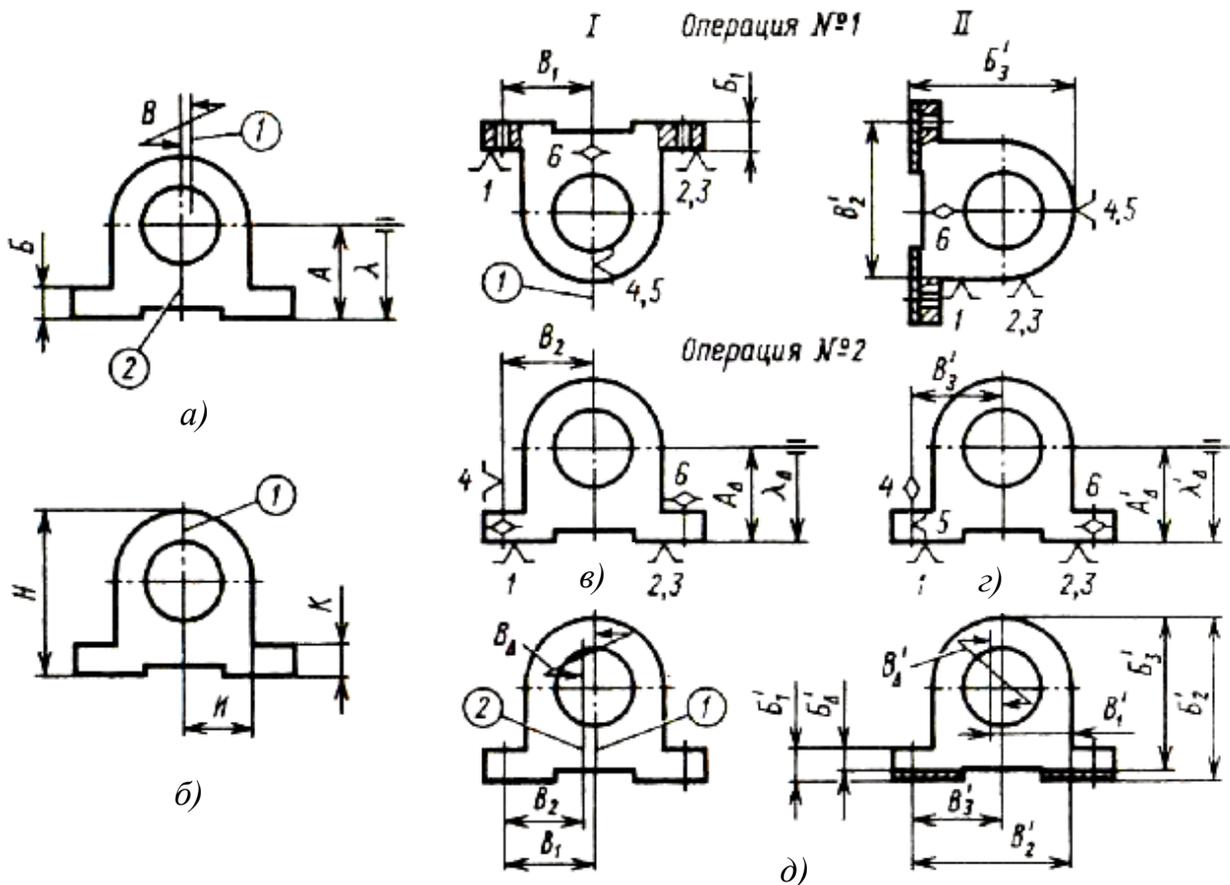


Рис. 6.7. Выбор технологических баз для обработки заготовки корпуса электродвигателя: а – задача обработки; б – эскиз заготовки; (1 – ось симметрии корпуса, 2 – ось отверстия, положение оси 1 определяется разметкой при базировании по варианту I); в – базирование по варианту I; г – базирование по варианту II; д – технологические размерные цепи, определяющие решение задач при базировании по вариантам I и II)

В качестве технологических баз на операции № 1 примем:

по варианту I (рис. 6.7, в) поверхность полук – установочная база; плоскость симметрии корпуса – направляющая база; поверхность торца – опорная база.

по варианту II (рис. 6.7, г) боковая поверхность корпуса – установочная база; поверхность головки – направляющая база; поверхность торца – опорная база.

Базирование детали по скрытой направляющей базе на операции № 1 (вариант I) можно осуществить с использованием самоцентрирующего приспособления или с помощью подпружиненной (плавающей) призмы, а также путем выставки детали по разметке.

Выбор технологических баз на операции № 1 определяет решение задачи симметричного расположения отверстия относительно наружного контура и получение требуемого размера полки. Первую из этих задач можно представить замыкающим звеном, которое определяет смещение оси обрабатываемого отверстия относительно плоскости симметрии корпуса. Это смещение проявляется после обработки на сверлильно-расточной операции № 2. Используя изложенную выше методику, построим технологические размерные цепи, определяющие решение рассматриваемой задачи при базировании по двум вариантам (рис. 6.7, д):

$$\begin{aligned} \text{по варианту I} \quad & B_{\Delta} = B_1 + B_2 ; \\ \text{по варианту II} \quad & B'_{\Delta} = B'_1 - B'_2 + B'_3 . \end{aligned}$$

При варианте II технологическая размерная цепь длиннее, в нее входят звенья с большими отклонениями, в цепь входит размер заготовки $B'_1 = I$. Погрешности на замыкающих звеньях при расчете по методу полной взаимозаменяемости (максимума-минимума) составят:

$$\omega_{B_{\Delta}} = \omega_{B_1} + \omega_{B_2} ; \quad (6.5)$$

$$\omega_{B'_{\Delta}} = \omega_{B'_1} + \omega_{B'_2} + \omega_{B'_3} . \quad (6.6)$$

Подставив в (6.5) и (6.6) значения полей рассеяния, получим:

$$\omega_{B_{\Delta}} = 0,4 + 0,2 = 0,6 \text{ мм} \quad \omega_{B'_{\Delta}} = 0,8 + 0,5 + 0,2 = 1,5 \text{ мм}.$$

Размер полки B получают в результате фрезерования плоскости основания на операции № 1. Базирование на этой операции по варианту I обеспечивает получение размера полки самым коротким путем, как замыкающее звено технологической системы

$$B = B_{\Delta} ; \omega_B = \omega_{B_{\Delta}} = 0,3 \text{ мм}.$$

При базировании по варианту II имеет место трехзвенная технологическая цепь, куда входят также размеры $B'_1 = K$, $B'_2 = H$ заготовки $B'_{\Delta} = B'_1 - B'_2 + B'_3$. В результате на замыкающем звене формируется значительно бóльшая погрешность, чем при варианте I

$$\omega_{B'} > \omega_{B_{\Delta}} ; \quad \omega_{B'_{\Delta}} = \omega_{B'_1} + \omega_{B'_2} + \omega_{B'_3} ; \quad \omega_{B'_{\Delta}} = 0,6 + 1,4 + 0,5 = 2,5 \text{ мм}.$$

Таким образом, приведенный анализ показывает, что для достижения поставленных технологических задач обработки корпуса предпочтительным является базирование заготовки по варианту I.

Рассмотрим еще один пример выбора технологических баз для обработки корпуса фрезерной головки (рис. 6.8). В результате механической обработки необходимо обеспечить требуемое положение оси отверстия под шпиндель (размеры D , l , γ , β) относительно основных баз корпуса и необходимый размер L по высоте. Для получения точного отверстия под шпиндель с меньшим числом рабочих ходов и на более высоких режимах резания I необходимо иметь в отверстии равномерный припуск. Это обстоятельство имеет особо важное значение при использовании станков с ЧПУ и многоцелевых станков, на которых обработка выполняется консольным инструментом относительно малой жесткости.

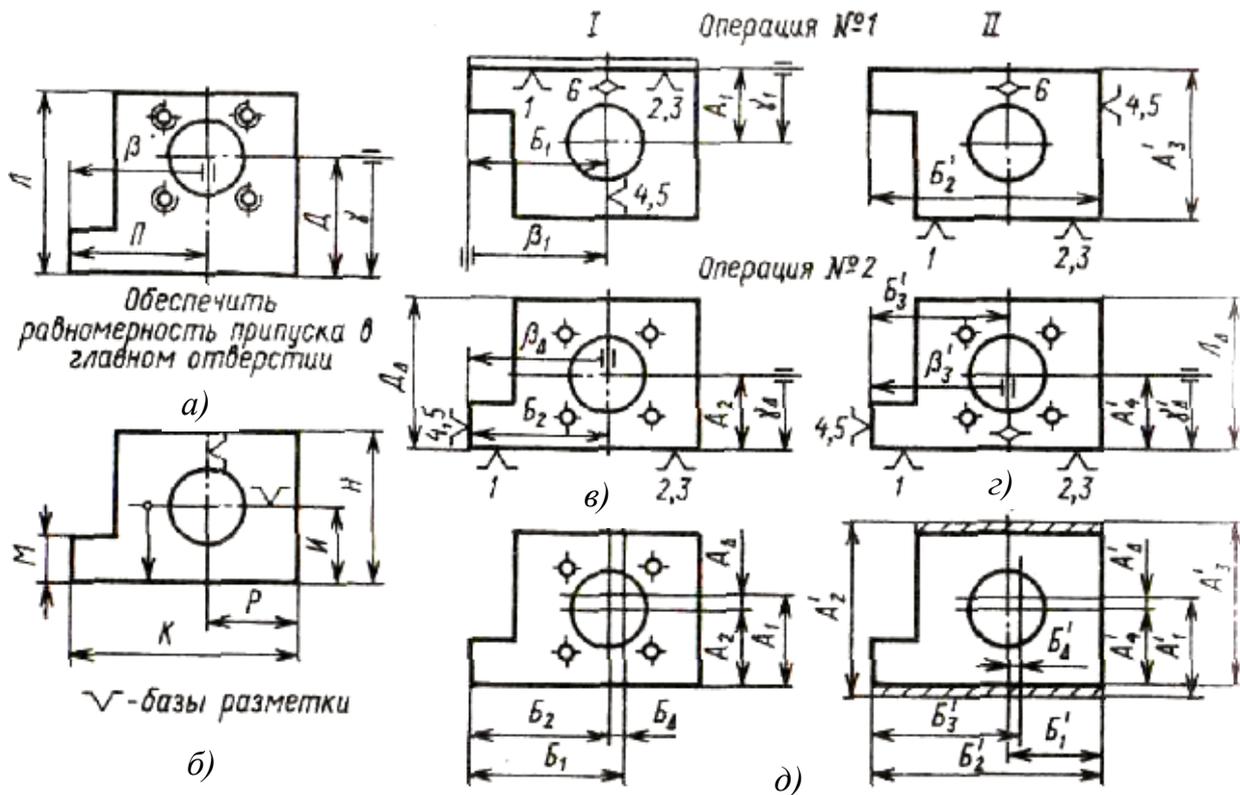


Рис. 6.8. Выбор технологических баз для обработка заготовки корпуса фрезерной головки: а – задачи обработки; б – эскиз заготовки; в – базирование по варианту I; г – базирование по варианту II; д – технологические размерные цепи, определяющие решение задач при базировании по вариантам I и II

В качестве технологических баз для обработки большинства поверхностей выбраны основные базы детали, относительно которых оп-

ределено положение главных отверстий, торцов и верхней плоскости. При этом деталь базируется по трем плоскостям (рис. 6.8, в, з). Требуемую точность размеров D , Π и относительных поворотов γ , β , определяющих положение главного отверстия, получаем наиболее коротким путем:

$$\begin{aligned} D &= D_{\Delta}; & \Pi &= \Pi_{\Delta}; & \gamma &= \gamma_{\Delta}; & \beta &= \beta_{\Delta}; \\ \omega_D &= \omega_{D_{\Delta}}; & \omega_{\Pi} &= \omega_{\Pi_{\Delta}}; & \omega_{\gamma} &= \omega_{\gamma_{\Delta}}; & \omega_{\beta} &= \omega_{\beta_{\Delta}}. \end{aligned}$$

Решение задачи получения равномерного припуска в отверстии зависит от выбора технологических баз на операции № I. По варианту I в качестве технологических баз на этой операции приняты:

- плоскость, размеченная от отверстия, – установочная база;
- поверхность главного отверстия – направляющая база;
- поверхность торца – опорная база.

По варианту II деталь на операции № 1 базируется по трем плоскостям:

- поверхность под крышку – установочная база;
- боковая поверхность корпуса – направляющая;
- поверхность торца – опорная база.

Неравномерность припуска в отверстии обнаруживается при растачивании отверстия на операции № 2. Она определяется как смещение оси полученного отверстия относительно оси отверстия в заготовке. Неравномерность припуска в отверстии можно представить двумя замыкающими звеньями A_{Δ} и B_{Δ} , характеризующими смещение в вертикальной и горизонтальной плоскостях:

$$E = \sqrt{A_{\Delta}^2 + B_{\Delta}^2}.$$

Базирование на операции № 1 по отверстию (вариант I) и получение от него технологических баз для обработки большинства поверхностей обеспечивает получение равномерного припуска при последующей обработке отверстия. В этом случае имеют место наиболее короткие размерные цепи, составляющими звеньями которых являются операционные размеры (см. рис. 6.8, в)

$$\begin{aligned} A_{\Delta} &= A_1 - A_2, & \omega_{A_{\Delta}} &= \omega_{A_1} + \omega_{A_2}, & \omega_{A_{\Delta}} &= 0,3 + 0,1 = 0,4 \text{ мм}; \\ B_{\Delta} &= B_1 - B_2, & \omega_{B_{\Delta}} &= \omega_{B_1} + \omega_{B_2}, & \omega_{B_{\Delta}} &= 0,4 + 0,1 = 0,5 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Неравномерность припуска в отверстии при этом будет наименьшей

$$\omega_E = \sqrt{\omega_{A_\Delta}^2 + \omega_{B_\Delta}^2}, \quad \omega_E = \sqrt{0,4^2 + 0,5^2} = 0,64 \text{ мм.}$$

При базировании на операции № 1 по противоположной поверхности (вариант II) возникают более длинные технологические размерные цепи, в которых составляющими звеньями будут также размеры заготовки

$$A'_1 = I, \quad A'_2 = H, \quad B'_1 = P; \quad A'_\Delta = A'_1 - A'_2 + A'_3 - A'_4; \quad B'_\Delta = B'_1 - B'_2 + B'_3.$$

Погрешности $\omega_{A'_\Delta}$, $\omega_{B'_\Delta}$ на замыкающих звеньях и неравномерность припуска ω_E в отверстиях в этом случае будут наибольшими

$$\omega_{A'_\Delta} = \omega_{A'_1} + \omega_{A'_2} + \omega_{A'_3} + \omega_{A'_4}, \quad \omega_{A'_\Delta} = 1,2 + 1,8 + 0,4 + 0,1 = 3,5 \text{ мм};$$

$$\omega_{B'_\Delta} = \omega_{B'_1} + \omega_{B'_2} + \omega_{B'_3}, \quad \omega_{B'_\Delta} = 1 + 0,4 + 0,1 = 1,5 \text{ мм};$$

$$\omega_{E'} = \sqrt{\omega_{A'_\Delta}^2 + \omega_{B'_\Delta}^2} = \sqrt{3,5^2 + 1,5^2} = 3,8 \text{ мм.}$$

Таким образом, для обеспечения равномерного припуска в главном отверстии предпочтительным считается базирование по варианту I: $\omega_E < \omega_{E'}$.

При изготовлении корпусных деталей наиболее широко применяют две схемы базирования: базирование по трем плоскостям, образующим координатный угол (см. рис. 5.1, а); базирование по плоскости и двум отверстиям (см. рис. 5.1, б). Процесс установки заготовки в приспособление или на стол станка следует рассматривать как совмещение координатной системы $OXYZ$ технологических баз детали с координатной системой $oxyz$ исполнительных поверхностей приспособления или стола. Погрешность установки заготовки определяет вектор

$$\omega_y = (a_y, b_y, c_y, \lambda_y, \beta_y, \gamma_y),$$

где, a_y, b_y, c_y – параметры смещения системы $OXYZ$ соответственно в направлении осей ox, oy, oz ; $\lambda_y, \beta_y, \gamma_y$ – параметры поворота системы $OXYZ$ относительно координатных осей системы $oxyz$.

Методика расчета составляющих вектора ω_y приведена в п. 5.1.

Разметка заготовок. Операцию разметки применяют при изготовлении корпусных деталей в единичном и мелкосерийном производстве, а также при обработке крупногабаритных тяжелых заготовок. Разметку выполняет рабочий высокой квалификации перед операциями ме-

ханической обработки резанием корпуса. Это наиболее ответственная первая операция, от правильности выполнения которой во многом зависит достижение требуемой точности корпусной детали. Выполнение операции разметки обеспечивает решение следующих технологических задач.

1. Правильное расположение контура готовой детали в геометрическом объеме фактической заготовки. При этом преследуют цель обеспечить требуемую точность положения обрабатываемых поверхностей детали относительно необрабатываемых поверхностей и равномерное распределение припуска, в первую очередь на наиболее ответственных поверхностях детали.

2. Обеспечение требуемой точности установки детали на станке на первых операциях механической обработки, когда базирование детали выполняется по рискам разметки.

3. Достижение требуемой точности статической настройки технологической системы при размерной настройке инструмента на первых операциях по разметочным рискам.

4. Проверка геометрической точности заготовок и оценка их годности до начала механической обработки.

Разметку выполняют на разметочной плите с использованием регулируемых винтовых опор, на которые устанавливают размечаемую заготовку и выверяют ее положение с помощью рейсмусов, угольников, линеек, чертилок. Корпусные детали размечают в определенной последовательности, при этом началом отсчета являются базы разметки, которые указывают определенными знаками на чертеже детали (рис. 6.9). В качестве баз разметки могут быть выбраны:

1) необрабатываемые поверхности детали, относительно которых поверхности, подлежащие обработке, должны занять требуемое положение;

2) плоскости симметрии главных отверстий или подлежащие механической обработке наиболее ответственные поверхности детали, например поверхности направляющих.

При повторной разметке, которая необходима в отдельных случаях после выполнения первых операций, базами разметки будут обработанные поверхности детали. У корпусной детали, представленной на рис. 6.9, а, базами разметки являются: база 1 – свободная поверхность

основания (плоскость XOY), базы 2 и 3 – две плоскости симметрии главного отверстия (плоскости XOZ и YOZ). Такой выбор обеспечивает правильное положение обрабатываемых поверхностей относительно необрабатываемых. В общем случае в качестве баз разметки используют три перпендикулярные плоскости, которые в совокупности образуют координатную систему баз разметки $OXYZ$.

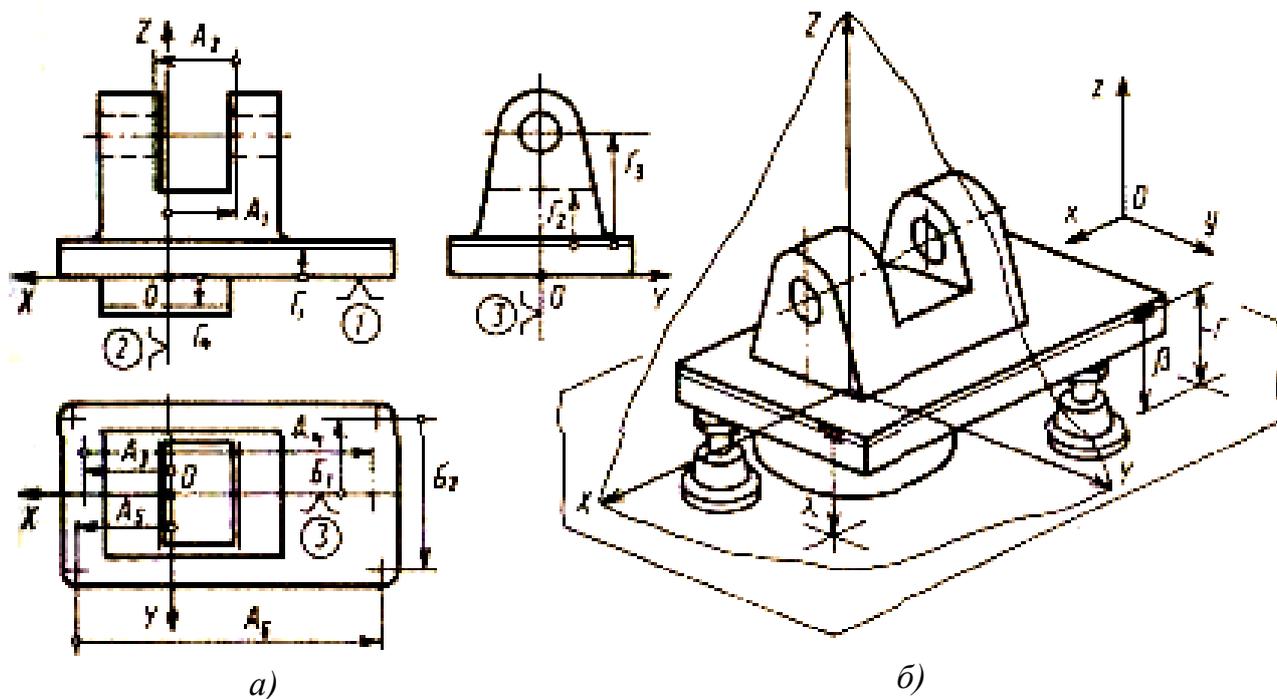


Рис. 6.9. Разметка корпусной детали: а – схема нанесения рисок разметки от баз разметки; б – схема выставки заготовки на разметочной плите; 1, 2, 3 – базы разметки

Выверка детали на разметочной плите означает правильную ориентацию координатной системы $OXYZ$ баз разметки относительно координатной системы разметочной плиты. Особенно важным при этом является достижение требуемой угловой ориентации, когда базы разметки расположены параллельно координатным плоскостям разметочной плиты. Математическим условием этого считается нулевое значение углов $\lambda_y \Rightarrow 0$, $\beta_y \Rightarrow 0$, $\gamma_y \Rightarrow 0$, определяющих поворот системы $OXYZ$ относительно системы $oxuz$. Это позволяет обеспечить требуемую точность нанесения разметочных рисок во всех координатных направлениях. При выставке детали в первую очередь стремятся обеспечить параллельность горизонтальной плоскости координатной системы баз разметки относительно плоскости разметочной плиты, что означает полу-

чение нулевого значения двух углов λ_y и β_y . Это достигают путем регулировки высоты трех винтовых опор, на которых базируют размечаемую заготовку. Таким образом, горизонтальная плоскость XOY координатной системы баз разметки выполняет функцию установочной базы, относительно которой происходит угловая ориентация размечаемых поверхностей. Эту важную базу разметки обычно относят к поверхностям, расположенным параллельно основным базам детали.

Нулевое значение угла γ_y обеспечивают путем разворота детали в горизонтальной плоскости. Вертикальные координатные плоскости XOZ и YOZ материализуют угольниками и угловыми плитами, устанавливаемыми на разметочной плите. Принимая базы разметки за начало отсчета, на поверхности детали рейсмусом последовательно наносят разметочные риски. Риски разметки вначале наносят в горизонтальном, а затем в вертикальном направлениях. При этом в первую очередь размечают положение главных отверстий и наиболее ответственных поверхностей детали, а затем оставшиеся поверхности и мелкие отверстия. Характерные узловые точки, определяющие положение центров или пересечение размечаемых плоскостей, накернивают. Точки можно наносить также через определенный интервал по периметру размечаемого отверстия и по линии разметки. Точность разметки составляет 0,5...1 мм, что соответствует ширине разметочной риски. Иногда после выполнения черновой обработки производят повторную разметку отдельных поверхностей детали. В качестве баз разметки при этом используют обработанные поверхности детали.

6.4. Методы обработки наружных поверхностей корпусных деталей

Наружные поверхности корпусных деталей обрабатывают фрезерованием, строганием, точением, шлифованием и протягиванием. Фрезерование – наиболее распространенный метод обработки наружных поверхностей корпусных деталей. Высокая производительность, получаемая вследствие непрерывности процесса резания, позволяет эффективно использовать этот метод для обработки корпусов в условиях единичного, серийного и массового производства. В зависимости от характера производства и габаритных размеров деталей обработку выполняют на универсально-фрезерных станках с вертикальным и горизонтальным рас-

положением шпинделей, на многошпиндельных продольно-фрезерных станках, на карусельно- и барабанно-фрезерных станках агрегатного типа, а также на станках с ЧПУ и многоцелевых станках.

На универсально-фрезерных станках обрабатывают корпусные детали малых габаритных размеров в единичном и мелкосерийном производстве. С целью повышения производительности путем совмещения времени выполнения основных и вспомогательных переходов обработку выполняют по схеме «маятникового» (челночного) фрезерования (рис. 6.10, а). На столе станка размещают две рабочие позиции. В процессе фрезерования детали, установленной в позиции I, в позиции II производится съем и установка очередной заготовки.

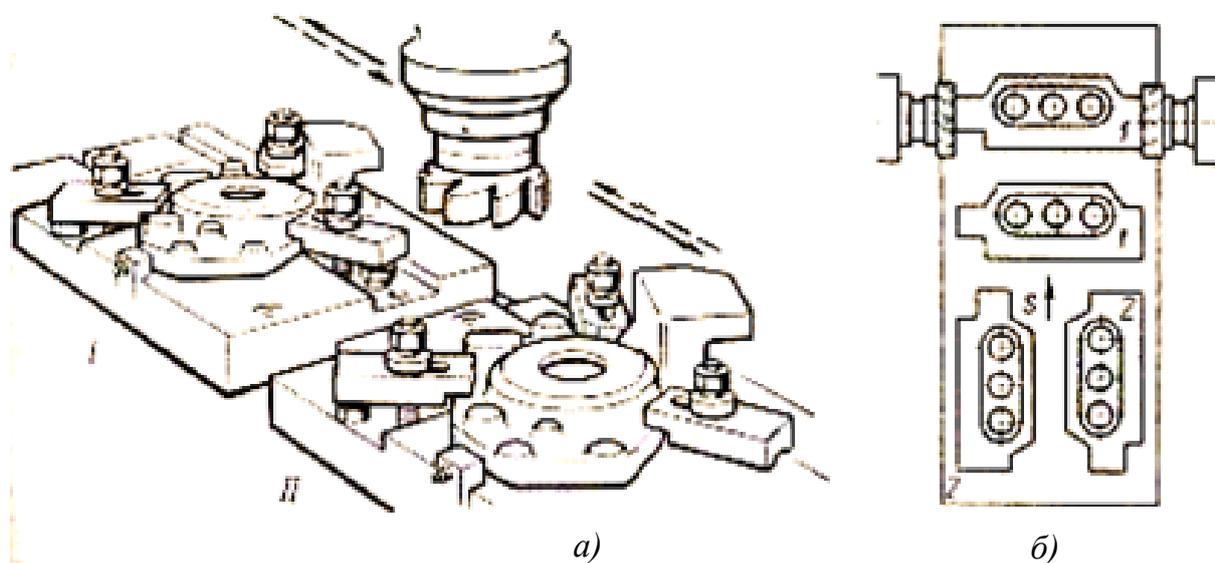


Рис. 6.10. Схемы фрезерования: а – обработка двух заготовок корпусных деталей по схеме маятникового фрезерования; (\leftarrow ; \rightarrow) – рабочая подача; ($\leftarrow - -$; $- - \rightarrow$) – быстрый ход, б – обработка заготовок корпусных деталей по схеме «впередкладку»

Многошпиндельные продольно-фрезерные станки используют для обработки крупногабаритных корпусных деталей или для групповой обработки деталей средних размеров в серийном производстве. Возможность совмещения переходов при одновременной обработке нескольких поверхностей крупногабаритных деталей или параллельной обработке поверхностей у нескольких небольших деталей позволяет получить достаточно высокую производительность операции. При групповой обработке последовательно установленных деталей уменьшение машинного времени достигается также за счет перекрытия расстояний на врезание и выход фрезы. При использовании сменных столов, на которых

группу заготовок устанавливают вне станка, одновременно фрезеруют несколько деталей, в результате производительность возрастает. Эффективным методом повышения производительности при обработке корпусных деталей на продольно-фрезерных станках считается фрезерование по схеме «вперекладку» (рис. 6.10, б). На столе устанавливают специальное многоместное приспособление, на позициях которого заготовки оказываются определенным образом сориентированы относительно стола станка и инструмента. За один рабочий ход в каждой из позиций соответствующими фрезами обрабатывают одну или несколько поверхностей заготовки. После каждого рабочего хода стола детали перекадывают с предыдущей позиции в последующую. По окончании рабочего хода с последней позиции снимают готовую деталь, а на первую позицию устанавливают новую заготовку. Фрезерование вперекладку возможно выполнять по схеме однопоточной или двухпоточной обработки. При этом одновременно можно обрабатывать одинаковые или разные детали. В последнем случае обычно обрабатывают сопряженные детали одного комплекта типа крышка – корпус или верхняя и нижняя половины разъемных корпусов. Таким образом, одновременно получают комплект сопряженных деталей, которые затем поступают на дальнейшую механическую обработку и сборку.

Уменьшение штучного времени при использовании изложенного метода происходит в результате сокращения числа переустановок, совмещения технологических переходов, уменьшения вспомогательных ходов и расстояний на врезание и выход инструмента.

При обработке на четырехшпиндельных продольно-фрезерных станках корпусных деталей с направляющими (кареток, столов, ползунов) можно применять набор фрез, профиль которых соответствует контуру направляющих. Набор фрез, включающий обычно как универсальные, так и специальные фрезы, базируют на общей оправке, которую устанавливают в шпиндели двух горизонтальных головок. Преимуществом этого способа является возможность получения за один рабочий ход практически полного профиля направляющих. Однако имеются сложности, связанные с заточкой комплекта фрез и требуемой точной установкой их в наборе. Поэтому этот метод применяют главным образом в серийном производстве для обработки направляющих простой формы.

Карусельно-фрезерные и барабанно-фрезерные станки применяют для обработки корпусных деталей небольших размеров в крупносерийном и массовом производстве. Карусельно-фрезерные станки с круглым вращающимся столом имеют одну или несколько фрезерных головок с вертикальным расположением шпинделей. При наличии трех фрезерных головок на первых двух устанавливают фрезы диаметром 250...300 мм для предварительной обработки, а на последней – фрезу диаметром 500...600 мм для чистовой обработки горизонтальных поверхностей деталей. Заготовки устанавливают в приспособления, расположенные по кругу стола. Установку заготовки и съем детали производят вне зоны обработки и по времени совмещают с процессом резания, который осуществляется при непрерывном вращении стола. Выполнение непрерывной параллельно-последовательной черновой и чистовой обработки группы деталей позволяет добиться высокой производительности.

Короткие кинематические и размерные цепи карусельно-фрезерного станка, повышенная жесткость стола и неподвижное закрепление фрезерных головок позволяют получить высокую точность размеров и относительных поворотов обрабатываемых поверхностей заготовки.

На барабанно-фрезерном станке одновременно обрабатывают в размер две параллельные поверхности. Барабан, непрерывно вращающийся относительно горизонтальной оси, имеет от четырех до восьми граней, на которых установлены приспособления для укрепления заготовок. Общее число фрезерных головок с горизонтальным расположением шпинделей может составить 2, 4, 6 или 8. При этом с помощью первых фрез выполняют предварительную обработку, а последние две фрезы большого диаметра служат для чистовой обработки поверхности детали. Диаметры чистовых фрез определяют возможные размеры обрабатываемых поверхностей детали.

Установку заготовок и съем деталей выполняют при непрерывном вращении барабана со скоростью подачи, равной 350...700 мм/мин. Близкое расположение заготовок обеспечивает возможность перекрытия участков на входе и выходе фрезы. Непрерывная параллельно-последовательная, черновая и чистовая обработка деталей при совмещении во времени основных и вспомогательных переходов позволяет получить высокую производительность обработки.

При малых участках обрабатываемых поверхностей и относительно больших расстояниях между ними эффективность использования карусельно- и барабанно-фрезерных станков резко уменьшается. Торцовые фрезы, используемые для черновой и чистовой обработки плоских поверхностей, имеют различное конструктивное исполнение. Они бывают цельные, сборные со вставными ножами из быстрорежущей стали или с ножами, имеющими твердосплавные напайные пластины, а также фрезы с механическим креплением неперетачиваемых твердосплавных пластин. В качестве материалов для изготовления режущей части фрез применяют инструментальные углеродистые и быстрорежущие стали, твердые сплавы и сверхтвердые материалы типа эльбор, обладающие высокой износостойкостью.

Торцовые фрезы с твердосплавными пластинами имеют стойкость в три раза выше, чем стойкость фрез из быстрорежущей стали, и обеспечивают повышение производительности обработки до пяти раз. Торцовые фрезы с режущей частью из эльбора используют для чистовой обработки, когда требуется обеспечение повышенных требований по точности геометрической формы и шероховатости обрабатываемой поверхности детали. Параметры точности детали, достигаемые при торцовом фрезеровании, приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2. Параметры точности обработки при фрезеровании

Фрезерование	Квалитет точности размера	Параметр шероховатости Ra , мкм	Погрешность формы и положения, (в мм) на длине 100 мм		
			Отклонение от плоскостности	Отклонение от параллельности	Отклонение от перпендикулярности
<i>Плоскости</i>					
Предварительное	11...13	12...25	0,03...0,06	0,02...0,05	0,02...0,06
Чистовое	9...11	1,2...6	0,01...0,02	0,006...0,02	0,01...0,025
Тонкое	6...9	0,6...1	0,003...0,01	0,002...0,005	0,003...0,01
<i>Пазы или выступы</i>					
Предварительное	11, 12	12...25	0,02...0,06	0,015...0,05	0,015...0,06
Чистовое	9, 10	2...6,3	0,01...0,02	0,005...0,02	0,005...0,02

Строгание наружных плоскостей корпусных деталей применяют в условиях единичного и мелкосерийного производства, а также при обработке крупногабаритных, тяжелых деталей. Операцию выполняют на продольно-строгальных станках с использованием вертикальных и горизонтальных суппортов. Производительность строгания ниже чем фрезерования из-за наличия обратных холостых ходов и относительно малых скоростей возвратно-поступательного движения стола станка. Производительность строгальной операции можно повысить путем одновременной обработки группы заготовок, последовательно установленных в один или два ряда на столе станка. При этом целесообразно параллельно обрабатывать горизонтальные и вертикальные поверхности заготовки, используя одновременно вертикальные и боковые суппорты станка. Требованием к технологичности деталей в этом случае является расположение обрабатываемых поверхностей в одной плоскости, что позволяет выполнять обработку напроход.

Резцы, используемые при строгании, представляют собой наиболее дешевый простой инструмент, который обладает малой чувствительностью к дефектам поверхностного слоя и позволяет снимать за один рабочий ход до 15...20 мм. При строгании можно получить высокую точность по прямолинейности обрабатываемых поверхностей (табл. 6.3). Это объясняется более высокой жесткостью строгальных суппортов по сравнению с жесткостью фрезерных головок и относительно малым температурным деформированием в процессе резания.

Таблица 6.3. Параметры точности обработки при строгании и долблении

Строгание и долбление	Квалитет точности размера	Параметр шероховатости Ra , мкм	Погрешность формы и расположения (в мм) на длине 100 мм		
			Отклонения от плоскостности	Отклонения от параллельности	Отклонения от перпендикулярности
Предварительное	11...13	12,5...25	0,02...0,06	0,015...0,05	0,02...0,06
Чистовое	9...10	2,5...6,3	0,006...0,02	0,005...0,014	0,006...0,02
Отделочное	6... 8	0,6...1,3	0,002...0,005	0,003...0,005	0,003...0,006

Строгание достаточно широко применяют при обработке корпусных деталей с направляющими (столов, кареток, ползунов).

На карусельно-токарных станках точением обычно обрабатывают такие корпусные детали, как корпуса паровых турбин, компрессоров, центробежных насосов, корпуса крупных электродвигателей, генераторов, планшайбы станков и крупногабаритные вентили. Эти детали имеют сложную пространственную форму или форму тел вращения с наружными или внутренними цилиндрическими, коническими поверхностями и перпендикулярными торцами. В условиях серийного производства на карусельно-токарных станках одновременно обрабатывают по открытой плоскости разъема группу небольших корпусов или крышек, устанавливаемых в приспособлениях, расположенных по периметру круглого стола. При этом обеспечиваются достаточно высокие требования к отклонениям от плоскостности и параллельности обрабатываемых поверхностей (табл. 6.4).

Таблица 6.4. Параметры точности обработки при торцевом точении плоских поверхностей

Торцевое точение	Квалитет точности размера	Параметр шероховатости Ra , мкм	Погрешность формы	
			Степень точности формы	Отклонения от параллельности, мм/300 мм
Предварительное	13...15	6,3...12,5	9...12	0,1
Чистовое	8...12	3,2...5	7...8	0,05
Тонкое	7...8	0,8...1,6	5...6	0,03

Использование простого и недорогого инструмента, позволяющего снимать за один рабочий ход до 15 мм, относительно высокие режимы резания и непрерывность обработки – все это способствует высокой производительности на данной операции.

Шлифование наружных плоскостей корпусных деталей применяется в основном как окончательная финишная обработка, обеспечивающая получение повышенных требований по шероховатости и точности геометрической формы обрабатываемых поверхностей (табл. 6.5).

Шлифование выполняют на плоскошлифовальных станках с прямоугольным или круглым столом. Последние обеспечивают более высокую производительность ввиду непрерывности процесса шлифования. При этом возможно шлифование периферией плоского круга, тор-

цом чашечного круга или торцовой поверхностью составного сегментного круга. Сборные сегментные круги применяют для обдирочного шлифования наружных плоскостей. Припуск, снимаемый за один рабочий ход, может составлять при этом до 4 мм.

Таблица 6.5. Параметры точности обработки при плоском шлифовании

Шлифование плоских поверхностей	Квалитет точности размера	Параметр шероховатости Ra , мкм	Погрешность формы	
			Степень точности формы	Отклонения от параллельности, мм/300 мм
Получистовое	9...10	3,2	7...8	0,06
Чистовое	6...8	0,8...1,6	5...6	0,02
Тонкое	6...7	0,05...0,4	3...4	0,003

Преимуществом этого метода обработки является малая чувствительность шлифовального круга к дефектам поверхностного слоя отливки, а также возможность производительной обработки сложных по контуру прерывистых поверхностей чугуновых деталей. При обработке поверхностей чугуновых деталей строганием или фрезерованием возможны сколы (выкрашивание металла на кромках), что приводит к резкому снижению стойкости режущего инструмента, в особенности торцовых фрез. Устранение этого явления путем занижения режимов резания приводит к снижению производительности обработки. В процессе шлифования такие явления, как сколы и вибрации, возникающие при обработке прерывистых поверхностей, исключаются.

Обильное охлаждение с помощью СОЖ, применяемое при шлифовании, позволяет уменьшить температурные деформации заготовки и улучшить условия процесса резания, что способствует повышению точности обработки.

Протягивание наружных плоскостей корпусных деталей выполняют в массовом производстве на специализированных протяжных станках горизонтального и вертикального типа. Протягивание считается наиболее производительным методом обработки, при котором обеспечивается получение высокой точности размеров и относительного положения обрабатываемых поверхностей. Мощные протяжные станки

с силой протягивания до 0,5 МН позволяют по всей обрабатываемой поверхности снимать за один рабочий ход припуск в 3...5 мм. Рациональное распределение снимаемого припуска по длине протяжки, при котором на калибрующий участок приходится минимальная нагрузка, позволяет получить высокую стойкость и сохранить геометрическую точность режущего инструмента, что обеспечивает гарантированное достижение повышенной точности обработки детали (табл. 6.6).

Таблица 6.6. Параметры точности обработки при протягивании плоских и фасонных поверхностей

Протягивание плоских поверхностей	Квалитет точности размера	Параметр шероховатости Ra , мкм	Погрешность формы	
			Степень точности формы	Отклонения от параллельности, мм/300 мм
Получистовое	8...9	6,3	9...10	0,07
Чистовое	7...8	0,8...3,2	7...8	0,04
Отделочное	6...7	0,2...0,4	5...6	0,02

Сборные протяжки, длина которых составляет 2...3,5 мм, позволяют обрабатывать как плоские, так и фасонные наружные поверхности корпусных деталей. При этом скорость протягивания достигает 60 м/мин. Быстроходные протяжные станки с одной или несколькими позициями встраивают в автоматические линии по обработке блоков цилиндров двигателей, у которых предварительно и окончательно протягивают плоскость разъема под головку блока, привалочную плоскость и поверхности замка под крышки коренных подшипников, а также боковые поверхности блока.

Факторами, ограничивающими применение протягивания, можно назвать относительно высокую стоимость режущего инструмента и возникающие при обработке большие силы резания, что исключает возможность обработки нежестких деталей. Протягивание применяют для предварительной чистовой и отделочной обработки наружных поверхностей корпусных деталей. Однако его применение особенно эффективно для получения высокой точности размеров и относительно положения комплекса одновременно обрабатываемых поверхностей детали.

6.5. Методы обработки главных, мелких и резьбовых отверстий

Обработка главных отверстий. Такая обработка – трудоемкий и ответственный этап технологического процесса изготовления корпусных деталей, который обеспечивает достижение комплекса наиболее жестких технических требований, определяющих в целом параметры геометрической точности отверстий и точность их положения относительно плоских поверхностей или других отверстий детали. Главные отверстия обрабатывают на расточных, координатно-расточных, сверлильных, агрегатных и других станках, включая станки с ЧПУ и многоцелевые станки.

При выполнении технологического процесса требуемые параметры точности главных отверстий достигаются путем последовательного уточнения каждого из показателей. Это означает выработанное практикой разделение процесса обработки главных отверстий на этапы черновой, чистовой и финишной обработки [14, 23]. В процессе черновой обработки снимают основной припуск металла, обеспечивая при этом точность положения отверстий относительно базы и равномерность припуска под чистовую обработку. В результате чистовой обработки достигаются точность размеров, точность геометрической формы и относительного положения отверстия. Особенно важно при этом – обеспечить требуемую прямолинейность оси отверстия и точность его относительного положения.

Финишную обработку применяют при необходимости достижения повышенных требований к точности размера, геометрической формы и шероховатости поверхности обрабатываемого отверстия.

Отверстия в корпусных деталях обрабатывают с использованием различного режущего инструмента: сверл, зенкеров, резцов, расточных головок, разверток, расточных пластин. Для отделочной обработки применяют тонкое растачивание, шлифование, хонингование, а также пластическое деформирование с помощью различных раскаток.

Сверла разного диаметра применяют на этапе предварительной обработки для первоначального получения отверстий в сплошном металле. Отверстия диаметром более 25 мм получают за два-три перехода, последовательно применяя спиральные сверла большего размера. Для получения глубоких отверстий используют ружейные сверла с

внутренней подачей СОЖ или специальные кольцевые головки, обеспечивающие получение глухих отверстий диаметром более 40 мм. Сверление и рассверливание отверстий спиральными сверлами позволяют обеспечить точность диаметральных размеров по 11...12-му качествам. Отклонения геометрической формы отверстий диаметром до 50 мм находятся при этом в пределах 12...40 мкм, а параметр шероховатости поверхности $Ra = 6,3 \dots 12,5$ мкм.

Зенкеры по конструкции бывают цельными и насадными (рис. 6.11, а, б). Зенкеры применяют для чернового растачивания (зенкерования) отверстий в отливках, для получистового растачивания отверстий, полученных после сверления, предварительного зенкерования или растачивания резцами, а также для окончательной обработки отверстий сравнительно невысокой точности. Припуск, снимаемый за один рабочий ход насадными зенкерами диаметром 55...170 мм со вставными ножами с напайными твердосплавными пластинами, составляет 2...4 мм на сторону. Зенкерование – наиболее производительный метод обработки отверстий, который широко применяют на различных станках и автоматических линиях. По сравнению со сверлом многозубый зенкер имеет меньшую склонность к уводу, что позволяет в значительной степени исправить положение оси отверстия и обеспечить его прямолинейность. Однопроходное зенкерование отверстия в отливке позволяет получить точность диаметральных размеров по 11...12-му качествам. Погрешность геометрической формы отверстия диаметром 40...150 мм составляет при этом 30...50 мкм. При получистовой обработке зенкерование обеспечивает точность отверстия по 10-му качеству, отклонения геометрической формы для отверстий диаметром 40...150 мм находятся в пределах 15...20 мкм и параметр шероховатости $Ra = 2,5 \dots 5$ мкм. Расточные резцы с твердосплавными пластинами применяют как для черновой обработки отверстий в отливках, так и для чистовой обработки отверстий в корпусных деталях. Преимущество расточных резцов заключается в их простоте и универсальности, благодаря которой возможно путем регулирования положения инструмента на оправке получать отверстия различного диаметра. Это особенно важно при обработке отверстий среднего и большого диаметра в условиях единичного и мелкосерийного производства, когда не всегда имеется в наличии размерный инструмент. Расточные резцы вин-

тами или клиньями закрепляют на оправках или борштангах, используя при этом микрометрические винты для точной установки резца на требуемый диаметр (рис. 6.11, в).

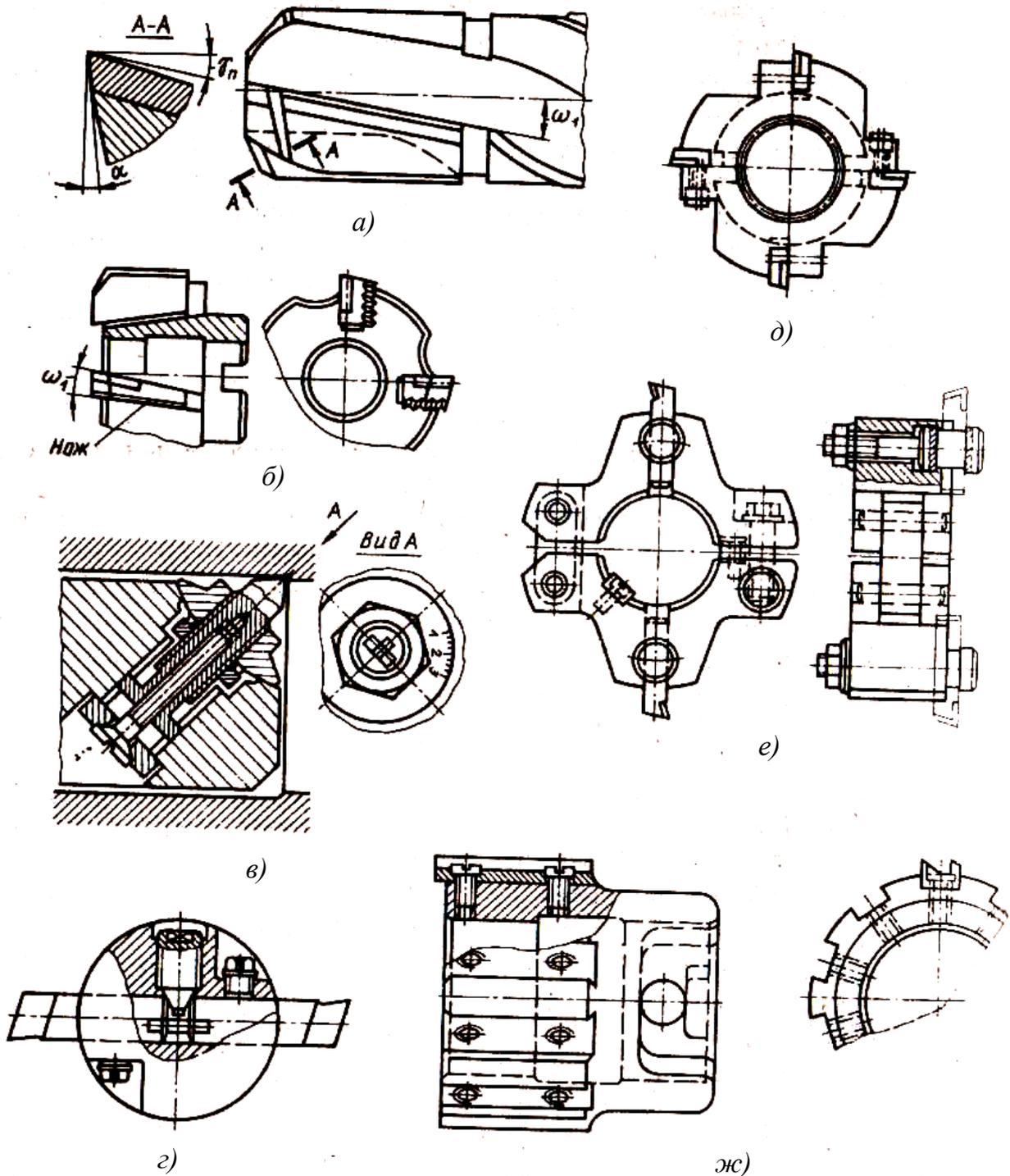


Рис. 6.11. Режущий инструмент для обработки отверстия: а – зенкер цельный; б – зенкер насадной; в – расточный резец с микрогеометрической регулировкой; г – расточная оправка с двумя резцами; д – расточная головка; е – разъемно-расточная головка; ж – насадная сборная развертка

Особенностями геометрии расточных резцов считаются большие задние углы α , при которых уменьшается трение о стенки отверстия, и относительно малые углы в плане $\varphi \leq 90^\circ$, что способствует уменьшению радиальной составляющей силы резания, существенно влияющей на упругие перемещения оправки, а следовательно, и на точность обрабатываемого отверстия.

В случае использования резцов из быстрорежущей стали (Р6М5, Р6М3 Р9К5 и др.) скорость резания v при точении составляет 30...90 м/мин, при использовании твердосплавных резцов (Т15К6, Т5К10, ВК6, ВК8 и др.) $v = 60...800$ м/мин, а резцы с режущими элементами из сверхтвердых инструментальных материалов позволяют выполнять точение со скоростью более 1000 м/мин. Скорость резания выбирают с учетом стойкости инструмента, а величину продольной подачи – с учетом требований шероховатости получаемой поверхности и других параметров точности.

Применяемые на практике режимы обработки стальных и чугунных заготовок (скорость v , подача s , глубина резания t) приведены в табл. 6.7.

Таблица 6.7. Режимы резания, применяемые при точении стальных и чугунных заготовок

Точение, расточивание	Обработка чугуна			Обработка стали		
	t , мм	s , мм/об	v , м/мин	t , мм	s , мм/об	v , м/мин
Черновое	4...12	1...3,5	30...130	2...10	1...3,0	40...100
Получистовое	2...4	0,35...15	100...185	1...3	0,35...1,5	80...150
Чистовое	0,15...2	0,05...0,5	170...320	0,15...1,5	0,05...0,5	120...320

Растачивание резцами лучше, чем какой-либо другой метод, обеспечивает прямолинейность оси получаемого отверстия и высокую точность его положения относительно базы. Точность диаметральных размеров соответствует при черновом растачивании 11...12-му качеству, при чистовом 9...10-му качеству. Отклонения геометрической формы при чистовом точении для отверстий диаметром 50...120 мм не превышают 12 мкм, параметр шероховатости поверхности $Ra = 2,5...5$ мкм. Отверстие можно растачивать одним или одновременно двумя резцами, установленными на оправке в противоположном направлении

(рис. 6.11, з). При двустороннем растачивании компенсируются упругие перемещения оправки, обусловленные радиальной составляющей силы резания, уменьшается уровень вибрации режущего инструмента и обеспечивается более высокая производительность обработки. Для черновой обработки в отливках отверстий диаметром более 100 мм применяют многорезцовые расточные головки, оснащенные твердосплавными пластинами. Расточные головки универсальны, они допускают регулировку вылета резцов на 10...20 мм. Их делают цельными и разъемными (рис. 6.11, д, е), последние можно устанавливать в любом месте борштанги. Число резцов-ножей в головке диаметром 110 мм равно 4, а в головке диаметром 240 мм число резцов равно 8, причем половину из них устанавливают по торцу, а остальные по наружной цилиндрической поверхности. Резцы в головке располагают несколько выше оси отверстия, что позволяет увеличить задний угол, уменьшив тем самым трение о стенки отверстия [26].

С помощью расточных головок можно снимать относительно большой неравномерный припуск в отверстиях отливок при устойчивом безвибрационном резании, которое получается в результате одновременной работы нескольких резцов.

Одновременное растачивание несколькими резцами при повышенных режимах резания ($v = 20...35$ м/мин, $S = 0,45...1,5$ мм/об) позволяет получить более высокую производительность обработки, чем при обработке другими инструментами, используемыми для растачивания.

Развертывание является одним из основных методов чистовой обработки и отделки отверстий по 6...9-му качествам точности. Режимы резания при использовании разверток с пластинами из твердого сплава следующие: скорость резания при обработке заготовок из чугуна равна 7...20 м/мин, при обработке заготовок из стали 4...10 м/мин, подача 2...7 мм/об. Развертывание обеспечивает получение правильной геометрической формы отверстия, точных диаметральных размеров и параметров шероховатости поверхности $Ra = 1,25...0,63$ мкм. Развертывание как метод чистовой обработки применяют после сверления (для отверстий малого диаметра), а также после зенкерования или растачивания. Припуски, оставляемые под развертывание, составляют для предварительной обработки 0,4...0,9 мм на диаметр, для чистовой 0,05...0,30 мм.

По конструкции развертки могут быть цельными и насадными с ножами из быстрорежущей стали или из твердого сплава (рис. 6.11, *ж*). Стойкость разверток с пластинами из твердого сплава в 8...10 раз выше, чем стойкость разверток из быстрорежущей стали. Это обеспечивает стабильное достижение точности при повышенных режимах резания. Зубья разверток располагают с переменным окружным шагом, что способствует уменьшению вибрации и обеспечивает получение высокой точности геометрической формы. Отверстия 9-го качества точности получают однократным развертыванием, для получения отверстий 8...7-го качества точности применяют предварительное и окончательное развертывание. Применяя развертки с тщательно доведенными режущими кромками и используя обильную смазку, можно получить отверстия 6-го качества точности. Для этого необходимо обеспечение плавного вращения и равномерной подачи, что возможно при ручном развертывании.

Развертка как калибрующий инструмент обеспечивает получение высокой точности размеров и геометрической формы отверстия при совмещении ее оси с осью обрабатываемого отверстия и создании нужного направления. В процессе работы на нее действуют большие радиальные и небольшие осевые силы. Все это означает необходимость самоцентрирования инструмента по оси предварительно обработанного отверстия и придания ему требуемого направления. С этой целью развертку устанавливают в специальные плавающие патроны или шарнирные оправки, позволяющие инструменту занять требуемое положение. Для решения этих задач предназначены также направляющие втулки в применяемых приспособлениях. Направляющий конус, расположенный в начале режущей части развертки, способствует правильности ее входа в отверстие. В развертках, предназначенных для обработки отверстий глубиной более $2D$, предусматривают дополнительное заднее направление. В отдельных случаях в конструкциях разверток предусматривают как переднее, так и заднее направление.

Развертывание необходимо выполнять с обильным охлаждением, так как в процессе резания происходит значительное выделение тепла, вызывающего температурное деформирование детали и как следствие образование погрешности геометрической формы (конусности). Развертывание выполняют с обильным использованием смазывающих охлаждающих жидкостей (СОЖ). Для разверток предпочтительно верти-

кальное расположение шпинделя, так как в этом случае масса развертки и оправки не влияет на разбивку обрабатываемого отверстия, что способствует достижению высокой точности геометрической формы. Для развертывания отверстий применяют также плавающие резцовые блоки и пластины из быстрорежущей стали или твердого сплава. С помощью пластинчатых резцов можно обрабатывать сквозные, ступенчатые и глухие отверстия, обеспечивая одновременно чистовую обработку торца. Режим резания при обработке пластинами, оснащенными твердым сплавом, следующий: при обработке заготовок из чугуна $v = 7...16$ м/мин, $S = 1,2...3$ мм/об, $t = 0,05...0,15$ мм; при обработке заготовок из стали $v = 5...12$ м/мин, $S = 0,8...2$ мм/об, $t = 0,05...1$ мм. Применение плавающих блоков или пластин позволяет получить точность отверстия по 7-му качеству, параметр шероховатости поверхности $Ra = 1,25$ мкм.

Одновременно с обработкой главных отверстий обрабатывают перпендикулярные торцовые поверхности. С этой целью используют торцовые резцовые головки, торцовые зенкеры или специальные летучие суппорты, обеспечивающие перемещение резца в радиальном направлении. На расточных и многоцелевых станках открытые торцовые поверхности обрабатывают торцовыми фрезами, для чего необходимо выполнять рабочую подачу стола по управляемым координатам. Отклонение от перпендикулярности торца относительно оси отверстия составляет при подрезке зенкером $0,01/100 \dots 0,03/100$, при подрезке резцом $0,004/100 \dots 0,01/100$.

В условиях серийного производства с целью повышения производительности путем концентрации переходов и сокращения машинного и вспомогательного времени широко применяют комбинированный инструмент. При одном продольном перемещении комбинированный инструмент позволяет выполнять черновую и чистовую обработку поверхностей детали и одновременно обрабатывать несколько поверхностей, совмещая при этом различные виды обработки: сверление, зенкерование, растачивание, подрезку торца, развертывание (рис. 6.12). Это позволяет значительно уменьшить номенклатуру применяемого инструмента и обеспечить точное относительное положение комплекта обрабатываемых поверхностей на более простом оборудовании. Комбинированный инструмент широко применяют в автоматических линиях из агрегатных

станков. Режущий инструмент автоматических линий должен обладать высокой размерной стойкостью и иметь возможность быстрой замены или поднастройки.

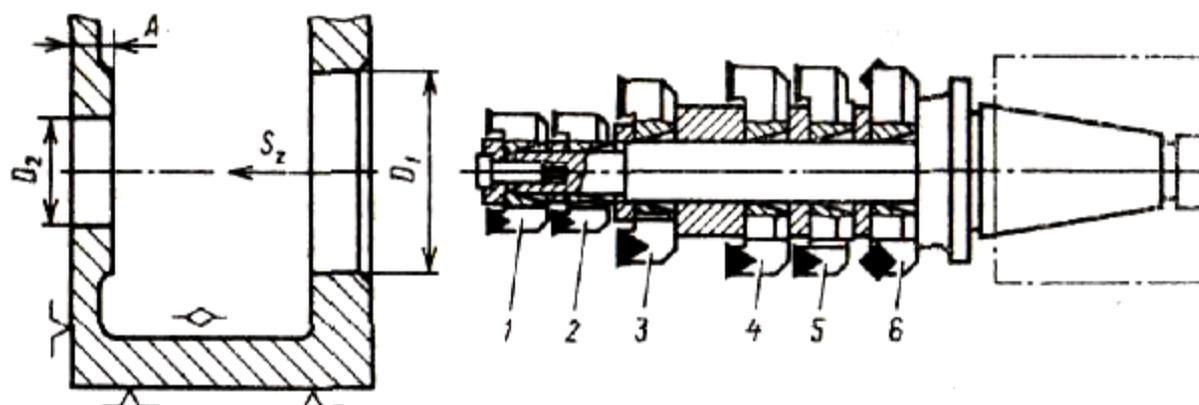


Рис. 6.12. Схема обработки двух соосных отверстий комбинированным инструментом: 1,2 – резцовые блоки для черновой и чистовой обработки отверстия; 3 – резцовый блок для подрезки торца; 4,5 – резцовые блоки для черновой и чистовой обработки второго отверстия; 6 – резцовый блок для снятия фаски

Для обработки главных отверстий в корпусных деталях широко применяют горизонтально-расточные и координатно-расточные станки. Точность положения главных отверстий относительно технологических баз и точность межосевых расстояний достигается одним из следующих способов: по разметке, методом пробных проходов, способом координатного растачивания, с применением кольцевых калибров (кнопок) или путем использования кондукторов.

При использовании первого способа отверстия размечают по центру и периметру, а затем накернивают. Совместив ось шпинделя с осью размеченного отверстия, производят обработку. О правильности положения расточенного отверстия свидетельствует получение на срезе половинок лунок, оставленных после керна. Точность межцентровых расстояний, достигаемая при этом способе, составляет 0,5 мм, его применяют при черновом растачивании в единичном и мелкосерийном производстве.

При способе пробных проходов отверстие предварительно размечают, затем сверлят и растачивают по 7-му качеству, оставляя припуск на диаметр около 5 мм. В полученное отверстие вставляют оправку-калибр и измеряют фактическое положение отверстия относительно базы. Затем, внося коррекцию в положение шпинделя, повторно раста-

чивают отверстие по 7-му качеству, оставляя на диаметр припуск 2 мм. Используя оправку, повторно измеряют положение оси отверстия, вносят необходимую коррекцию и окончательно обрабатывают отверстие. Аналогично обрабатывают и другие отверстия. Точность межцентровых расстояний должна быть около 0,02 мм. Этот способ трудоемкий, его применяют в единичном производстве при отсутствии точных координатно-расточных станков.

Способ координатного растачивания предусматривает простановку координат центров обрабатываемых отверстий от общих технологических баз. При настройке технологической системы в первую очередь добиваются совмещения оси шпинделя с началом отсчета. Затем с помощью лимбов или других отсчетных устройств станка перемещают расточную бабку и стол станка на координаты X_1, Y_1 , добиваясь требуемого положения для растачивания первого отверстия. Для обработки следующего отверстия стол станка и шпиндельную бабку по лимбу перемещают на соответствующие координаты X_i, Y_i . Достижимая точность межосевых расстояний на координатно-расточных станках составляет 0,01...0,05 мм, а на горизонтально-расточных 0,2...0,4 мм. Точность установки по лимбам шпиндельной бабки и стола на горизонтально-расточных станках невысокая. Это объясняется неточностью отсчета, силами трения, инерционными нагрузками. Для повышения точности установку шпиндельной бабки и стола на требуемые координаты выполняют по индикаторам с использованием концевых мер. Для каждой из координат, определяющих положение соответствующего отверстия, имеется определенный мерный стержень, который устанавливают на опору, а затем перемещением стола или шпиндельной бабки добиваются одинакового (нулевого) показания индикатора для всех координат. Это позволяет повысить точность межцентровых расстояний до 0,04...0,06 мм.

При использовании кольцевых калибров (кнопок) центры обрабатываемых отверстий первоначально размечают и накернивают. Затем по разметке сверлят отверстия и нарезают резьбу М6. В полученные отверстия с помощью винтов вворачивают кнопки-кольца диаметром 16 мм, которые по наружному диаметру выполнены по 5...6-му качествам точности. С помощью мерных плиток кнопки выставляют в положение, соответствующее требуемому межосевому расстоянию.

При этом смещение кнопок возможно за счет наличия зазора между винтом и стенками отверстия. По окончании точной установки кнопки закрепляют, мерные плитки снимают и корпусную деталь передают на расточной станок.

На станке с помощью центроискателя, установленного в шпиндель, добиваются совмещения оси шпинделя с центром отверстия. После этого кнопку с винтом снимают и, не изменяя положения шпиндельной бабки и стола, выполняют полную обработку отверстия. В процессе настройки центроискатель устанавливают в шпиндель и поворачивают на угол 360° . При несовпадении оси шпинделя с осью кнопки индикатор показывает биение, равное удвоенному смещению. Для устранения смещения стол станка и шпиндельную бабку перемещают, добиваясь нулевого показания индикатора. Аналогично выполняют настройку на обработку всех других отверстий. Точность межосевых расстояний, достигаемая при этом способе, составляет 0,01 мм.

Кондукторы применяют для обработки отверстий в корпусных деталях в условиях серийного и массового производства. Этот способ достижения точности относительного положения отверстий в корпусных деталях получил наибольшее распространение. Простейшим кондуктором можно считать листовой шаблон, устанавливаемый или на столе станка, или непосредственно на обрабатываемой заготовке. В шаблоне толщиной 10...12 мм расположены точные отверстия, соответствующие тем, которые необходимо получить на детали. Причем диаметр этих отверстий на 2...3 мм больше требуемого. С помощью центроискателя совмещают ось шпинделя станка с центром отверстия в шаблоне, затем, не меняя относительного положения стола и шпиндельной бабки, полностью обрабатывают отверстие. Точность межцентровых расстояний достигается при этом в пределах 0,08...0,2 мм.

При большей серийности производства используют более сложные кондукторы, обеспечивающие точное относительное направление режущего инструмента. Направление инструмента или оправок обеспечивается с помощью установленных в опорах кондукторных втулок. В зависимости от технологической задачи применяют одностороннее направление инструмента, которое может быть передним или задним (рис. 6.13, а, б); двустороннее направление инструмента с передней и

задней стороны (рис. 6.13, в); двойное переднее направление инструмента (рис. 6.13, г).

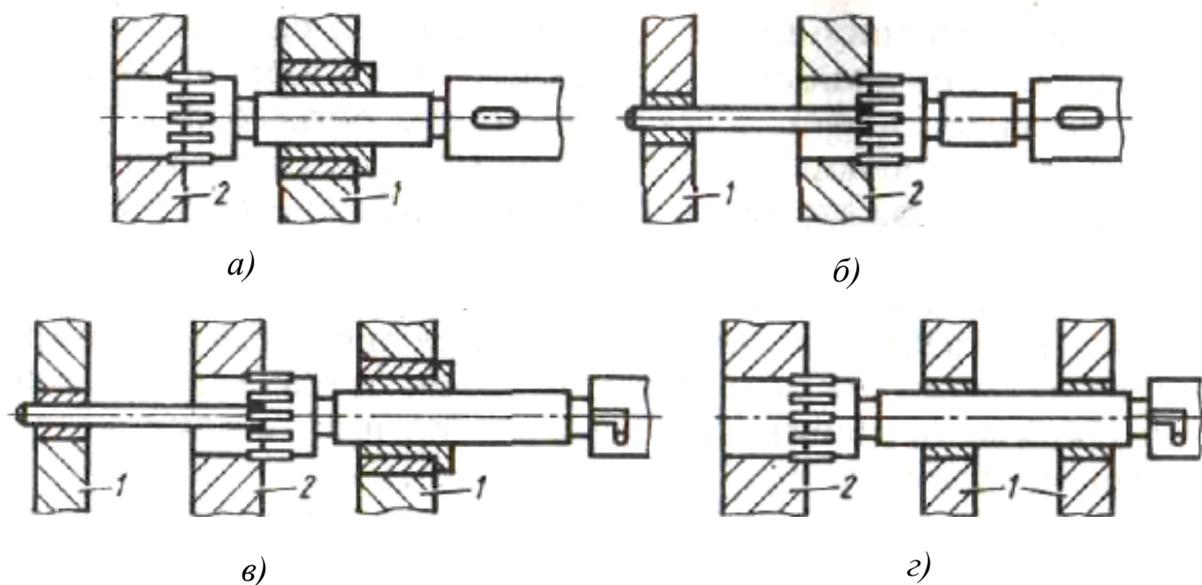


Рис. 6.13. Направление инструмента с использованием кондукторных втулок: а – переднее; б – заднее; в – переднее и заднее; г – двойное переднее; 1 – кондукторная плита; 2 – заготовка

В первом случае базирование инструментальной правки по двойной направляющей базе осуществляется на исполнительных поверхностях шпинделя и по отверстию кондукторной втулки. Поэтому эта схема требует жесткого соединения инструмента или оправки со шпинделем станка. Во втором и третьем случаях базирование борштанги по двойной направляющей базе осуществляется с помощью двух кондукторных втулок приспособления. Это исключает необходимость точного совмещения оси шпинделя станка с осью борштанги и не требует их жесткого соединения. Связь шпинделя с борштангой в этом случае осуществляется с помощью шарнирного патрона, допускающего несовпадение осей в пределах 1...2 мм. Через шарнирный патрон на борштангу передаются крутящий момент $M_{кр}$ и осевая сила подачи F_o .

Размерные цепи технологической системы, определяющие достижение точности относительного положения отверстий и межцентрового расстояния, в этом случае значительно упрощаются. Число их составляющих звеньев уменьшается в 3...4 раза. Это объясняется тем, что размерные цепи замыкаются только в пределах приспособления. Таким образом, точность положения обрабатываемых отверстий отно-

сительно технологической базы и точность межосевых расстояний в этом случае не зависят от геометрической точности станка, а определяются точностью приспособления (кондуктора).

В крупносерийном и массовом производстве для одновременной обработки в корпусных деталях различных отверстий применяют агрегатно-расточные станки. Агрегатные станки могут работать автономно или в составе автоматических линий для изготовления корпусных деталей. Агрегатные станки создают из унифицированных узлов. В зависимости от решаемых технологических задач они могут иметь различные компоновки (рис. 6.14.) с горизонтальным, наклонным или вертикальным расположением шпинделей, с неподвижными и подвижными столами. Станки с горизонтальным расположением шпинделей могут быть односторонние (рис. 6.14, *а*), двусторонние (рис. 6.14, *б*), двусторонние с поворотным столом (рис. 6.14, *в*), а также станки со столами поступательного перемещения (рис. 6.14, *г*). Станки вертикальной компоновки также могут иметь неподвижные (рис. 6.14, *д*) и поворотные (рис. 6.14, *е*) столы.

Для параллельно-последовательной обработки деталей с нескольких сторон применяют станки с вертикальными и горизонтальными головками и поворотными столами (рис. 6.14, *е*), а также горизонтальные станки с многопозиционными поворотными барабанами (рис. 6.14, *ж*). На таких станках возможна высокая степень концентрации выполняемых технологических переходов. Установку и съем деталей на позиции загрузки производят одновременно с выполнением рабочих переходов.

Агрегатные станки с неподвижными или поворотными столами обычно работают автономно в условиях крупносерийного производства. Станки со столами поступательного перемещения встраиваются в автоматические линии, в результате обеспечивается сквозное перемещение детали по ходу выполнения технологического процесса. По окончании обработки столы-спутники параллельным потоком возвращаются на исходную позицию для установки новой заготовки.

На агрегатных станках возможно выполнение различных технологических переходов (сверление, зенкерование, растачивание, подрезка торцов, развертывание и др.) при одновременной обработке нескольких отверстий в корпусной детали. При этом обрабатываемые отверстия могут быть расположены как на наружных, так и на внут-

ренных стенках детали. Требуемая точность межцентровых расстояний и относительного положения инструмента обеспечивается путем применения кондукторных плит с направляющими втулками для режущего инструмента и инструментальных оправок.

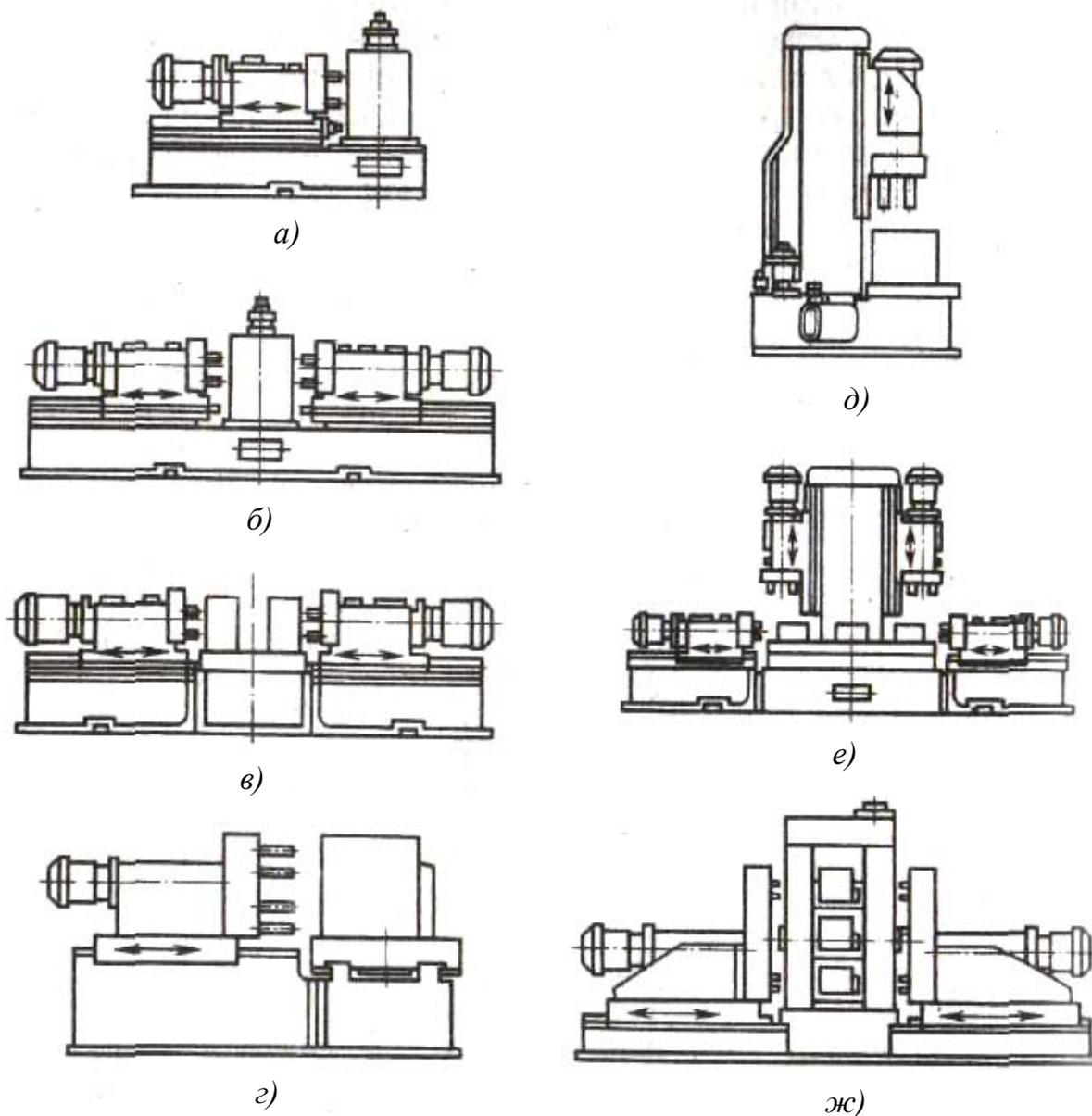


Рис. 6.14. компоновки агрегатных станков

На рис. 6.15 показан пример обработки отверстий в корпусной детали на многошпиндельном агрегатно-расточном станке. Вначале с помощью двухшпindelной головки обрабатывают отверстия диаметром 35 мм (рис. 6.15), а затем с двух противоположных сторон обрабатывают отверстия диаметром 20, 30, 60 мм, одновременно подрезается торец со стороны отверстия диаметром 30 мм.

Агрегатные станки, как правило, специальные, их создают для обработки определенных деталей, изготавливаемых в больших количествах. Поэтому применение таких станков требует экономических расчетов.

Обработка крепежных и других мелких отверстий

Крепежные и другие мелкие отверстия в корпусных деталях под пробки, маслоуказатели или для подачи смазочного материала обрабатывают на вертикально-сверлильных, радиально-сверлильных, горизонтально-расточных или агрегатных станках. При этом с помощью соответствующего инструмента выполняют такие переходы, как сверление, зенкерование, развертывание, центрование, снятие фасок, нарезание резьбы.

На вертикально-сверлильных станках обычно обрабатывают детали массой не более 30 кг. В деталях массой более 30 кг мелкие отверстия обрабатывают на радиально-сверлильных или горизонтально-расточных станках. В условиях единичного производства сверление отверстий в корпусе выполняют по разметке. В этом случае достигаемая точность межцентровых расстояний и точность размеров, определяющих положение отверстий на плоскости, составляет $\pm(0,25 \dots 0,5)$ мм.

Для уменьшения увода отверстий сверление выполняют в два или три перехода. Вначале отверстие центруют или засверливают сверлом, диаметр которого в 2...3 раза меньше требуемого. Для отверстий под резьбу диаметром более 25...30 мм помимо сверления выполняют зенкерование или растачивание. Диаметр отверстий под резьбу делают на 0,04...0,1 мм больше внутреннего диаметра резьбы, тем самым учиты-

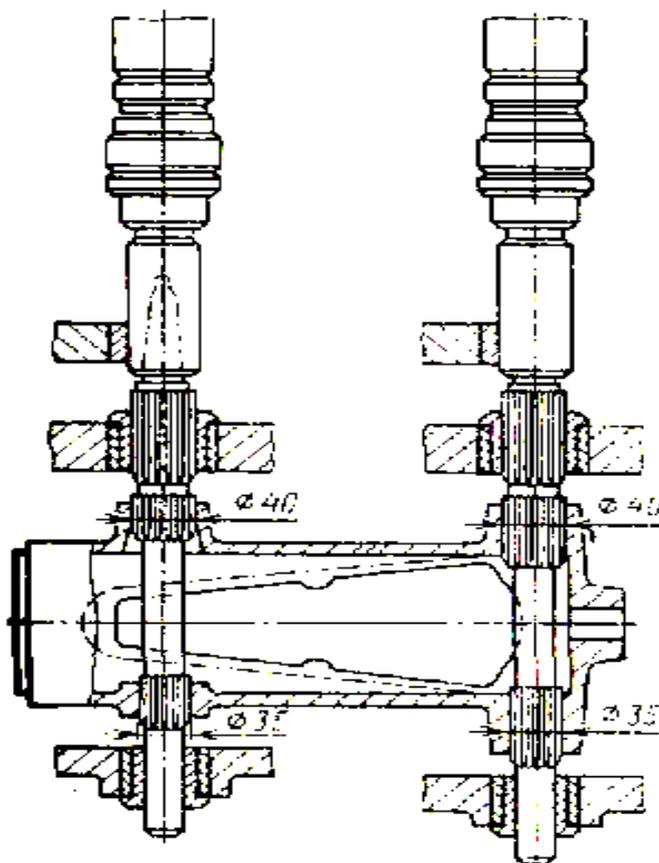


Рис. 6.15. Схема одновременной обработки отверстий в корпусной детали на многошпиндельном агрегатном станке

вают подъем витков, возникающий при нарезании. Внутренние резьбы в большинстве случаев глухие, поэтому отверстия под них сверлят на несколько большую глубину, чем требуемая длина резьбы. Рекомендуемые диаметры сверл под резьбу с различным шагом и диаметром приведены в специальных таблицах [22]. Торцы обрабатывают с осевой подачей зенковками или подрезными резцами.

Перед нарезанием резьбы в отверстиях снимают фаску коническими зенковками, резцами или сверлами большого диаметра. Фаску снимают под углом 90° до наружного диаметра резьбы и нарезают её машинными метчиками. Резьбу с шагом до 3 мм нарезают за один рабочий ход, резьбы с большим шагом нарезают комплектом метчиков за два-три рабочих хода. Нарезание резьб выполняют с принудительной осевой подачей, равной шагу резьбы. Для предохранения инструмента от поломки в случае несовпадения на 2...3 % шага резьбы и осевой подачи применяют патроны с осевой компенсацией или динамометрические патроны, отрегулированные на допустимое предельное значение крутящего момента. Такие самовыключающиеся патроны обеспечивают точную остановку движения подачи и вращения метчика при нарезании глухих резьб.

В условиях серийного производства мелкие отверстия сверлят с использованием накладных, скальчатых и коробчатых кондукторов. Направление инструмента в этом случае обеспечивают кондукторные втулки, в результате отпадает необходимость разметки и предварительной зацентровки отверстий.

Накладные кондукторы, выполненные в виде плит, непосредственно базируются по предварительно обработанным поверхностям детали. В коробчатых и скальчатых кондукторах имеются базирующие поверхности для обрабатываемой заготовки, относительно которых определенным образом расположены кондукторные втулки. Достигаемая точность положения отверстий относительно баз составляет 0,1...0,2 мм.

Для сверления отверстий с разных сторон детали применяют одно- или двухопорные поворотные приспособления, на которые устанавливают требуемый кондуктор. Нормализованные поворотные стойки обеспечивают возможность фиксации кондуктора с деталью в необходимом угловом положении, что позволяет получить отверстия с любой из четырех сторон, в том числе и со стороны технологических баз детали.

Для сокращения вспомогательного времени на частую смену различного режущего инструмента на сверлильных станках применяют быстросменные патроны или специальные револьверные головки. В целях повышения производительности используют также комбинированный режущий инструмент: сверла, зенкеры различного диаметра, сверла-зенковки, сверла-зенкеры, сверла-метчики.

В серийном производстве на сверлильных станках применяют быстропереналаживаемые многошпиндельные головки с регулируемым межцентровым расстоянием (рис. 6.16). С помощью этих головок обеспечивается па-

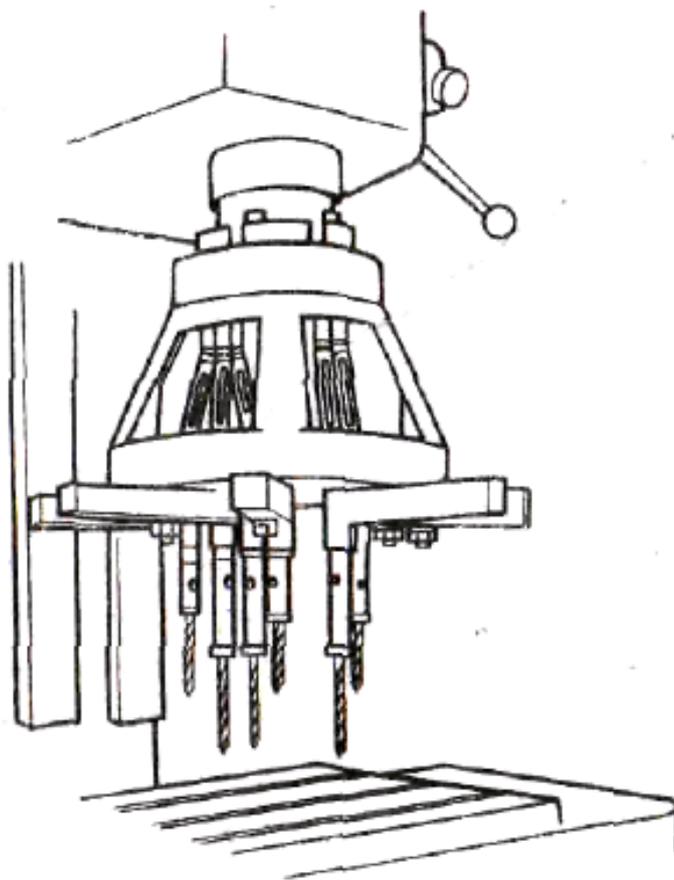


Рис. 6.16. Переналаживаемая многошпиндельная головка

раллельная обработка нескольких отверстий, расположенных в одной плоскости. Конструкция таких головок позволяет менять число одновременно работающих сверл и регулировать в определенных пределах межцентровые расстояния.

В крупносерийном и массовом производстве мелкие отверстия обрабатывают на многошпиндельных и агрегатных станках, имеющих различные компоновки. Сверлить отверстия в корпусе с последующим нарезанием резьбы можно на двух агрегатных или на одном многопозиционном станке.

6.6. Отделка плоских поверхностей и главных отверстий

Отделочные операции обработки главных отверстий

Для получения в корпусных деталях отверстий высокой точности (по квалитетам *IT6...IT7*) на заключительном этапе технологиче-

ского процесса вводят следующие отделочные операции: развертывание, тонкое растачивание, планетарное шлифование, хонингование, раскатку роликами, а в отдельных случаях притирку и шабрение. Выбор необходимого метода обработки зависит от требований точности, определяемых служебным назначением детали. Например, для окончательной обработки отверстий под пиноль задней бабки или отверстий в блоках цилиндров двигателей и компрессоров, где требуется достижение повышенных требований к шероховатости поверхности, применяют хонингование. А для отверстий в шпиндельных коробках или корпусах, где необходима высокая точность относительного положения отверстий, применяют тонкое растачивание и планетарное шлифование. Для получения на поверхности отверстия упрочнения с целью уменьшения изнашивания поверхностного слоя применяют раскатку роликами.

Развертывание – наиболее распространенный метод окончательной обработки главных отверстий, применяемый в условиях единичного и серийного производства. Универсальность этого метода заключается в том, что ручное отделочное развертывание вообще не требует применения станочного оборудования. Так как развертка обычно самоустанавливается по отверстию, то для обеспечения соосности предварительно обработанных отверстий применяют комбинированные развертки, с помощью которых одновременно развертывают соосные отверстия.

Тонкое алмазное растачивание выполняют на специальных алмазно-расточных станках. Станки для тонкого растачивания обладают высокой жесткостью и повышенной виброустойчивостью. Они могут иметь вертикальную или горизонтальную компоновку с одним или несколькими шпинделями. Станки горизонтальной компоновки бывают одностороннего и двустороннего исполнения. Отверстия растачивают однолезвийными резцами, оснащенными твердосплавными пластинами с тщательно доведенными режущими кромками.

Для обработки корпусных деталей из цветных сплавов применяют также резцы с пластинками из сверхтвердых материалов и резцы с техническим алмазом. Специальная геометрия затачивания таких резцов позволяет обрабатывать отверстия с очень малыми глубинами резания. Инструмент устанавливают в жестких консольных

оправках, у которых отношение длины к диаметру $L/d \leq 7$. Для повышения жесткости и виброустойчивости при растачивании отверстий малого диаметра вместо стальных оправок используют твердосплавные, которые при одинаковых размерах имеют показатели в 2...3 раза лучше. С точки зрения точности обработки предпочтительным остается вертикальное расположение шпинделя, при котором масса расточной оправки практически не влияет на точность геометрической формы отверстия. Особенностью процесса тонкого растачивания является обработка на высоких скоростях резания при очень малых глубинах резания и продольных подачах. В табл. 6.8 приведены режимы резания для тонкого растачивания, используемые при обработке деталей из чугуна, стали и цветных сплавов.

Таблица 6.8. Режимы тонкой расточки отверстий

Режимы резания	Для чугуна	Для стали	Для цветных сплавов
V , м/мин	100...200	120...250	До 1000
S , мм/об	0,03...0,15	0,02...0,12	0,02...0,1
t , мм	0,1...0,35	0,1...0,3	0,05...0,4

Припуск, оставляемый на тонкое растачивание в пределах 0,2...0,35 мм на сторону, снимается за два рабочих хода. На первом ходе снимают $3/4$, а на втором $1/4$ часть припуска. Охлаждение в процессе растачивания обычно не применяют. При таких режимах имеют место малые силы резания и незначительное тепловыделение. В результате на замыкающем звене технологической системы получают незначительные упругие перемещения и температурные деформации. Все это способствует получению высокой точности размеров, геометрической формы и относительного положения обрабатываемых отверстий корпусной детали.

Тонкое алмазное растачивание обеспечивает получение точности диаметральных размеров отверстий по 6...7-му квалитетам, отклонение геометрической формы (овальность, конусность) отверстий диаметром до 120 мм не превышает 0,003...0,005 мм, параметр шероховатости поверхности $Ra = 1,25...0,30$ мкм. Точность межцентровых расстояний и положения отверстия относительно базы составляют 0,005...0,03 мм.

Внутреннее планетарное шлифование применяют главным образом для обработки отверстий диаметром выше 150 мм. Однако имеются также координатные планетарно-шлифовальные станки, позволяющие обрабатывать в корпусных деталях отверстия диаметром от 10 мм и выше. В процессе обработки шлифовальный круг вращается вокруг своей оси и совершает планетарное движение относительно оси обрабатываемого отверстия. Подача в осевом направлении осуществляется путем продольного возвратно-поступательного перемещения шлифовального шпинделя или стола с деталью. Припуск, оставляемый под шлифование отверстий, составляет 0,1...0,2 мм на диаметр.

Планетарное шлифование обеспечивает получение отверстий по 6...7-му квалитетам точности, погрешность формы отверстий не выше 0,004 мм и параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,32...0,16$ мкм. При обработке на координатных планетарно-шлифовальных станках можно получить точное положение оси отверстия относительно базы и межосевое расстояние с точностью до 0,01 мм. Недостаток этого процесса в невысокой производительности по сравнению с другими подобными методами обработки.

Хонингование применяют при обработке сквозных гладких отверстий диаметром от 25 до 500 мм в корпусных деталях главным образом из чугуна и стали. Хонингование представляет собой процесс чистовой обработки цилиндрических поверхностей детали мелкозернистыми абразивными брусками, совершающими вращательное и возвратно-поступательное движения в направлении оси отверстия. Хонингование предназначено для достижения высокой точности размеров и геометрической формы отверстий.

С помощью хонингования достигают точность диаметральных размеров отверстий по 6-му квалитету, точность геометрической формы отверстий (диаметром до 250 мм) в пределах 0,003...0,004 мм, параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,16...0,004$ мкм. Однако этот процесс не позволяет исправить положение оси отверстия относительно базы. Хонингование выполняют на специальных одно- или многошпиндельных станках с вертикальной или горизонтальной компоновкой.

Одношпиндельные станки имеют большую универсальность; на станках с горизонтальным расположением шпинделя, применяемых для

обработки длинных деталей, дополнительно вращается заготовка с целью уменьшения погрешности формы, обусловленной односторонним давлением хона. Абразивные бруски, равномерно расположенные по периметру хонинговальной головки, за один проход снимают слой металла толщиной 0,3...0,5 мм. Число абразивных брусков в головке обычно принимают кратным трем (3, 6, 9 и т. д.), а для обработки отверстий малого диаметра используют один брусок.

Бруски подбирают по длине, приблизительно равной диаметру отверстия, для хонингования длинных отверстий бруски должны иметь длину $L = (3...4)\varnothing$. В процессе работы выход брусков за пределы отверстия составляет 15...20 мм. Все это способствует достижению высокой точности геометрической формы отверстия. Припуски, оставляемые под хонингование, зависят от диаметра обрабатываемого отверстия, материала и вида предшествующей обработки. Для отверстий диаметром до 125 мм припуск на деталях из чугуна составляет 0,02...0,1 мм, а на деталях из стали 0,01...0,04 мм. Припуски на деталях из серого чугуна, оставляемые в зависимости от предшествующей обработки, составляют: после растачивания 0,05...0,08 мм, после развертывания 0,02...0,04 мм, после шлифования 0,02 мм. При обработке заготовок из чугуна окружная скорость относительного движения хона равна 60...75 м/мин, скорость возвратно-поступательного перемещения 15...20 м/мин; при обработке заготовок из стали окружная скорость 45...60 м/мин; скорость возвратно-поступательного перемещения 10...12 м/мин. Соотношение этих скоростей хона выбирают из условия получения на цилиндрической поверхности отверстия штрихов, скрещивающихся под углом 40...60°.

Хонинговальная головка связана со шпинделем станка шарнирно, и в процессе работы она самоустанавливается по отверстию. Раздвижение абразивных брусков происходит автоматически по мере уменьшения припуска. Хонингование выполняют при обильном охлаждении, для чего применяют эмульсию, обеспечивающую охлаждение и смазывание обрабатываемой поверхности.

В крупносерийном и массовом производстве хонингование выполняют на высокопроизводительных станках-автоматах при непрерывном автоматическом контроле получаемых в процессе обработки параметров точности отверстия. Хонингование целесообразно выпол-

нять после растачивания, в результате которого обеспечивается требуемая точность относительного положения оси отверстия. При обработке ответственных корпусов хонингование выполняют после тонкого растачивания, так как эти два процесса технологически дополняют друг друга. Хонингование особенно эффективно при необходимости обработки высокоточных длинных отверстий сравнительно большого диаметра. В машиностроении хонингование широко применяют при обработке отверстий в блоках цилиндров различных двигателей, в корпусах компрессоров, при обработке цилиндров и корпусов с отверстиями под пиноли и выдвижные шпиндели.

Раскатка отверстий – метод окончательной обработки, основанный на пластическом деформировании металла на обрабатываемой поверхности. Раскатку выполняют на сверлильных, токарных или специальных станках. Инструментом являются различные по конструкции многороликовые раскатники, которые вращаются относительно оси отверстия с частотой $n = 20 \dots 30 \text{ мин}^{-1}$ и совершают осевое перемещение с подачей $S = 1 \dots 3 \text{ мм/об}$. Ролики, равномерно расположенные по периметру сепаратора, могут свободно вращаться вокруг своей оси. Их изготавливают из высококачественных инструментальных сталей, твердость после закалки HRC 62...64. Конструкция многороликовых раскатников позволяет в определенных пределах регулировать получаемый диаметр отверстия. Раскатку выполняют после чистового растачивания, точность отверстия, обрабатываемого под раскатку, составляет 0,01...0,015 мм. Припуск, оставляемый под раскатку, равен 0,02...0,05 мм на диаметр.

Раскатник не исправляет положения оси отверстия, он самоустанавливается по отверстию, поэтому точность расположения отверстия относительно базы должна обеспечиваться на предшествующей расточной операции. Обработку методом раскатывания применяют для окончательной обработки сквозных и глухих отверстий в корпусах из различных материалов, способных в холодном состоянии пластически деформироваться. Твердость таких материалов обычно не превышает HRC 35 ... 40.

Раскатка обеспечивает достижение точности отверстия по 6...9-му квалитетам, параметр шероховатости получаемой поверхности $Ra = 0,016 \dots 0,008 \text{ мкм}$, погрешность геометрической формы для отвер-

стей диаметром до 120 мм находится в пределах 0,005...0,008 мм. В результате раскатки происходит уплотнение поверхностного слоя и повышение его твердости на 20 %.

Производительность раскатки по сравнению с хонингованием более высокая, в отдельных случаях она увеличивается до 5 раз. Этот метод применяют для окончательной обработки длинных отверстий в стальных корпусных деталях типа корпусов гидроцилиндров, пинолей, поршневых и винтовых насосов, гидравлических стоек и др.

Притирку (доводочно-притирочную операцию) применяют в единичном и мелкосерийном производстве для получения высокой точности размеров и геометрической формы отверстий малых и средних диаметральных размеров. Притирку выполняют с использованием абразивных порошков и паст, наносимых на сопряженную деталь или на специальные притиры. Эта операция не требует применения специального станочного оборудования, ее можно выполнять на сверлильных, токарных и других станках или вручную. С помощью притирки обеспечивается требуемый зазор в золотниковых парах у различных корпусов топливной, пневмо- и гидроаппаратуры.

6.7. Контроль корпусных деталей

В зависимости от программы выпуска контроль корпусных деталей выполняют с использованием универсальных и специальных измерительных средств. Точность корпусных деталей контролируют как при выполнении наиболее ответственных операций технологического процесса, так и после обработки. При этом контролируют точность размеров и относительного положения плоских поверхностей и главных отверстий, точность геометрической формы и шероховатость базисующих поверхностей детали, правильность относительного положения резьбовых и других мелких отверстий [14, 27].

В условиях единичного и мелкосерийного производства контроль выполняют с помощью универсальных измерительных средств. Точность размеров, относительных поворотов и геометрической формы плоских поверхностей контролируют с помощью линеек, угольников, уровней, концевых мер, индикаторов и различных шаблонов. Для контроля точности размеров, относительного положения и геометрической формы отверстий дополнительно применяют микрометрические

и индикаторные приборы (штихмасы, пассиметры, микрометры, штангенциркули, штангенрейсмусы, штангенглубиномеры, контрольные оправки и предельные калибры-пробки).

В крупносерийном и массовом производстве геометрическую точность корпусных деталей контролируют на специальных приборах, обеспечивающих одновременно автоматическое измерение нескольких параметров точности детали. Измерительная система таких приборов обычно основана на применении пневматических, индуктивных или электроконтактных датчиков.

При выборе измерительных средств необходимо учитывать требования к точности контролируемой детали и допускаемые предельные погрешности измерительного прибора. Предельная погрешность измерительных средств, как правило, не должна превышать $0,1 \dots 0,2$ допуска на контролируемый параметр, и лишь в отдельных случаях при малом допуске возможна погрешность измерения в пределах $0,3$ допуска.

Погрешность измерительных средств можно также учесть путем установления на измеряемые параметры более жестких производственных допусков, величину которых занижают на удвоенное значение погрешности измерения.

Параметры геометрической точности плоских поверхностей (прямолинейность, плоскостность, точность расположения) контролируют с использованием линеек, уровней, индикаторов, шаблонов, угольников и других устройств, применяемых для контроля плоских поверхностей станин [19]. Для корпусных деталей характерным является контроль точности диаметральных размеров и относительного положения осей главных отверстий. Применяемые для контроля диаметров микрометрические нутромеры (штихмасы) имеют цену деления $0,01$ мм. Они обеспечивают измерение точности диаметральных размеров отверстий от 50 до 600 мм и более. Индикаторные нутромеры повышенной точности с ценой деления $0,001$, $0,002$ мм позволяют контролировать отверстия диаметром от 5 до 300 мм. Пневматические измерительные головки, используемые в специальных контрольных приборах, обеспечивают измерение диаметров с точностью до $0,001$ мм. Создаваемые приборы позволяют выполнять измерения одновременно в нескольких радиальных направлениях. При этом измерения можно

выполнять в труднодоступных местах для отверстий диаметром от 5 мм и выше.

Оценка точности диаметральных размеров отверстий с помощью предельных калибров-пробок не позволяет получить численного значения отклонений. Предельные калибры дают возможность быстро установить, находится ли контролирующий размер в пределах допуска. Их широко применяют как в мелкосерийном, так и в массовом производстве.

Для контроля точности геометрической формы отверстия в поперечном сечении (овальности, огранки) диаметры измеряют в нескольких радиальных направлениях. При измерении диаметров D_1 и D_2 ($D_1 = D_{\max}$, $D_2 = D_{\min}$) в двух перпендикулярных направлениях отклонение геометрической формы отверстия (отклонение от круглости) составит

$$\Delta_{KP} = (D_{\max} - D_{\min}) / 2.$$

Контроль точности геометрической формы отверстий в продольном направлении (оценка конусности, бочкообразности) требует измерения диаметров в нескольких поперечных сечениях. При измерении диаметров D_1 и D_2 ($D_1 = D_{\max}$, $D_2 = D_{\min}$) в двух сечениях, расположенных на расстоянии L , погрешность геометрической формы и, в частности, конусность составит

$$\Delta_{ПП} = (D_{\max} - D_{\min}) / L.$$

Для измерения точности положения отверстия относительно плоскости или другого отверстия в первую очередь необходимо материализовать ось отверстия. Это делают с помощью контрольных оправок, вставляемых в отверстия. Оправки представляют собой закаленные стальные стержни (калибры), изготовленные с точностью диаметральных размеров по $IT5$, $IT6$, шероховатость поверхности по $Ra = 0,32 \dots 0,16$ мкм, поверхностная твердость $HRC 52 \dots 54$.

При диаметре отверстия до 50 мм оправки устанавливают непосредственно в отверстие корпуса, а для отверстий диаметром более 50 мм их устанавливают через промежуточные контрольные втулки, которые также изготовлены с точностью калибра. Ширина контрольной втулки составляет 1,5...2 диаметра вставляемой оправки. Сопряжение втулки с корпусом осуществляется по посадкам $h 5$, $j_s 5$, а установка

контрольной оправки – по посадке $h5$. Для отверстий диаметром до 100 мм обычно применяют закаленные стальные втулки, а при большом диаметре используют чугунные втулки с выточками и дополнительным сверлением для уменьшения их массы.

Схемы контроля соосности двух отверстий представлены на рис. 6.17. В первом случае (рис. 6.17, а) о достижении требуемой точности судят по легкости прохождения контрольной оправки. При этом в измерительную размерную цепь входят звенья $E_{д}=E_1+E_2+E_3$.

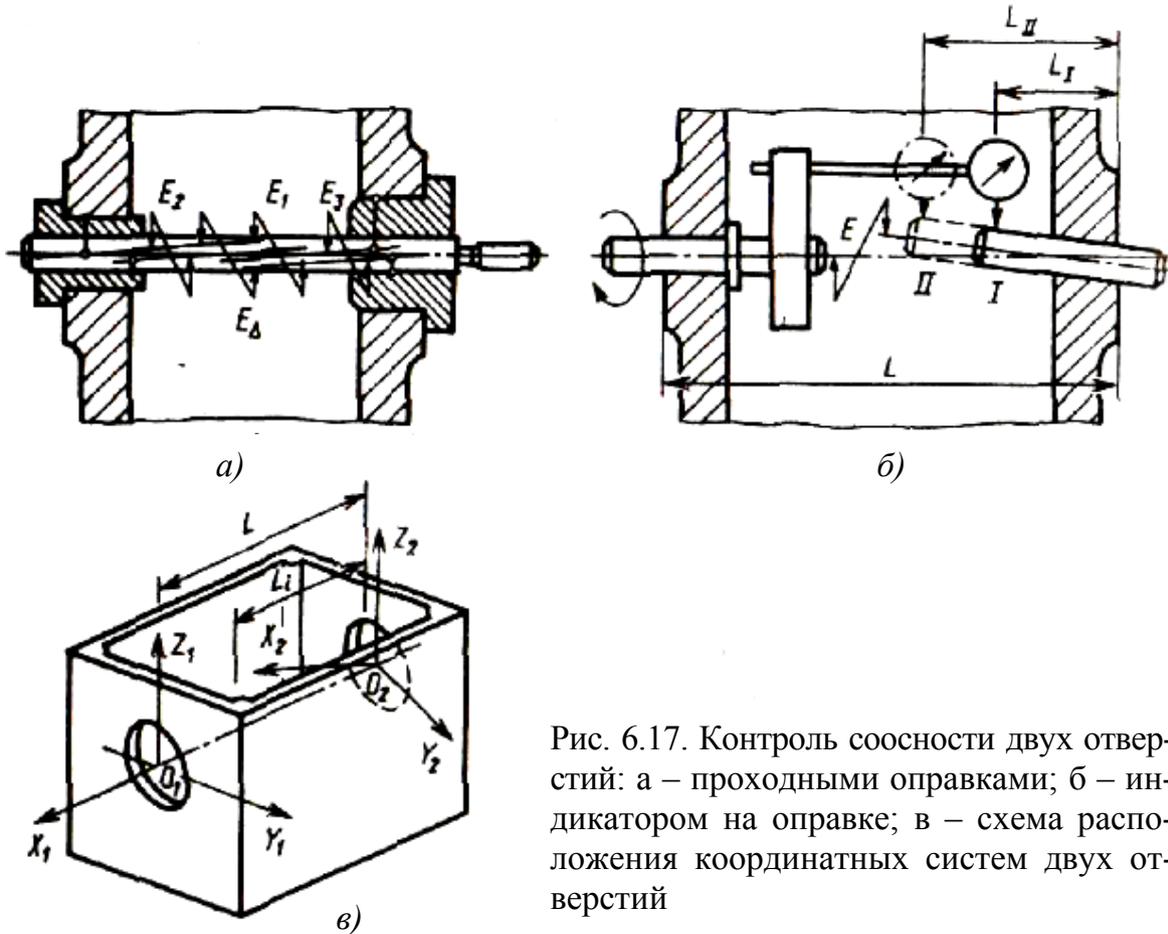


Рис. 6.17. Контроль соосности двух отверстий: а – проходными оправками; б – индикатором на оправке; в – схема расположения координатных систем двух отверстий

Этот метод прост в реализации, однако он не позволяет определить значение отклонения Δ_E и установить причину его формирования (параллельное смещение или относительный перекос осей). Если одно из отверстий, например левое (рис. 6.17, в), взять за базу (система $O_1X_1Y_1Z_1$), относительно которой имеют место смещение и поворот другого отверстия (система $O_2X_2Y_2Z_2$), определяемые вектором $k = (A, B, Г, \lambda, \beta, \gamma)$, то отклонение от соосности по длине L

$$\Delta_E = \sqrt{\Delta_{Г}^2 + \Delta_B^2} + L\sqrt{\Delta_{\beta}^2 + \Delta_{\gamma}^2}, \quad (6.7)$$

где $\Delta_G, \Delta_B, \Delta_\beta, \Delta_\gamma$ – отклонения соответствующих параметров смещения и относительного поворота.

Максимальное отклонение от соосности, получаемое при одинаковых предельных значениях отклонений ($\Delta_G^B = \Delta_B^B, \Delta_\beta^H = \Delta_\gamma^B$),

$$\Delta_E^B = \sqrt{2}(\Delta_G^B + L\Delta_\gamma^B). \quad (6.8)$$

Отклонение от соосности определяют как половину радиального биения, показываемого индикатором, $\Delta_E = 0,5 \cdot U$. Отклонение от соосности необходимо контролировать в нескольких поперечных сечениях (I, II), так как согласно выражению (6.7) при определенном сочетании значений отклонение от соосности на отдельных участках может быть не обнаружено. Зная отклонения в отдельных сечениях Δ_{E_i} и $\Delta_{E_{ii}}$ при ($\Delta_{E_{ii}} > \Delta_{E_i}$), и ($L_{II} > L_I$), по формуле (6.8) можно рассчитать наибольшее отклонение от соосности на рассматриваемом участке L :

$$\Delta_E = \Delta_{E_i} + \frac{\Delta_{E_{ii}} - \Delta_{E_i}}{L_{II} - L_I} (L_i - L_I) \quad \text{при} \quad L_{II} \leq L_i \leq L_I.$$

Это значение не должно превышать заданный допуск T_E на соосность, который согласно ГОСТ 24642–81 задается с учетом качества точности и диаметрального размера отверстия.

Точность поворота оси отверстия относительно базовой плоскости и точность расстояния от оси отверстия до плоскости измеряют на контрольной плите с использованием контрольной оправки и индикатора на стойке (рис. 6.18, а). С помощью набора концевых мер индикатор на стойке предварительно выставляют на требуемый размер $B = A + d/2$. Затем последовательно в позициях I и II (рис. 6.18, б) фиксируют отклонения U_1 и U_2 , показываемые индикатором при касании по образующей оправки. Отклонение от параллельности оси отверстия относительно плоскости

$$\Delta_\lambda = (U_I - U_{II})/L,$$

где L – расстояние между позициями I и II.

Отклонения расстояния от оси отверстия до плоскости

$$\Delta_A = (U_I + U_{II})/2.$$

Среднее расстояние от оси отверстия до плоскости

$$A_{CP} = (B_I + B_{II})/2 - d/2,$$

где d – диаметр контрольной оправки.

Точность относительного поворота и расстояния Γ (рис. 6.18, в) от оси отверстия до базовой плоскости в горизонтальном направлении контролируют аналогично с использованием угольника. Для измерения расстояния от образующей контрольной оправки до базовой плоскости помимо индикатора могут быть также использованы штангенрейсмус, штихмас, мерные плитки.

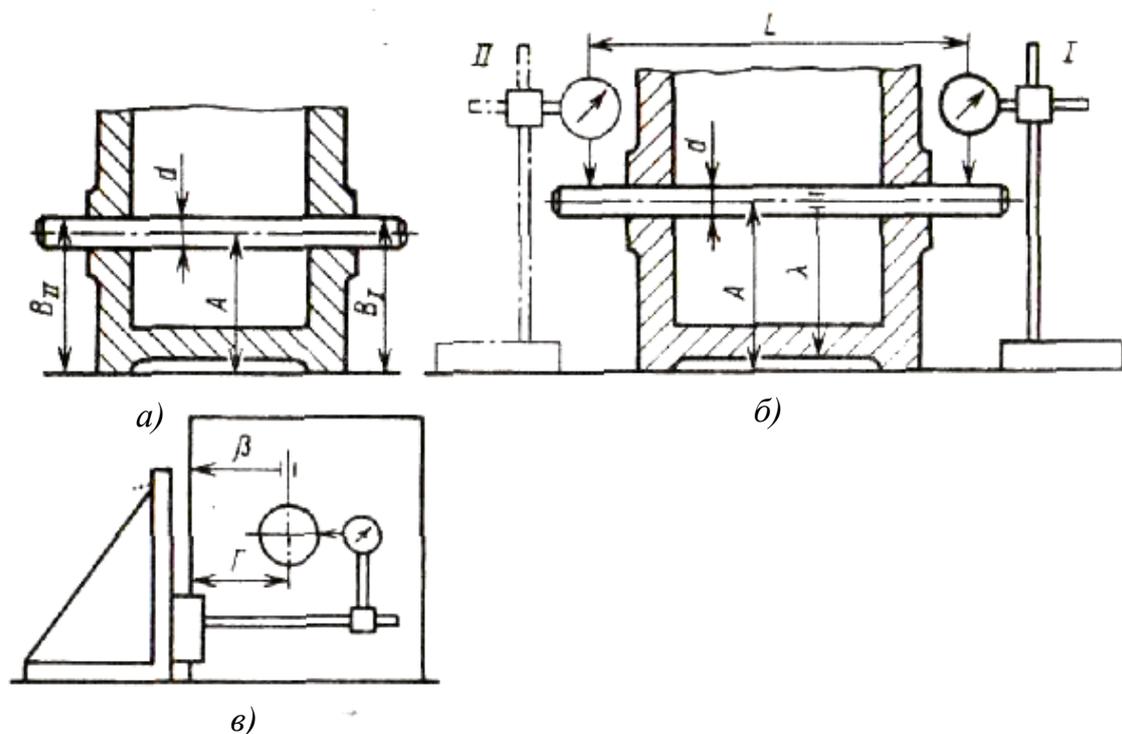


Рис. 6.18. Контроль точности поворота оси отверстия относительно базы и точности расстояния от оси отверстия до плоскости

Схемы измерения точности положения оси отверстий в заданной плоскости показаны на рис. 6.19. В отверстия вставляют контрольные оправки. Для измерения используют линейку 1, угольник 2 или специальное приспособление 3, на которое устанавливают уровень 4. Такие измерения можно выполнять также на контрольной плите с использованием индикатора на стойке.

Точность межосевого расстояния и параллельность осей отверстий контролируют по схеме, представленной на рис. 6.20. Измерение расстояния между образующими двух контрольных оправок можно выполнить по наружной стороне микрометром или штангенциркулем (рис. 6.20, а); по внутренней стороне штихмасом (рис. 6.20, б), инди-

каторным нутромером или набором концевых мер. Межосевое расстояние

$$A = 0,5[(A_1 + A_2) + (d_1 + d_2)].$$

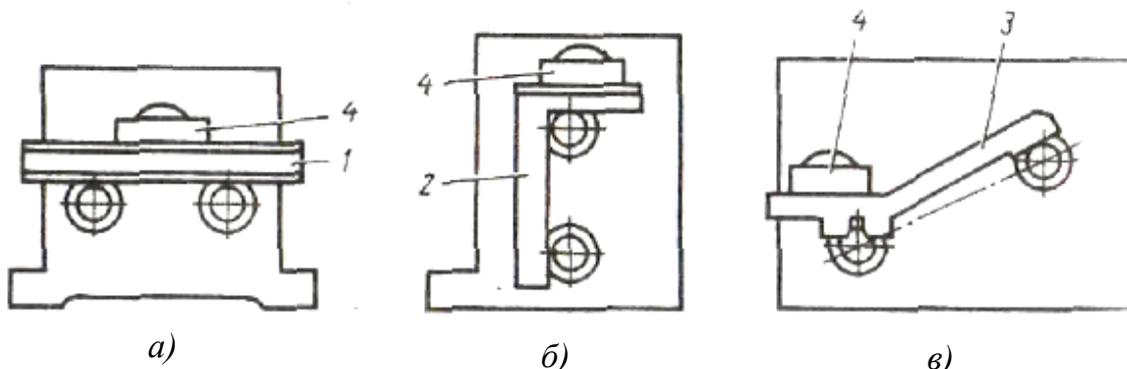


Рис. 6.19. Контроль точности расположения осей отверстий в заданной плоскости: а – в горизонтальной; б – в вертикальной; в – в плоскости, расположенной под углом

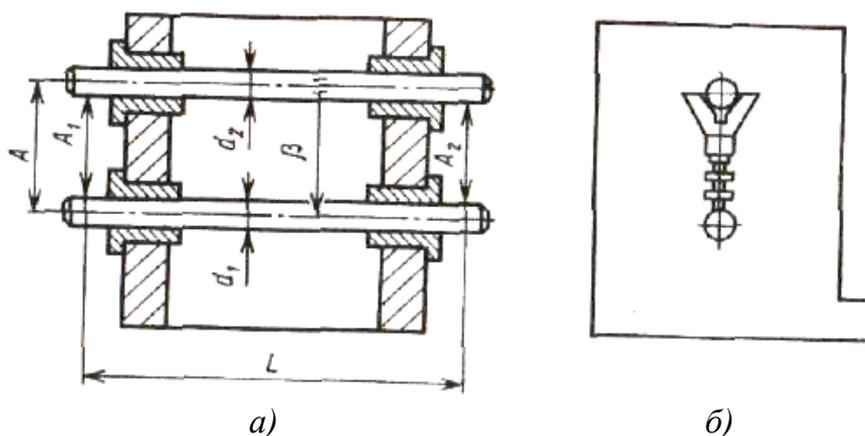


Рис. 6.20. Контроль точности межосевого расстояния

Отклонение от параллельности одного отверстия относительно другого

$$\Delta_{\beta} = (A_1 - A_2) / L .$$

Отклонение от перпендикулярности оси одного отверстия относительно оси другого можно проверить индикатором, установленным на оправке (рис. 6.21, а), или с помощью калибра (рис. 6.21, б). В обоих случаях фиксируют два отклонения Δ_1 и Δ_2 на базовой длине L . Отклонение от перпендикулярности Δ_2 определяют как отношение разности $(\Delta_1 - \Delta_2)$ к базовой длине L .

Отклонение от перпендикулярности торцевой плоскости относительно оси отверстия проверяют калибром (рис. 6.22, а) или индикато-

ром, установленным в специальной оправке (рис. 6.22, б). В первом случае отклонение определяют щупом по величине зазора в двух противоположных точках на базе D , а во втором – по показаниям индикатора в положениях I и II.

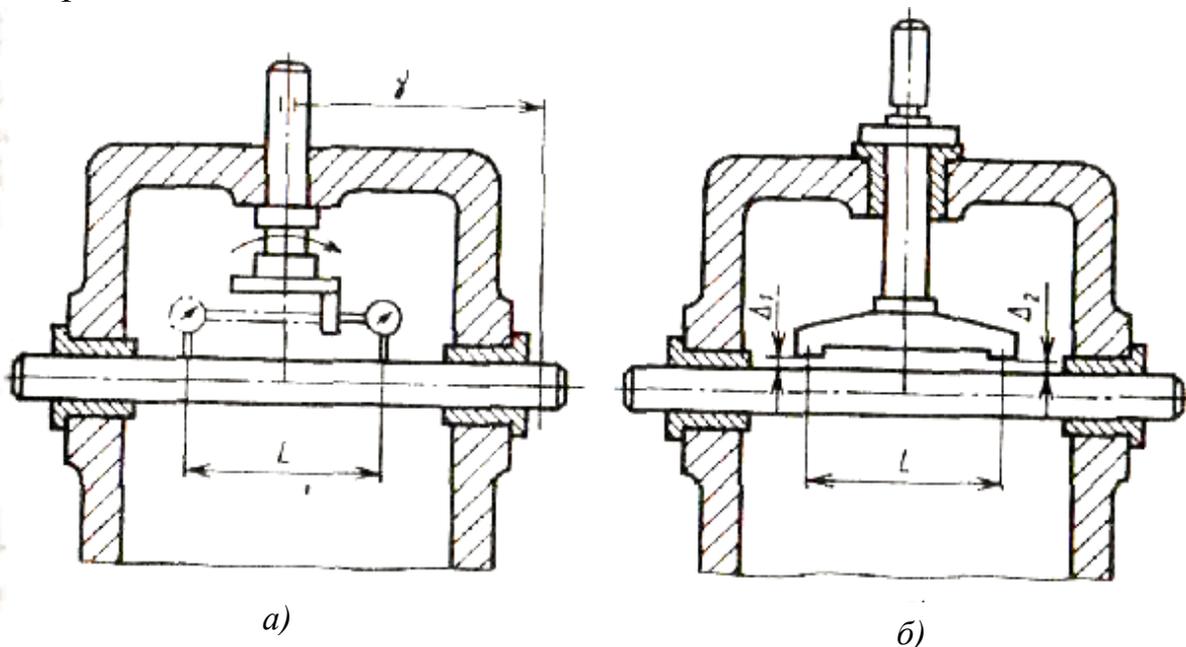


Рис. 6.21. Контроль отклонения от перпендикулярности оси одного отверстия относительно другого

Отклонение от перпендикулярности торцевой плоскости к оси отверстия оценивают как разность двух показаний, отнесенную к базовой длине D .

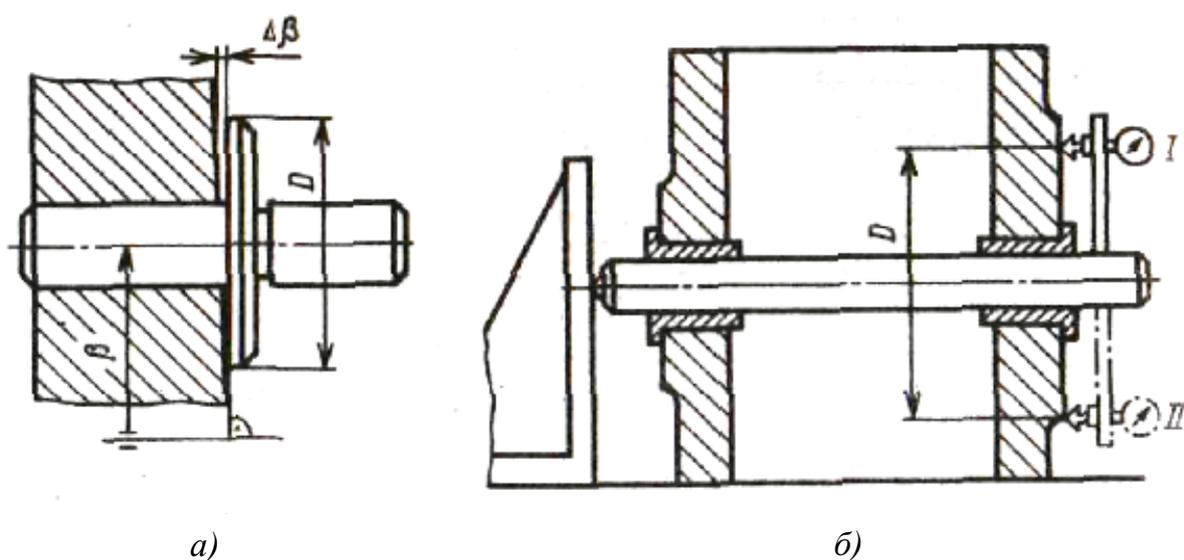


Рис. 6.22. Контроль перпендикулярности торцевой плоскости к оси отверстия

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте служебное назначение корпусной детали.
2. Назовите основные виды корпусных деталей.
3. Какие технические требования предъявляют к корпусным деталям?
4. Что определяет точность расстояний между осями главных отверстий?
5. Исходя из чего определяют требования точности корпусной детали?
6. Какие материалы используют для изготовления корпусов?
7. Какими способами получают заготовки для изготовления корпусов?
8. В условиях какого производства в качестве заготовок применяют отливки?
9. Назовите основные способы получения заготовок – отливок.
10. Какие материалы применяют для получения сварных заготовок?
11. Назовите преимущества и недостатки литых и сварных заготовок.
12. Каким форматом записи определяют точность заготовок отливок?
13. Когда и с какой целью выполняют разметку заготовки корпуса?
14. Назовите типовой технологический маршрут изготовления корпуса?
15. С какой целью выполняют построение схемы связи поверхностей корпуса?
16. Как осуществляется построение схемы связи поверхностей корпуса?
17. Исходя из каких соображений выбирают технологические базы для обработки большинства поверхностей корпуса?
18. Какие задачи решают при выборе технологических баз для выполнения первой операции?
19. Объясните методику выявления технологических размерных цепей.
20. Назовите параметры корпуса, которые могут быть рассчитаны как замыкающие звенья технологических размерных цепей.
21. Какие параметры принимают в качестве составляющих звеньев технологических размерных цепей?
22. Какие технологические задачи решают путем выявления и расчета технологических размерных цепей?
23. Назовите возможные методы обработки наружных поверхностей корпусных деталей.
24. Назовите методы обработки главных отверстий корпусных деталей.
25. Назовите методы обработки мелких и резьбовых отверстий.
26. Какое станочное оборудование применяют для обработки наружных поверхностей корпусных деталей?

27. Какое станочное оборудование применяют для обработки главных и мелких отверстий корпусных деталей?
28. Назовите методы отделки плоских поверхностей и главных отверстий корпусных деталей.
29. Как можно измерить соосность двух главных отверстий?
30. Как оценить отклонение от параллельности одной поверхности относительно другой, принятой за базу?
31. Как измерить точность положения отверстия относительно базовой плоскости?
32. Как измерить точность расстояния между осями двух отверстий?
33. Как измерить отклонение от параллельности оси одного отверстия относительно другого?

ГЛАВА 7. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

7.1. Требования технологичности корпусных деталей и их заготовок

При разработке технологического процесса изготовления корпусной детали на автоматизированных системах необходимо проанализировать конструкцию корпусной детали с точки зрения ее технологичности и особенностей обработки на этих системах. Наиболее технологичной считают конструкцию корпусной детали, отвечающую следующим требованиям.

1. Наличие удобных технологических баз, обеспечивающих требуемую ориентацию и надежное закрепление детали на станке при возможности обработки ее с нескольких сторон и свободного подвода инструмента к обрабатываемым поверхностям.

2. Простота геометрической формы обрабатываемой детали, позволяющая обрабатывать большинство ее поверхностей с одной установки.

3. Наружные поверхности детали должны иметь открытую форму, обеспечивающую возможность обработки напроход в направлении подачи.

4. Обрабатываемые поверхности приливов и платиков на соответствующих наружных сторонах детали желательно располагать в одной плоскости.

5. В конструкции детали следует избегать наклонного расположения обрабатываемых поверхностей, наличия фасонных участков, сложных уступов и пазов, прерывающих плоские поверхности и отверстия.

6. Главные отверстия, требующие точной обработки, необходимо делать гладкими сквозными с минимальным числом ступеней, что позволяет выполнять обработку напроход с меньшим числом инструментов.

7. Отверстия, расположенные на одной оси в противоположных стенках, желательно назначать одного диаметра.

8. При наличии на одной оси нескольких отверстий их диаметральные размеры должны уменьшаться от внешней стенки к середине детали. Наиболее точные отверстия желательно располагать на внешних стенках.

9. Отверстия следует выполнять перпендикулярно к плоским поверхностям; при наличии наклонных отверстий расположение их осей должно быть доступно для обработки при повороте вращающегося стола с закрепленной заготовкой.

10. В конструкции детали избегать обрабатываемых внутренних торцовых поверхностей и бобышек, требующих прерывания цикла и установки инструмента изнутри при отсутствии специальных механизмов радиальной подачи.

11. Обрабатываемые поверхности детали располагать в доступных для обработки плоскостях, которые могут быть обращены к шпинделю при последовательном повороте стола с заготовкой на определенный угол.

12. Крепежные отверстия желательно назначать одинаковых размеров с возможностью нарезания в них резьбы метчиками, что позволяет использовать стандартные циклы обработки.

13. Деталь должна иметь достаточную жесткость и прочность, при которых исключается возможность вибрации в процессе обработки или недопустимого деформирования от сил резания и закрепления.

При анализе возможности производительной обработки корпусной детали необходимо рассматривать отдельные комплексы поверхностей отдельно, затем анализировать возможность их сочетания и на следующем этапе различные варианты их относительно положения в

корпусной детали. В результате можно оценить технологичность корпусной детали и дать рекомендации по выбору наиболее технологичных конструктивных решений.

При анализе на технологичность необходимо учитывать особенности станков с ЧПУ и многоцелевых станков. Эти особенности определяются в первую очередь компоновкой станка, наличием поворотного или глобусного стола, подкладных плит и другой технологической оснастки, а также принятой в станке системой отсчета координат. Например, если на станке есть только крестовый стол, то можно без переустановки обрабатывать корпусные детали с параллельными стенками. Наличие поворотного стола при горизонтальном расположении шпинделя значительно расширяет технологические возможности обработки корпусных деталей, так как представляется возможным осуществлять обработку со стороны поверхностей, расположенных под различными углами. Отдельные геометрические комплексы (сочетания определенных поверхностей одной детали) следует рассматривать с точки зрения возможности их получения с наименьшим числом переходов, а следовательно, с наименьшим числом замен необходимого режущего инструмента. При этом целесообразно применение стандартного, а не специального по конструкции режущего инструмента. Однако при определенной серийности деталей не исключается возможность применения специального инструмента, в том числе сменных многошпиндельных головок. Таким образом, при анализе технологичности детали необходимо учитывать требования, соблюдение которых позволяет значительно уменьшить затраты времени на выполнение операций.

Отдельного рассмотрения требует вопрос правильной простановки и увязки размеров в корпусных деталях. Правильная и обоснованная простановка размеров и допусков возможна на основе понимания служебного назначения изделия и тщательного анализа существующих размерных связей.

При изготовлении корпусной детали на станке с ЧПУ требуется пересчет размеров, определяющих точность расстояния и относительного поворота, к единой системе координат, соответствующей принятому комплексу технологических баз. Чертеж детали содержит исходную информацию для составления управляющей программы, на основе которой может быть изготовлена деталь. При обработке на станках с ЧПУ траектория относительного перемещения детали и режущего инструмента формируется

по командам в опорных точках, заданных в прямоугольной системе координат. В соответствии с этим размеры в чертежах следует задавать в прямоугольной системе координат. Для этого выбирают начало систем координат и направления осей системы координат детали, которые должны совпадать с направлением осей координат станка при введении детали в технологическую систему. При этом желательно, чтобы технологические базы заготовки соответствовали координатным плоскостям станка, что существенно упрощает ориентацию детали и повышает точность установки.

В отдельных случаях следует отказаться от принятых схем простановки размеров. Например, положение крепежных отверстий относительно основного отверстия обычно принято задавать радиусом и центральным углом между их осями. Более удобным будет задание положения отверстий координатным методом, когда за начало координат выбрана ось основного отверстия (рис. 7.1, а).

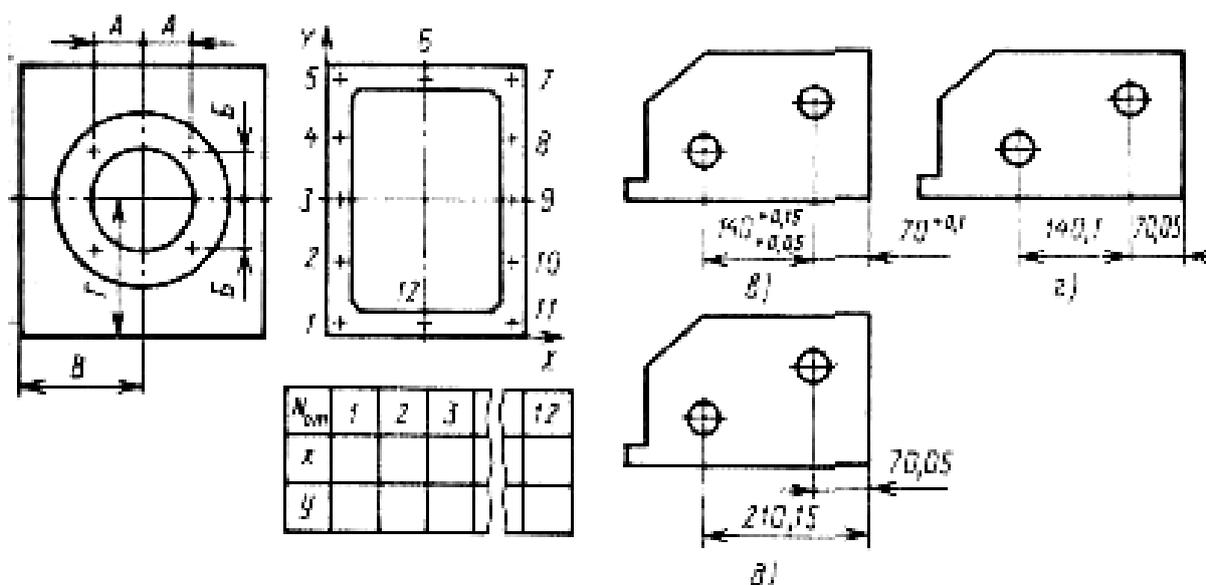


Рис. 7.1. Схемы простановки и пересчета размеров корпусных деталей: а – задание положения крепежных отверстий координатными размерами; б – задание положения крепежных отверстий с помощью таблиц; в – задание размеров в чертеже; г – пересчет размеров при программировании в приращениях; д – пересчет размеров при программировании в абсолютной системе

Когда деталь имеет большое число крепежных отверстий, указание координатами центра каждого из них приводит к затруднению в чтении чертежей. В этом случае целесообразно применять табличный метод задания размеров, который удобен для программирования (рис. 7.1, б). При

обработке по программе, когда все перемещения инструментов задаются по их координатам, возникает необходимость иметь информацию и о тех размерах, которые обычно не наносят на чертежи.

В общем случае простановка размеров на чертежах деталей, обрабатываемых на автоматизированных системах, должна быть такой, чтобы при подготовке управляющей программы необходимость в их пересчете была минимальной.

Поле рассеяния размеров при обработке на станках с ЧПУ расположено симметрично относительно номинальных значений, поэтому программируемые размеры с несимметричными допусками должны быть пересчитаны с учетом заданных в чертеже отклонений. Например, в чертеже задан размер $140_{-0,05}^{+0,15}$ (рис. 7.1, $e - d$), который при программировании пересчитывается: $140 + (0,15 + 0,05)/2 = 140,10$ мм.

В системах ЧПУ предусмотрены два способа задания координатных перемещений: в абсолютных значениях и в приращениях, что позволяет программировать перемещения непосредственно по чертежу. Для этого размеры в чертежах следует задавать в прямоугольной системе координат. На рис. 7.1, $e - d$ показаны схемы простановки и пересчета размеров детали при задании размеров в приращениях и в абсолютной системе координат.

Обрабатывать заготовки с большими припусками на точных и дорогостоящих станках, каковыми являются многоцелевые станки, нецелесообразно. Это объясняется необходимостью сохранения высокой точности станков, требованием наиболее эффективного использования дорогостоящего оборудования и спецификой технологического процесса на автоматизированных участках. В условиях автоматизированного производства деление операций, выполняемых на одних и тех же станках, на обдирочные и чистовые, а также прерывание автоматического цикла с целью выполнения таких операций, как искусственное старение детали, крайне нежелательно. Операцию искусственного старения с этой целью следует осуществлять на первых этапах технологического процесса до поступления заготовки на автоматизированный участок. В соответствии с изложенным заготовки корпусных деталей, обрабатываемых на автоматизированных участках, должны быть достаточно точными и иметь сравнительно небольшие припуски, отвечающие условиям получисто-

вой и чистовой обработки. Этим требованиям отвечают отливки первого и частично второго класса точности.

Требования к литейным базам определяются в первую очередь задачами базирования. Это означает необходимость гарантированного обеспечения требуемой точности установки всех обрабатываемых в партии деталей.

7.2. Выбор технологических баз

При обработке деталей на станках с ЧПУ и многоцелевых станках, выполняющих технологические переходы в автоматическом цикле, производят упрощенную разметку с целью обеспечения технологических баз, по которым устанавливают деталь на спутниках или в простейших приспособлениях, собранных из унифицированных элементов. На рис. 7.2 представлена схема установки на спутнике корпусной детали, базируемой по трем координатным плоскостям. Деталь опирается на четыре винтовые опоры, регулируя которые добиваются параллельного расположения и определенного расстояния между размеченной горизонтальной плоскостью XOY , служащей установочной базой, и рабочей поверхностью спутника. Используя две осевые риски, представляющие соответственно след координатных плоскостей направляющей YOZ и опорной XOZ баз, добиваются требуемой ориентации детали по двум другим базирующим плоскостям. Для выставки детали на спутник устанавливают специальные ориентиры или используют универсальные измерительные

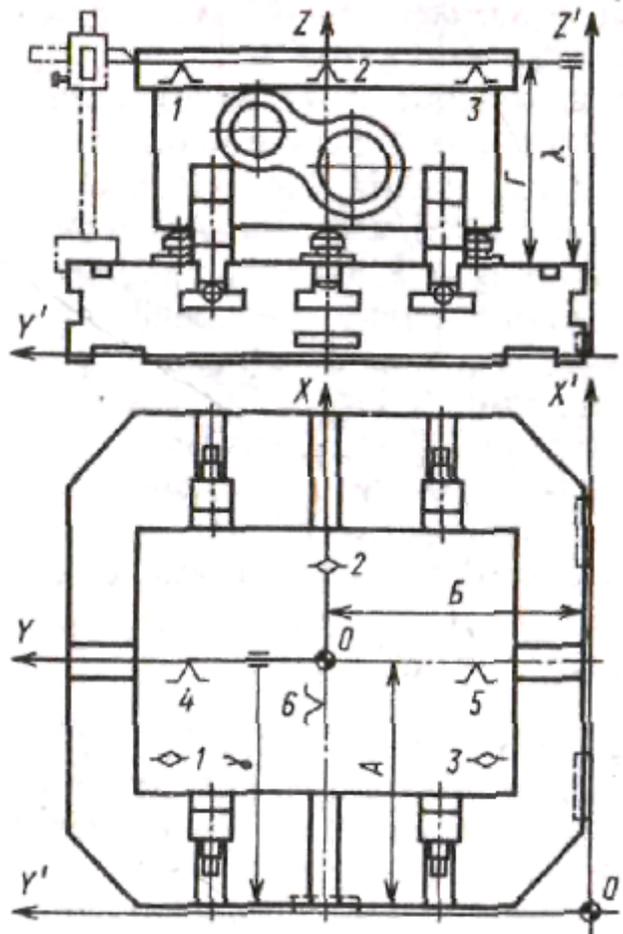


Рис. 7.2. Схема установки заготовки на спутнике с использованием рисок разметки

средства, с помощью которых определяют требуемое расстояние от измерительных баз спутника до рисок разметки. В результате координатная система технологических баз детали $OXYZ$ займет требуемое положение относительно координатной системы основных баз спутника $O'X'Y'Z'$.

Погрешность установки детали по разметке $\omega_y = (a_y, b_y, c_y, \lambda_y, \beta_y, \gamma_y)$ для параметров смещения (a_y, b_y, c_y) составляет $0,5 \dots 1$ мм, а для параметров поворота $(\lambda_y, \beta_y, \gamma_y) - 0,3/300 \dots 0,8/300$.

Для повышения точности и сокращения времени на выполнение разметки применяют специальные координатно-разметочные машины (рис. 7.3). Такая машина имеет разметочную плиту и связанную с ней трехкоординатную измерительную систему с электроконтактным щупом, фиксирующим момент соприкосновения наконечника с заготовкой. Измерительный щуп легко перемещается в направлении трех координатных осей, и в момент его контакта с деталью на табло высвечиваются координаты (x_i, y_i, z_i) измеряемой точки. Наличие в системе отсчета «плавающих нулей» позволяет находить координаты измеряемой точки в системе $oxuz$ координат разметочной машины или в любой другой параллельной координатной системе $o'x'y'z'$, принятой за базу. Применение на координатно-разметочной машине встроенного микропроцессора позволяет автоматически выполнять следующие технологические расчеты.

1. По координатам двух измеренных точек $A_1(x_1, y_1, z_1), A_2(x_2, y_2, z_2)$ определять положение прямой в выбранной системе координат – расстояния (L_x, L_y, L_z) и повороты относительно рассматриваемых поверхностей.

2. По координатам трех точек $A_1(x_1, y_1, z_1), A_2(x_2, y_2, z_2), A_3(x_3, y_3, z_3)$, принадлежащим одной плоской поверхности, можно определять составляющие вектора $\omega_y = (a_y, b_y, c_y, \lambda_y, \beta_y, \gamma_y)$, соответствующие расстояния и углы поворота рассматриваемой поверхности относительно другой плоскости, принятой за базу. При этом учитывается функциональная связь трех видов геометрических отклонений.

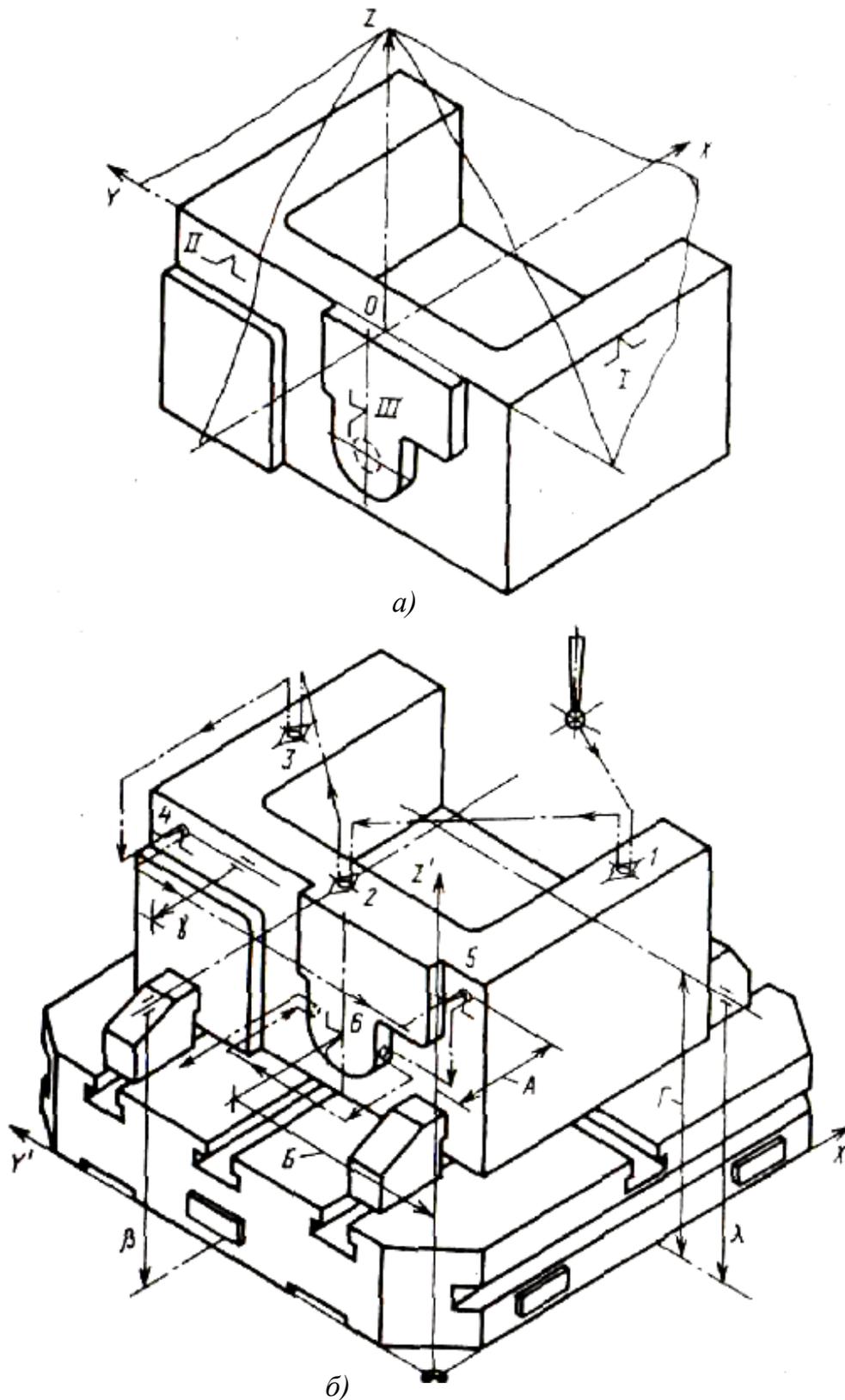


Рис. 7.3. Схема точной установки заготовки на спутнике с использованием координатно-измерительной машины: а – координатные системы баз заготовки; б – измерение положения заготовки в процессе установки

Для горизонтальной плоскости, параллельной плоскости XOY , расчетные формулы, определяющие значения параметров $(c_y, \lambda_y, \beta_y)$, имеют вид:

$$\begin{vmatrix} c_y \\ \lambda_y \\ \beta_y \end{vmatrix} = \frac{1}{C} \begin{vmatrix} (x_2y_3 - x_3y_2) & (x_3y_1 - x_1y_3) & (x_1y_2 - x_2y_1) \\ (x_3 - x_2) & (x_1 - x_3) & (x_2 - x_1) \\ (y_3 - y_2) & (y_1 - y_3) & (y_2 - y_1) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \Delta z_1 \\ \Delta z_2 \\ \Delta z_3 \end{vmatrix},$$

где C – определитель $C = \begin{vmatrix} 1 & y_1 & -x_1 \\ 1 & y_2 & -x_2 \\ 1 & y_3 & -x_3 \end{vmatrix}$;

(x_i, y_i) – плановые координаты точек измерения;

$(\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3)$ – отклонения координат точек измерения по нормали к рассматриваемой поверхности.

Измерив расположенные по периметру координаты четырех точек отверстия в отливке, можно определить координаты его центра и фактический диаметр. Положение оси отверстия в заготовке (координаты его центра и два угла относительного поворота) определяют путем измерения в двух сечениях координаты восьми точек, расположенных на цилиндрической поверхности отверстия. Использование координатно-разметочных машин позволяет в ряде случаев исключить разметку или существенно ее упростить. Указанные на чертеже корпусной детали базы разметки в данном случае выполняют роль технологических баз детали, которые используют при точной установке заготовки на спутнике.

Базами разметки корпусной детали (рис. 7.3, а) являются поверхность основания (плоскость XOY) – установочная; базовая поверхность детали (плоскость YOZ) – направляющая; плоскость симметрии прилива для главного отверстия (плоскость XOZ) – опорная. Задача заключается в том, чтобы путем измерения положения координатной системы $OXYZ$ баз разметки так расположить деталь относительно координатной системы $O'X'Y'Z'$ баз спутника, чтобы обеспечить получение требуемой точности размеров и относительных поворотов поверхностей деталей, получаемых на первой операции.

Схема измерения положения детали по указанным базам разметки представлена на рис. 7.3, б. Началом отсчета считаются координатные плоскости основных баз спутника или связанные с ними специально

создаваемые измерительные базы. Положение детали по установочной базе оценивается путем измерения отклонений ($\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3$) в трех точках поверхности основания: 1 ($x_1, y_1, \Delta z_1$), 2 ($x_2, y_2, \Delta z_2$), 3 ($x_3, y_3, \Delta z_3$).

При допускаемых предельных значениях погрешности установки $C_y^B, \lambda_y^B, \beta_y^B$ и $C_y^H, \lambda_y^H, \beta_y^H$ отклонения в точках измерения не должны превышать:

верхнего $\Delta_{Z_i}^B \leq C_y^B + y\lambda_y^B - x\beta_y^H$ и
нижнего $\Delta_{Z_i}^H \leq C_y^H + y\lambda_y^H - x\beta_y^B$ значений,

где x, y – наибольшие координаты краевых точек поверхности установочной базы.

Для точной установки детали по направляющей базе (координатная плоскость YOZ) измерения необходимо выполнять в двух точках поверхности направляющей базы 4 ($\Delta x_4, y_4, z_4$) и 5 ($\Delta x_5, y_5, z_5$). Для достижения точности установки в пределах $(a_y^B, a_y^H), (\gamma_y^B, \gamma_y^H)$ отклонения в точках измерения не должны превышать:

$$\Delta_{Z_i}^B \leq a_y^B - y\gamma_y^H \quad \text{и} \quad \Delta_{X_i}^H \geq a_y^H + y\gamma_y^B,$$

где y – наибольшее значение координаты по направляющей базе.

Точность установки детали по опорной базе (координатная плоскость XOZ) оценивается путем измерения отклонения в точке 6 ($x_6, \Delta y_6, z_6$). Так как опорная база располагается по оси симметрии прилива, то измерение выполняют с обеих сторон прилива (в двух точках). Среднее отклонение составит $\Delta y_6 = 0,5 (\Delta y_6' + \Delta y_6'')$. Оно не должно превышать значений $b_{y_i}^H \leq \Delta y_6 \leq b_{y_i}^H$.

7.3. Особенности построения технологического процесса изготовления корпусных деталей в автоматизированном производстве

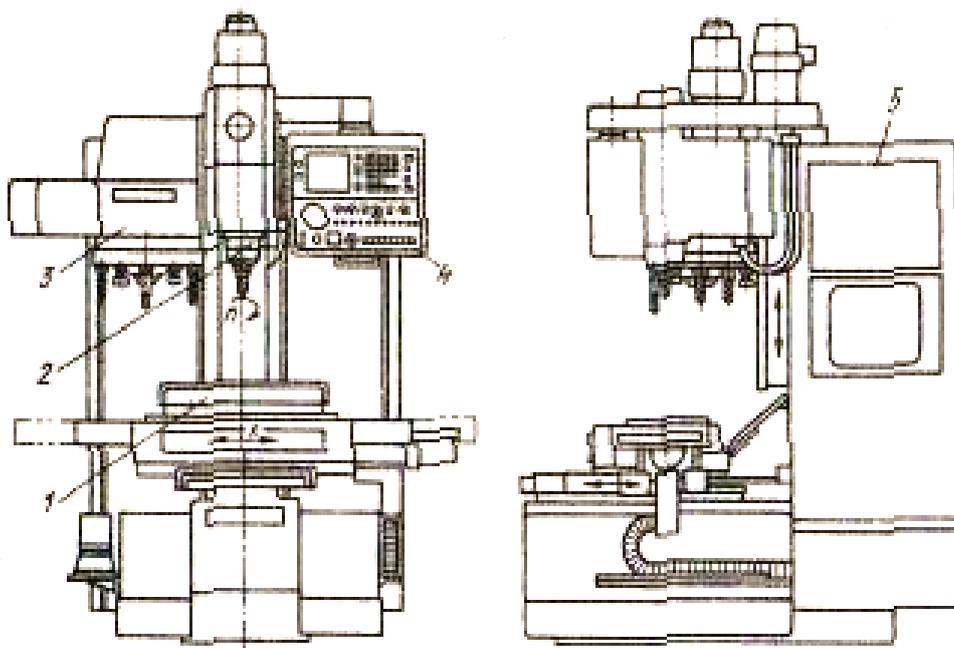
Эффективное средство повышения производительности – автоматизация и механизация технологических и вспомогательных процессов, выполняемых на различных этапах изготовления изделий. Если автоматизация крупносерийного и массового производства идет по пути создания специальных автоматических линий, станков-автоматов и полуавтоматов, работающих по жесткому циклу, то автоматизация мелкосерийного производства требует создания гибких технологических систем, способных автоматически переходить с обработки деталей одного типоразмера на другой. В решении этих задач основную роль играют станки с ЧПУ и многоцелевые станки, объединение которых в еди-

ную технологическую систему, связанную автоматическим транспортом, позволяет создать высокоэффективные гибкие производственные системы, управляемые от ЭВМ [15, 16, 29, 30]. Для изготовления корпусных деталей в условиях крупносерийного производства также создаются переналаживаемые автоматические линии из станков со сменными многошпиндельными головками.

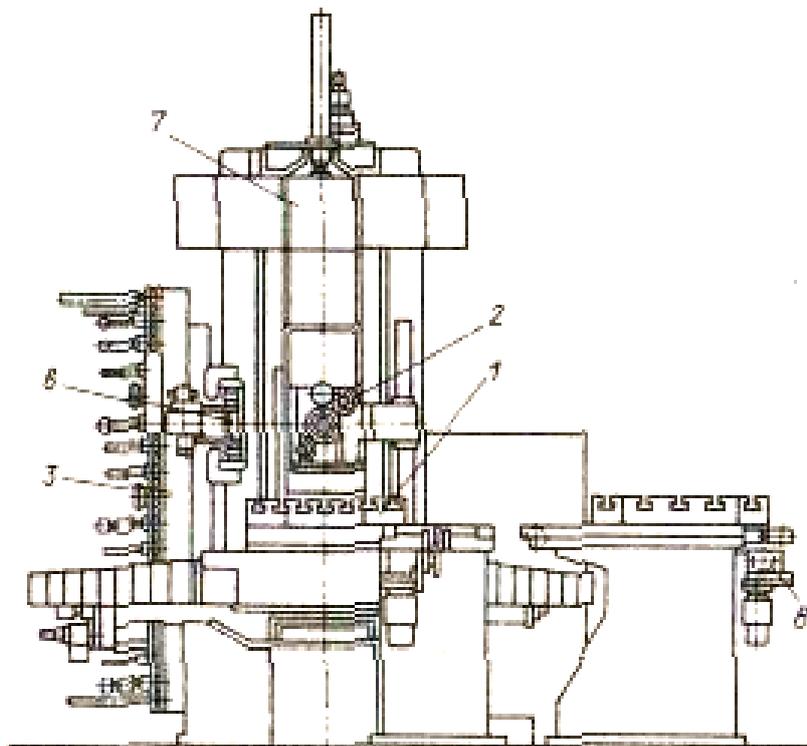
Высокопроизводительные многоцелевые станки, осуществляющие по программе автоматическую замену заготовок и режущего инструмента, позволяют с одной установки практически полностью обработать корпусную деталь с четырех-пяти сторон. Наличие на станках многоинструментальных магазинов с широким набором режущего инструмента дает возможность автоматически выполнять на одной или нескольких рабочих позициях с одной установки заготовки различные технологические переходы по обработке плоских и фасонных поверхностей, главных и крепежных отверстий, по нарезанию резьб и получению требуемых пазов и выточек. При этом можно производить такие работы, как фрезерование плоских поверхностей детали и фрезерование по контуру, координатное сверление, растачивание, нарезание резьбы. Станок управляется по программе, записанной на соответствующем программном носителе или передаваемой от ЭВМ. Программа меняется в течение 1,5...4 мин.

Детали на многоцелевых станках базируются на столе станка или в приспособлениях простейшего типа без направляющих втулок для инструмента. Таким образом, требуемая точность детали должна обеспечиваться непосредственно технологической системой. Это обстоятельство обуславливает необходимость изготовления этих станков с высокой точностью и оснащения их адаптивными системами, обеспечивающими автоматическое управление точностью и производительностью обработки при длительной автономной работе оборудования.

Для обработки деталей с разных сторон на многоцелевых станках применяют точные поворотные столы, позволяющие по программе поворачивать деталь на требуемый угол. Для повышения эффективности использования станка в ряде случаев применяют сменные столы или спутники, позволяющие установить заготовку в процессе обработки, совмещая тем самым основные и вспомогательные переходы во времени. Многоцелевые станки имеют различные компоновки с одним или несколькими шпинделями, многопозиционными револьверными головками и магазинами, содержащими от 30 до 100 различных режущих инструментов (рис. 7.4).



a)



б)

Рис. 7.4. Многоцелевые станки: а – с вертикальным расположением шпинделя; б – с горизонтальным расположением шпинделя; 1 – стол станка; 2 – шпиндель; 3 – инструментальный магазин; 4 – пульт управления с дисплеем и клавиатурой для свободного программирования; 5 – стойка системы ЧПУ; 6 – манипулятор автоматической смены инструмента; 7 – магазин многошпиндельных головок; 8 – механизм замены столов спутников

Инструмент в шпинделе по ходу технологического процесса заменяется автоматически в течение 6...10 с. Для выбора соответствующего инструмента применяют кодирование инструментальных гнезд или инструментальных оправок. Применение одного такого станка позволяет заменить несколько универсальных станков – фрезерных, сверлильных, расточных. При этом в результате автоматизации цикла обработки, автоматической замены инструмента и заготовки происходит сокращение вспомогательного времени и повышение производительности обработки в 3...5 и более раз.

Особенности технологического процесса обработки корпусных деталей в автоматизированном производстве

Построение технологического процесса изготовления корпусных деталей на многоцелевых станках и автоматизированных участках имеет свои особенности. Выявление и учет этих особенностей имеют определяющее значение для достижения требуемой точности детали и эффективного использования дорогостоящего станочного оборудования.

Одной из главных особенностей построения технологических процессов на многоцелевых станках и автоматизированных участках является максимальная концентрация последовательно выполняемых по программе технологических переходов с применением различного режущего инструмента при наиболее полном использовании принципа единства баз (рис. 7.5). Важным технологическим преимуществом считается достижение высокой точности относительного положения поверхностей заготовки, обрабатываемых с одной установки при использовании различного режущего инструмента. Объясняется это следующим.

1. При обработке нескольких поверхностей с одной установки погрешность установки не влияет на точность их относительного положения.

2. Геометрическая точность станка и точность позиционирования обеспечивают высокую точность и стабильность статической настройки, получаемой в автоматическом цикле по заданной программе.

Применение многоцелевых станков и автоматизированных участков значительно расширяет возможности выполнения полной обработки детали с одной установки при базировании ее по не-

обрабатываемым поверхностям. Структура построения технологического процесса в этом случае существенно упрощается. Полная обработка детали может быть выполнена на одном или нескольких (двух, трех) многоцелевых станках. Обработка осуществляется без перезакрепления заготовки на одном спутнике, который последовательно переходит с одного станка на другой. При выборе технологических баз необходимо исходить из задач, решаемых на первой операции, – достижение требуемого положения обрабатываемых поверхностей относительно необрабатываемых и обеспечение равномерного припуска по обрабатываемым поверхностям. Выполнение на станках рабочих переходов происходит в следующей последовательности: вначале производят предварительное и окончательное фрезерование плоских поверхностей, затем обрабатывают главные отверстия – сверлят, зенкеруют, растачивают и развертывают, а в заключении обрабатывают мелкие отверстия – сверлят, зенкеруют, снимают фаски и нарезают метчиками резьбу.

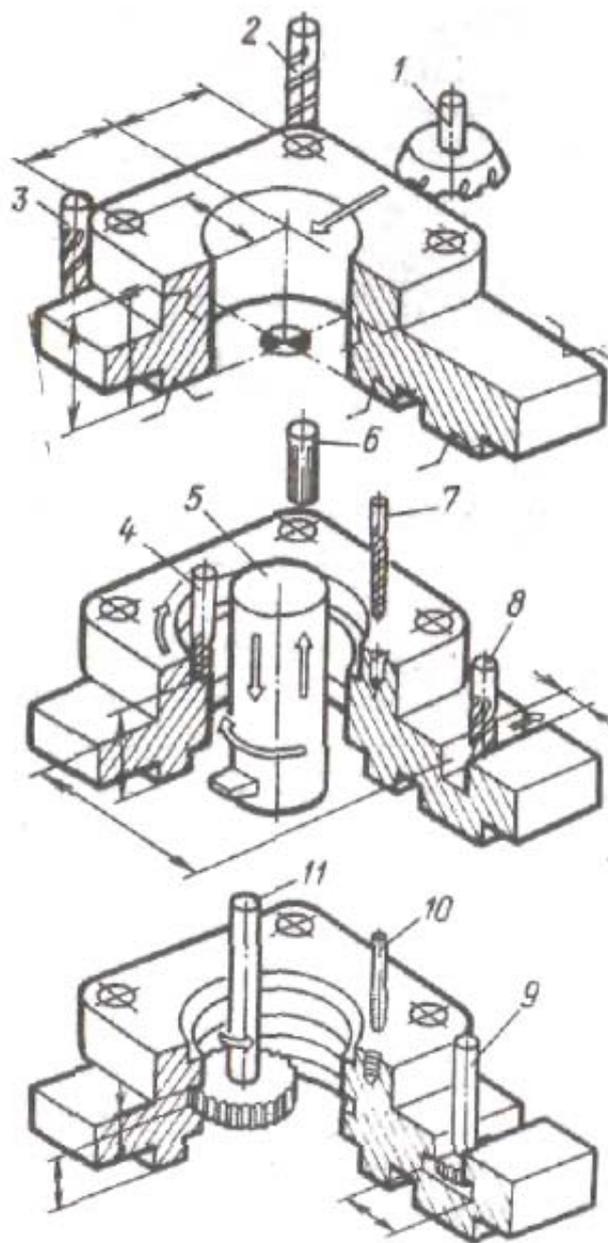


Рис. 7.5. Схема технологических переходов, выполняемых при изготовлении корпусной детали с одной установки на многоцелевом станке вертикальной компоновки: 1 – фрезерование плоскости; 2 – сверление мелких отверстий; 3 – фрезерование по контуру; 4 – круговое фрезерование отверстия; 5 – растачивание главного отверстия; 6 – развертывание; 7 – сверление резьбовых отверстий; 8 – фрезерование паза; 9 – фрезерование Т-образного паза; 10 – нарезание резьбы метчиком; 11 – фрезерование круговых канавок в отверстии

Для исключения влияния погрешности установки наиболее ответственные поверхности детали, между которыми проставлены размеры с жесткими допусками, следует обрабатывать на одном станке с одной установки спутника. Это относится в первую очередь к обработке главных отверстий, где необходимо обеспечить высокую точность относительного расположения осей и межосевых расстояний, а также требуемую перпендикулярность расположения торцовых поверхностей относительно осей главных отверстий. Эта задача возникает также при обработке с одной установки комплекта основных баз детали (плоскости и двух базовых отверстий или трех базовых поверхностей), а также при необходимости точного расположения комплекта вспомогательных баз детали относительно ее основных баз.

Влияние погрешности установки спутника на точность относительного положения поверхностей, полученных при обработке на двух станках, можно определить заранее путем расчета. Например, если главное отверстие обрабатывается на одном многоцелевом станке, а сверление и нарезание резьбы, расположенных на торце резьбовых отверстий, выполняется на другом станке, то погрешность установки спутника $\omega_y = (a_y, b_y, c_y, \lambda_y, \beta_y, \gamma_y)$ будет непосредственно влиять на смещение центра резьбовых отверстий относительно оси главного отверстия (рис. 7.6). Смещение по трем координатам ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$) можно определить по формуле приведенной погрешности установки:

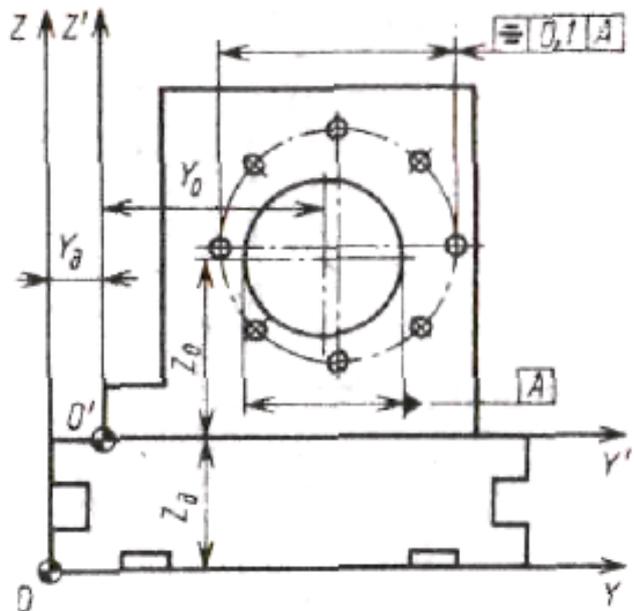


Рис. 7.6. Влияние погрешности установки спутника на точность положения поверхностей, обработанных на двух разных станках

Смещение по трем координатам ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$) можно определить по формуле приведенной погрешности установки:

$$\begin{vmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_y \\ b_y \\ c_y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & -\gamma_y & \beta_y \\ \gamma_y & 0 & -\lambda_y \\ -\beta_y & \lambda_y & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix}, \quad (7.1)$$

где X, Y, Z – координаты отверстия в системе координат спутника.

Координаты X, Y, Z зависят от положения ноля детали на спутнике (X_0, Y_0, Z_0) и от положения отверстия в системе координат детали (X_o, Y_o, Z_o)

$$X = X_0 + X_o; \quad Y = Y_0 + Y_o; \quad Z = Z_0 + Z_o.$$

При необходимости определения предельных отклонений ($\Delta_X^B, \Delta_Y^B, \Delta_Z^B$), в формулу (7.1) следует подставить соответствующие матрицы угловых преобразований для верхних π^e и нижних π^H отклонений

$$\pi_y^B = \begin{vmatrix} 0 & -\gamma_y^H & \beta_y^B \\ \gamma_y^B & 0 & -\lambda_y^H \\ -\beta_y^H & \lambda_y^B & 0 \end{vmatrix} \quad \pi_y^H = \begin{vmatrix} 0 & -\gamma_y^H & \beta_y^H \\ \gamma_y^H & 0 & -\lambda_y^B \\ -\beta_y^B & \lambda_y^H & 0 \end{vmatrix} \quad (7.2)$$

Если обработка детали с одной установки не возможна, то в структуру выполнения технологического процесса включают следующие этапы.

1. Обработка на первой операции комплекса поверхностей, используемых в дальнейшем в качестве технологических баз для получения большинства поверхностей детали.

2. Обработка практически всех поверхностей детали с общих технологических баз, полученных на первой операции.

Таким образом, между первым и вторым этапом происходит организованная смена баз, т. е. переустановка детали на обработанные поверхности. В качестве общих технологических баз могут быть приняты как основные базы детали, так и другие удобные для этого поверхности, геометрические параметры которых отвечают требованиям выбора баз детали. Для создания удобных технологических баз на детали иногда предусматривают специальные технологические приливы, платики, которые обрабатывают на первой операции. Наиболее удобные технологические базы для большинства операций следующие: 1) три плоскости, образующие координатный угол (базирование по трем плоскостям); 2) плоскость и два отверстия (базирование по плоскости и двум штырям); 3) плоскость и одно отверстие сравнительно большого диаметра, обеспечивающие схему базирования по плоскости, центрирующему бурту и опорной базе.

Эти схемы базирования получили наибольшее распространение. Таким образом, основной задачей первой операции при изготовлении деталей на автоматизированных участках является подготовка удобных технологических баз, обеспечивающих возможность осуществления

всей последующей обработки поверхностей деталей с единых поверхностей. Решение этой задачи обеспечивает наиболее полное использование принципа единства баз, в результате чего до минимума сокращается влияние погрешности установки на точность обработки.

Базирование корпусной детали на первой операции при создании технологических баз можно осуществлять путем предварительной выверки детали по разметке. Возможна также установка заготовки на спутник без нанесения разметки, а путем выверки ее положения с помощью координатно-измерительных машин. В тех случаях, когда имеют место точные заготовки, возможно выполнять операцию по подготовке баз без применения разметки, т. е. осуществлять базирование по необработанным поверхностям. В отличие от обычного производства в данном случае имеет место упрощенная разметка корпусных деталей, которая выполняется на одной из первых операций и используется только для достижения требуемой точности установки заготовки на спутнике. Иными словами, разметка используется для совмещения начала отсчета детали с началом отсчета координатной системы спутника и приспособления. В зависимости от решаемых технологических задач выбираемые базы разметки позволяют добиться равномерного распределения припуска при обработке главных отверстий сравнительно нежестким консольным инструментом, а также обеспечить равномерность толщины стенки или буртика с учетом достижения требуемой точности положения обрабатываемых поверхностей относительно поверхностей, не подлежащих обработке. Правильное решение этих задач позволяет уменьшить число необходимых переходов, что повышает эффективность использования дорогостоящего оборудования.

Подготавливаемые на первой операции технологические базы должны обеспечить возможность последующей обработки заготовки с пяти сторон (четырех горизонтальных направлений и вертикального). При этом необходимо получить доступность режущего инструмента ко всем обрабатываемым поверхностям. Удобным технологическим решением этой задачи является использование подкладных плит или планок для реализации любой из приведенных выше схем базирования детали.

Так как на автоматизированных участках детали обрабатываются в автоматизированном цикле по принципу переменного-поточного про-

изводства от одних технологических баз, то прерывание процесса обработки между черновыми и чистовыми переходами нежелательно. Поэтому выполнение операции искусственного или естественного старения, обеспечивающей выравнивание внутренних напряжений, рекомендуется выносить в начало технологического процесса, т. е. до поступления детали на автоматизированную систему.

При разработке операционной технологии корпусную деталь необходимо рассматривать как определенный геометрический комплекс элементарных поверхностей, обрабатываемых по типовым технологическим схемам с использованием стандартных циклов. Формируемая при этом на каждом станке операция представляет собой комплексное сочетание фрезерных, сверлильных, расточных и других переходов.

При определении последовательности выполняемых технологических переходов необходимо исходить из задачи достижения требуемой точности и сокращения затрат вспомогательного времени на замену инструмента и на выполнение вспомогательных ходов.

У многих корпусных деталей на одной стороне может быть расположено несколько одинаковых поверхностей, например, отверстий одинакового диаметра, пазов одинаковой ширины или одинаковых по размерам плоскостей, требующих применения одного режущего инструмента. В этом случае, как правило, целесообразно одним инструментом последовательно обрабатывать все одинаковые поверхности, расположенные по одной стороне, а затем заменить режущий инструмент. Однако при больших размерах детали, когда время относительного перемещения с одной позиции на другую значительно больше, чем время на замену инструмента, целесообразно заменить инструмент и выполнить все переходы по обработке одной поверхности, а затем перейти к обработке другого участка детали.

При наличии на плоских поверхностях детали неравномерного или завышенного припуска фрезерование рекомендуется выполнять последовательно с применением фрез меньшего диаметра. Все это способствует уменьшению вибраций, сил резания и упругих перемещений, что благоприятно сказывается на точности обработки. Для уменьшения влияния увода сверл с целью достижения точности межцентровых расстояний и положения отверстий относительно базы перед сверлением отверстий рекомендуется выполнять зацентровку. Это особенно важно для отверстий диаметром более 12...15 мм, когда допуск на межцен-

тровое расстояние составляет менее 0,2...0,3 мм. Для зацентровки следует использовать сверла диаметром 10...12 мм, а также специальные центровочные сверла диаметром 4...10 мм. Для обработки группы крепежных отверстий целесообразно применять простейшие многошпиндельные сверлильные головки. Ступенчатые отверстия для повышения производительности следует обрабатывать настроенными резцовыми блоками или комбинированными зенкерами (рис. 7.7).

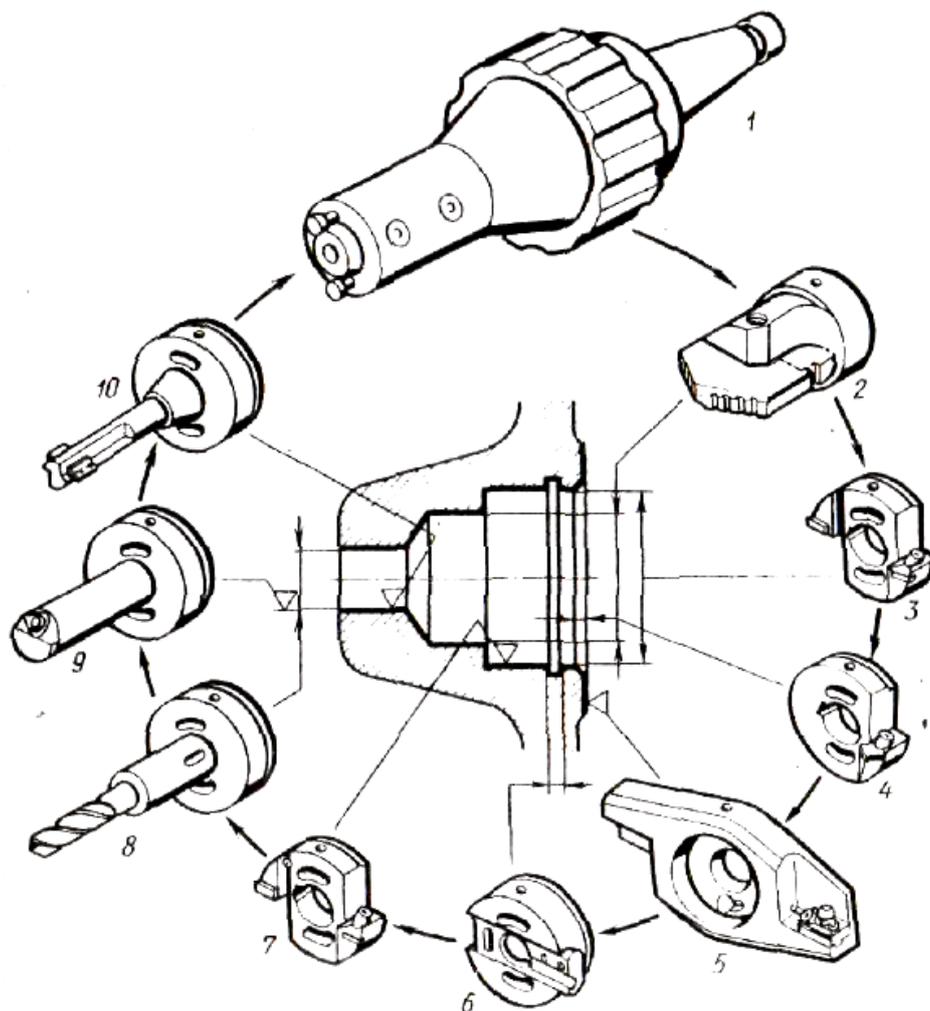


Рис. 7.7. Инструментальный набор для образования комбинированного инструмента при обработке ступенчатого отверстия: 1 – общая инструментальная оправка; 2 – первое сверло для предварительной обработки; 3 – расточной блок; 4 – резец для снятия фаски; 5 – резцовый блок для подрезки торца; 6 – резец для прорезки канавки; 7 – расточной блок для чистовой обработки; 8 – спиральное сверло; 9 – расточная оправка; 10 – развертка

При обработке отверстий, полученных литьем, в качестве первого перехода рекомендуется расточка резцом вместо зенкерования. Это по-

зволяет уменьшить отклонение оси отверстия, обусловленное неравномерным припуском на обработку. Для достижения точности положения оси отверстий большого диаметра (более 100 мм) вначале следует выполнять фрезерование отверстия по контуру концевой фрезой (планетарное фрезерование), а затем выполнять растачивание.

Для гарантированного обеспечения требуемой точности положения нескольких отверстий или плоскостей относительно одной базы все эти поверхности следует обрабатывать на одном станке за одну установку. Аналогично следует строить процесс при необходимости достижения требуемой соосности и параллельности осей отверстий, обрабатываемых с двух или нескольких сторон при повороте детали со спутником на столе станка.

Так как при обработке на станках невозможно применять поддерживающие кондукторы, то растачивание главных отверстий, требующих инструмента с большим вылетом, следует выносить на расточные станки за участок. В тех случаях, когда у детали имеется несколько соосных отверстий с уменьшающимися диаметрами, следует рекомендовать следующую схему обработки:

1) вначале полностью обработать ближайшие отверстия, добиваясь высокой точности их диаметральных размеров;

2) затем, используя специальные расточные оправки с промежуточной опорной втулкой, базирующейся по обработанному отверстию, обрабатывать внутренние отверстия меньшего диаметра.

Специальные расточные оправки устанавливаются в отверстие в автоматическом цикле. В результате расширяются технологические возможности и обеспечивается более высокая соосность отверстий. Выполнение сверлильных и расточных переходов без кондукторных втулок позволяет получать отверстия с малыми межосевыми расстояниями. Однако для обработки резьбовых отверстий менее М5 следует предусматривать специальный более жесткий инструмент или выносить эти переходы за пределы участка. Для уменьшения номенклатуры требуемого инструмента следует ужесточить требования к унификации при назначении диаметров отверстий и крепежных резьб в деталях, обрабатываемых на участках.

В автоматизированном серийном и мелкосерийном производстве для одновременной обработки группы отверстий применяют многоцелевые станки со сменными многошпиндельными головками

(рис. 7.8). На поворотной головке 1 расположены шесть различных многошпиндельных головок 3, предназначенных для обработки определенных заготовок. Для выполнения обработки требуемая головка выводится на рабочую позицию 4. Автоматическая замена многошпиндельных головок осуществляется на позиции 2. Для получения резьбовых отверстий на одной из сторон корпусной детали требуются две многошпиндельные головки. На первой многошпиндельной головке располагаются сверла, а на второй – метчики. Такие станки могут быть эффективно использованы как в ГПС, так и в виде отдельного оборудования.

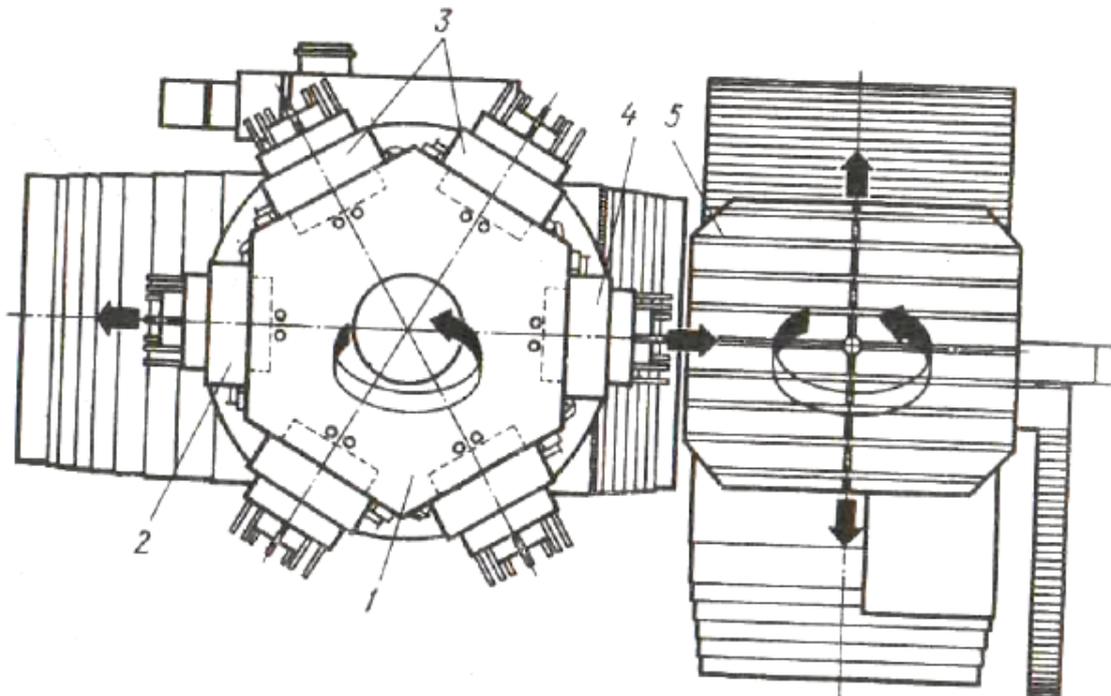


Рис. 7.8. Многоцелевой станок с набором сменных многошпиндельных головок: 1 – шестипозиционная поворотная головка; 2 – позиция установка и съема многошпиндельных головок; 3 – многошпиндельные головки; 4 – рабочая позиция; 5 – рабочий стол станка

7.4. Гибкие производственные системы для изготовления корпусных деталей

Автоматизированные участки из станков с ЧПУ и многоцелевых станков, предназначенных для изготовления корпусных деталей в мелкосерийном производстве, обладают широкими технологическими возможностями. На высокопроизводительных станках, связанных между собой гибким транспортом, автоматически меняются заготовки, режущий инструмент и обеспечивается практически полная автоматизация технологического процесса обработки корпусов.

Автоматизированным участком обычно управляют от ЭВМ, которая осуществляет диспетчирование, передачу на станки управляющей программы и управление ходом технологического процесса. В функции малочисленного обслуживающего персонала входят установка на спутники заготовок и съем деталей, периодический контроль, замена затупившегося режущего инструмента, общее наблюдение за ходом технологического процесса. На таких системах одновременно можно обрабатывать несколько различных корпусных деталей, и для вызова управляющей программы, необходимой для обработки установленной на спутнике заготовки, кодируют поступающие на станки спутники.

На рис. 7.9 представлена гибкая производственная система для обработки на спутниках корпусных деталей. Система состоит из четырех одинаковых многоцелевых станков 7 с горизонтальным расположением шпинделя. Станки расположены фронтально по линии. За станками размещено двухрядное устройство 2 на 56 позиций для складирования и оперативного хранения спутников и заготовок. Непосредственно за устройством складирования находятся две позиции 3 для установки заготовок и съема деталей со спутника. Перемещение и установка спутников с деталями в соответствующие ячейки склада осуществляется с помощью двух механизмов 1, которые обеспечивают также передачу спутников с деталями на четыре индивидуальных конвейера 8, связывающих автоматический склад со станками 7. Двухпозиционные поворотные манипуляторы 6 передают спутники с конвейера на рабочие позиции станков. На каждом из многоцелевых станков имеется по два манипулятора, обеспечивающих автоматическую смену режущего инструмента. Режущий инструмент хранится в многопозиционных цепных магазинах 5, расположенных между станками. Таким образом, на каждый из станков может быть поставлен инструмент из двух магазинов. Для замены инструментов в цепных магазинах имеется десятипозиционная каретка с манипулятором 4, которая автоматически перемещается вдоль участка. Использование широкой номенклатуры инструмента значительно расширяет технологические возможности участка. Управление участком происходит от ЭВМ 9.

Гибкая производственная система, созданная в Мосстанкине совместно с Оргстанкинпромом (рис. 7.9), предназначена для обработки корпусных деталей размером до 300 мм.

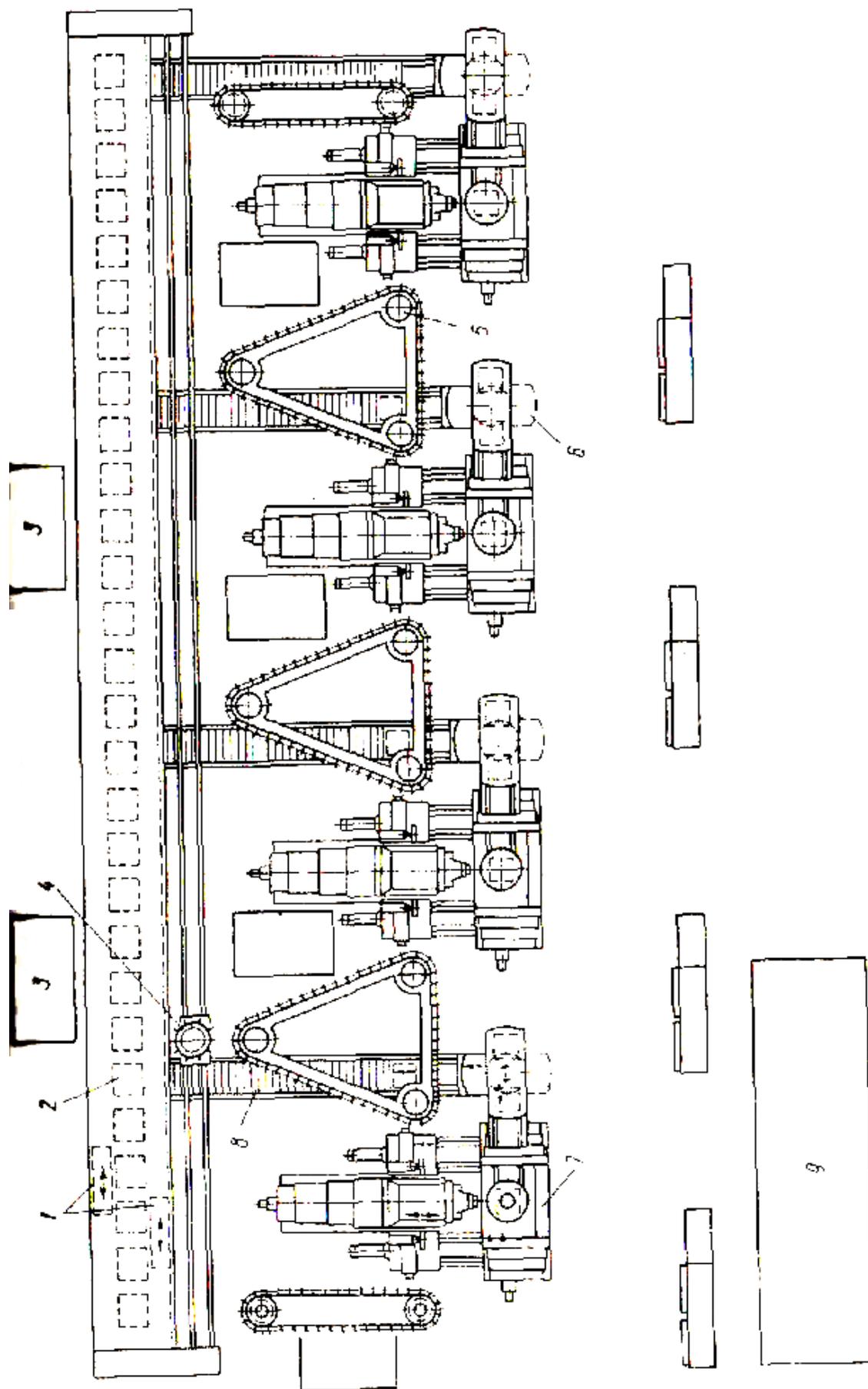


Рис. 7.9. Гибкая производственная система для обработки корпусных деталей

Система состоит из двух многоцелевых станков 6, 9 с вертикальным и горизонтальным шпинделями, монтажно-разметочного стола 5, двухпозиционной каретки-оператора 11 и двух промежуточных систем автоматической стыковки 8. Обработка и транспортирование корпусных деталей выполняются на спутниках. На монтажном столе монтируют на спутник элементы приспособления, устанавливают и закрепляют заготовку, здесь же производят переустановку заготовки и промежуточный контроль.

Каретка-оператор перемещается вдоль участка, занимает позиции I, II, III, обеспечивая передачу спутников с монтажного стола на станки и обратно. С каретки на станки спутники передаются через систему автоматической стыковки 8, которая выполняет также функции промежуточного накопителя. Для автоматической ориентации и закрепления спутника с деталью на станке применяют специальные приспособления. Базирование спутника в приспособлении осуществляется в координатный угол по схеме $T = (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \Delta y_4, \Delta y_5, \Delta x_6)$.

С промежуточной позиции системы стыковки спутник цепным механизмом подается в рабочую позицию приспособления и устанавливается на расстоянии 1...2 мм от базирующих поверхностей направляющей базы и 2...5 мм от опорной базы (рис. 7.10).

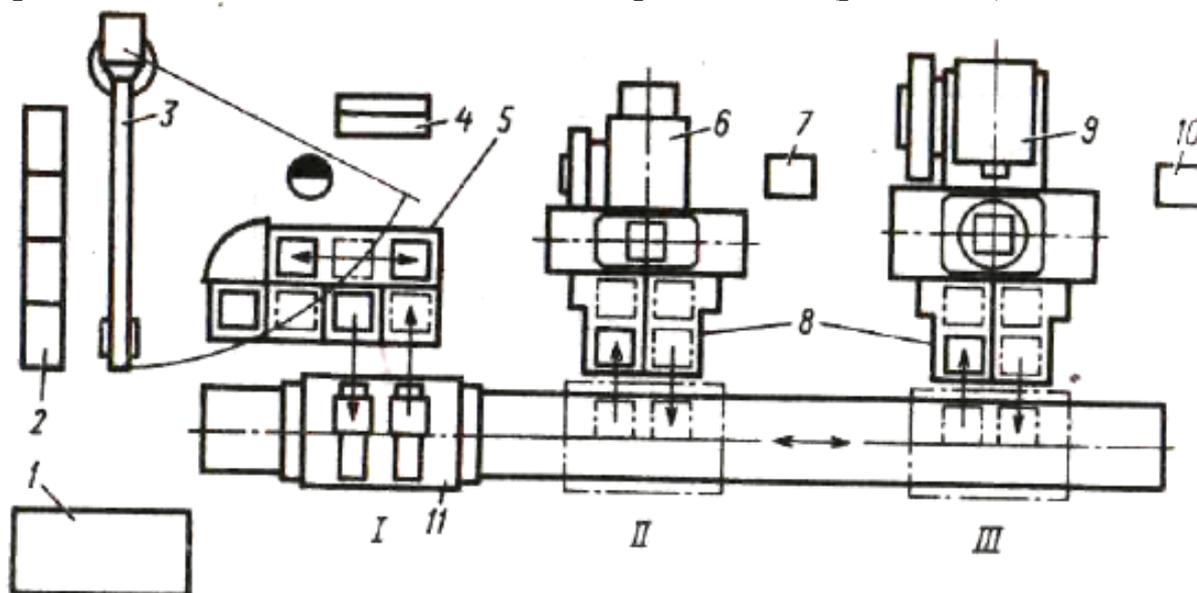


Рис. 7.10. Гибкая производственная система для обработки малогабаритных корпусных деталей: 1 – управляющая ЭВМ; 2 – стеллаж для заготовок и приспособлений; 3 – кран-балка; 4 – пульт управления; 5 – монтажный стол; 6 – многоцелевой станок вертикальной компоновки; 7, 10 – стойки системы ЧПУ станка; 8 – промежуточные системы автоматической стыковки станков и конвейера; 9 – многоцелевой станок горизонтальной компоновки; 11 – каретка-оператор

Точная ориентация спутника в приспособлении обеспечивается специальным механизмом, состоящим из автоматического толкателя и клина, расположенного на боковой поверхности спутника. Оптимальное значение угла клина $\alpha = 38^\circ$, при котором обеспечивается гарантированное досылание до опорных точек направляющей и опорной базы. Значение угла α рассчитано аналитически и проверено экспериментально. Ориентация включает в себя три фазы. На первой фазе, когда спутник выставляется на установочной базе, отнимаются три степени свободы

$$(\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3) \Rightarrow (c_y, \lambda_y, \beta_y).$$

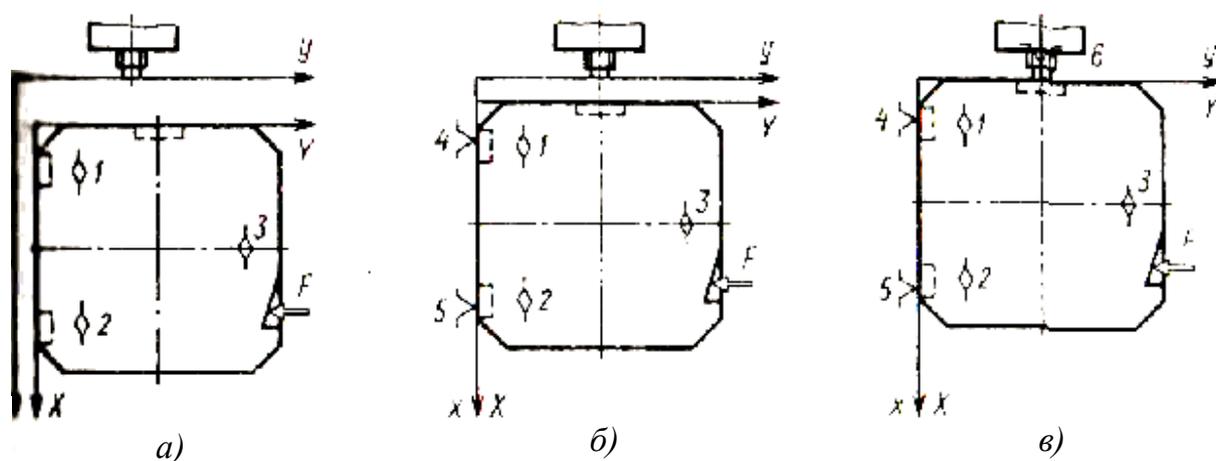


Рис. 7.11. Автоматическая ориентация и закрепление спутников в приспособлении на столе многоцелевого станка

На второй фазе, когда спутник досылается до опорных поверхностей направляющей базы, отнимаются еще две степени свободы (рис. 7.11, б)

$$(\Delta y_4, \Delta y_5) \Rightarrow (b_y, \gamma_y).$$

На третьей фазе при досылании спутника до шестой опорной точки отнимается оставшаяся степень свободы (рис. 7.11, в)

$$(\Delta x_6) \Rightarrow (a_y).$$

Момент контакта в опорной точке 6 (рис. 7.11, в) фиксируют с помощью электроконтактного датчика. При достижении спутником требуемого положения происходит его закрепление четырьмя прихватами, создающими силу зажима в направлении установочной базы. Общий вид автоматического приспособления и конструктивное исполнение его основных узлов показаны на рис. 7.12.

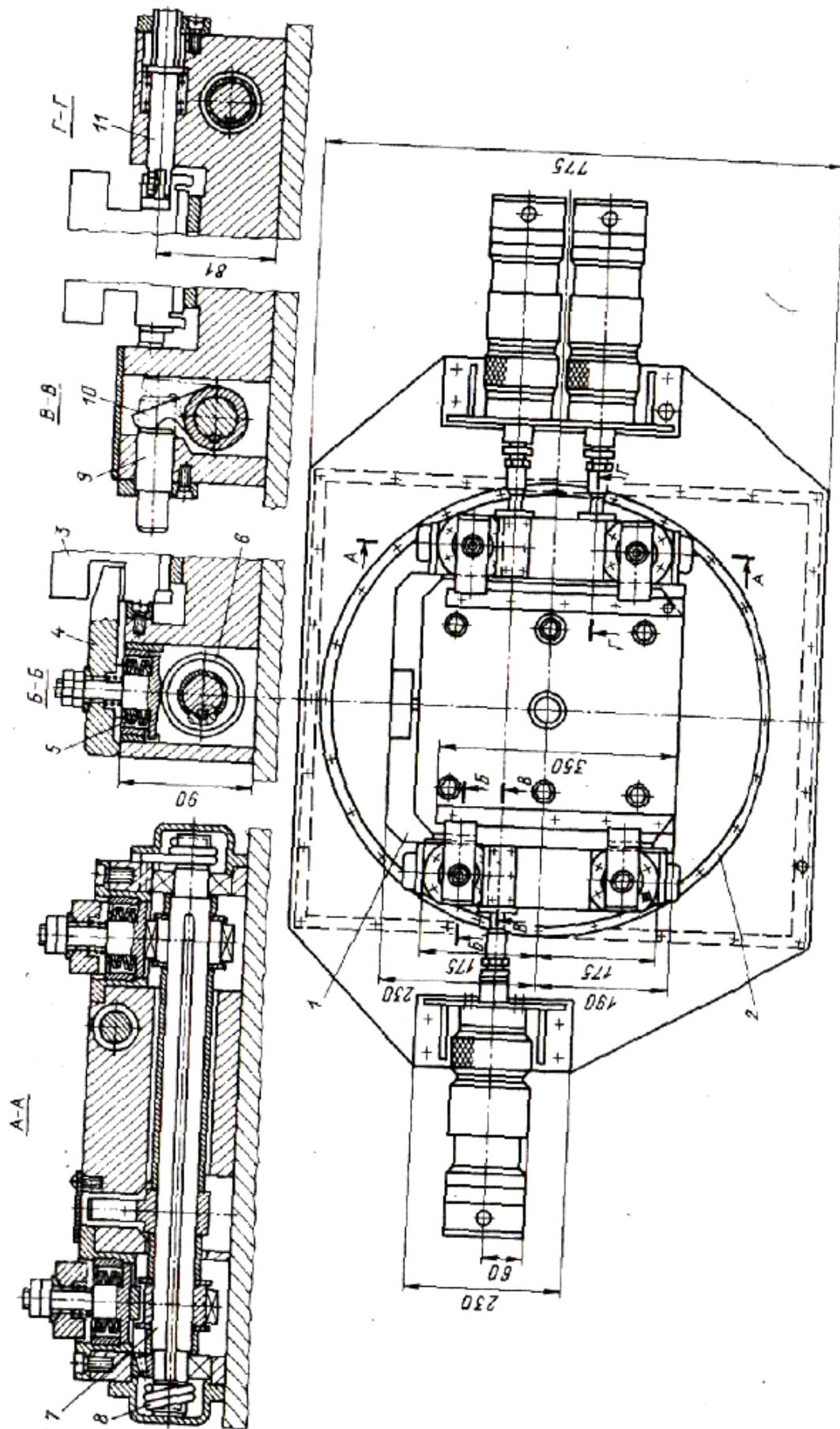


Рис. 7.12. Автоматическое приспособление, обеспечивающее ориентацию и закрепление спутника на многоцелевом станке

Приспособление 1 закрепляют на поворотном столе 2 и предварительно выверяют таким образом, чтобы центр устанавливаемого спутника совпадал с центром вращения стола. При подаче спутника 3 в приспособление зажимные прихваты 4 свободно входят в боковые пазы спутника. Сила зажима прихватов, равная 5000 Н, создается набором тарельчатых пружин 5 и регулируется с помощью эксцентриков 6, установленных на валике 7, который, в свою очередь, поворачивается на требуемый угол под действием винтовых пружин 8.

В приспособлении имеются два валика 7, каждый из которых расположен под соответствующей парой прихватов. Для раскрепления спутника валики поворачивают с помощью электромеханических головок. Осевое перемещение шпинделя головки передается через шток 9 на рычаг 10, в результате чего валик 7 поворачивается. При повороте валика эксцентрики 6 сжимают пакеты тарельчатых пружин 5, приподнимая тем самым прихваты на 1,5...2 мм над поверхностью спутника.

Перемещение толкателя 11, обеспечивающего досылание спутника в координатный угол, также обеспечивается электромеханической головкой. Три электромеханические головки, выполняющие роль силовых механизмов приспособления, располагаются за пределами поворотного стола. Точность автоматической установки спутника в приспособлении по линейным параметрам a_y, b_y, c_y равна 0,01...0,015 мм, а по угловым ($\lambda_y, \beta_y, \gamma_y$) – 0,02/300.

Для точной установки и закрепления на спутниках заготовок обычно используют универсальную технологическую оснастку (планки, прихваты, винтовые опоры, угольники, подкладные плиты). Такая оснастка (рис. 7.13) обладает технологической гибкостью, т. е. ее можно многократно использовать при установке на едином спутнике различных по конструкции и размерам корпусных деталей. Для удобства применения гибкой технологической оснастки на рабочую поверхность спутников наносят сетку пазов или отверстий. При монтаже на спутниках простейших приспособлений для базирования заготовок широко применяют элементы универсально-сборных приспособлений [14, 17, 29]. Элементы гибкой технологической оснастки и примеры ее использования при закреплении деталей на спутниках показаны на рис. 7.13, б – г.

На автоматическом участке, смонтированном в лаборатории Мос-станкина, применяют два типа спутников с одинаковым комплектом основных баз и равными габаритными размерами $380 \times 380 \times 80$ мм. На спутниках первого типа (см. рис. 7.2) закрепляют необработанные заготовки для выполнения первой операции – создания технологических баз для последующей обработки. Для удобства установки заготовок на спутнике имеются регулируемые винтовые опоры и четыре независимых прижима, которые позволяют закреплять различные по форме заготовки в нужном положении. Положение винтовых опор и прижимов на спутнике можно менять в соответствии с размерами и конфигурацией заготовки. Точную установку заготовки на спутнике можно выполнять по разметке и без разметки с использованием координатно-измерительной машины.

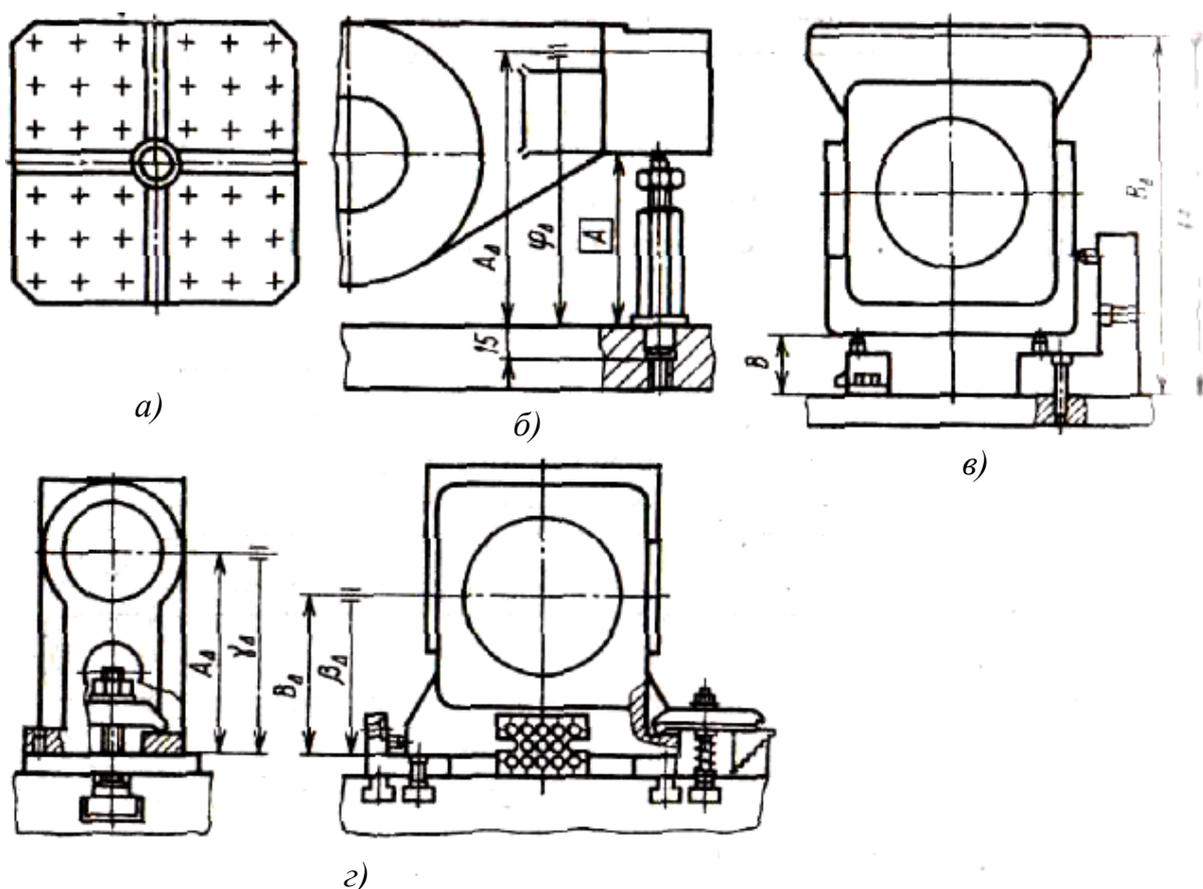


Рис. 7.13. Гибкая технологическая оснастка для установки и закрепления на спутнике различных заготовок корпусных деталей: а – спутник с сеткой отверстий и пазов; б – регулируемые винтовые упоры; в – угольник с переставляемыми опорными элементами; г – прихваты с регулируемыми упорами

Спутники второго типа имеют пазы, которые предназначены для закрепления заготовки при обработке большинства ее поверхностей. Для возможности обработки с разных сторон применяют подкладные плиты (адаптеры), на которых заготовка базируется по плоскости и двум отверстиям при закреплении снизу. Заготовку можно устанавливать и непосредственно на спутник при базировании по трем плоскостям. Для удобства установки заготовки и подкладных плит на спутнике предусмотрены пазы и базовые отверстия.

В состав гибких производственных систем могут входить гибкие производственные модули (ГПМ) (рис. 7.14). В отличие от станков с ЧПУ и многоцелевых станков ГПМ способны длительное время, в течение одной-двух смен, работать без участия рабочего. Для реализации трудосберегающей технологии ГПМ оснащают:

- накопителями для спутников с заготовками, достаточными для загрузки станка в течение одной-двух смен;
- системой кодирования и автоматической смены спутников с обрабатываемыми заготовками;
- системой кодирования и автоматической замены режущего инструмента и целых инструментальных магазинов (барabanов);
- системой автоматического определения состояния режущего инструмента и необходимого момента его замены;
- адаптивной системой, обеспечивающей автоматическое управление режимами обработки с учетом характера процесса резания и состояния технологической системы;
- микропроцессорной системой, обеспечивающей хранение и воспроизведение группы различных управляющих программ;
- системой автоматического контроля и коррекции параметров точности деталей.

Представленный на рис. 7.14 станочный модуль имеет многоцелевой станок 1, накопитель 3 для восьми спутников с деталями и систему 8 автоматической замены режущего инструмента. Подача спутников 4 с заготовками в накопитель и съём спутников с деталями осуществляется автоматически на позиции 5, куда спутники доставляются цеховым напольным транспортом (тележками оператора). С накопителя на стол станка спутники передаются на позиции 2. В накопителе спутники перемещаются по кругу, и на каждом из них установлен кодовый элемент 6,

с помощью которого устройство распознавания 7 определяет наличие на спутнике определенной заготовки. Это делается непосредственно перед подачей спутника на станок, в результате происходят вызов необходимой управляющей программы и подготовка к применению соответствующего режущего инструмента.

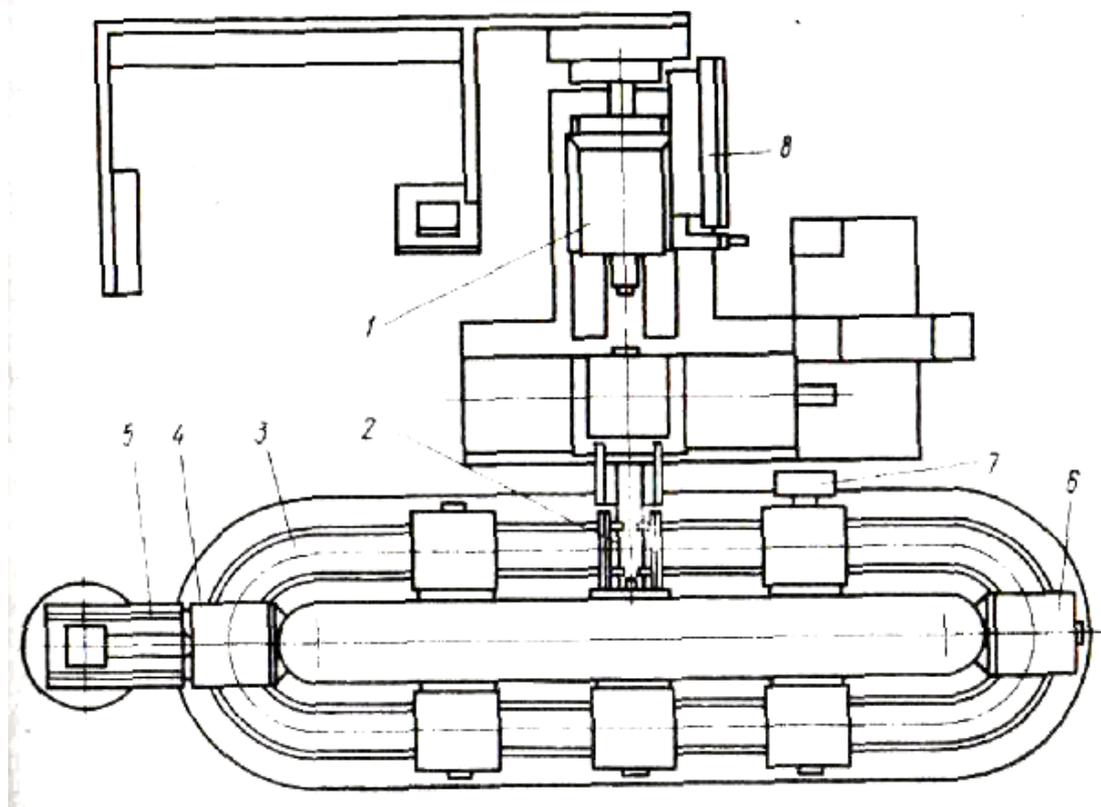


Рис. 7.14. Станочный модуль

В микропроцессорной системе управления рассматриваемого модуля возможно хранение до 99 различных управляющих программ, которые вводятся с помощью компактных кассет. Адаптивная система управления обеспечивает возможность регулирования подачи в пределах 40 % от заданных значений для 20 различных инструментов.

Контроль целостности инструмента выполняют путем фиксирования точности линейных размеров инструмента по оси Z. Определение времени фактической работы инструмента позволяет своевременно проверить необходимость его замены. Автоматический контроль точности детали осуществляется на рабочем месте с помощью измерительного щупа, вставляемого в шпиндель станка как обычный инструмент.

В условиях серийного производства при известной номенклатуре обрабатываемых корпусных деталей применяют многоцелевые станки

со сменными многошпиндельными головками (рис. 7.15). Использование многошпиндельных головок с различным концевым инструментом (сверлами, зенкерами, расточными оправками и развертками) повышает производительность станков за счет одновременной обработки нескольких отверстий.

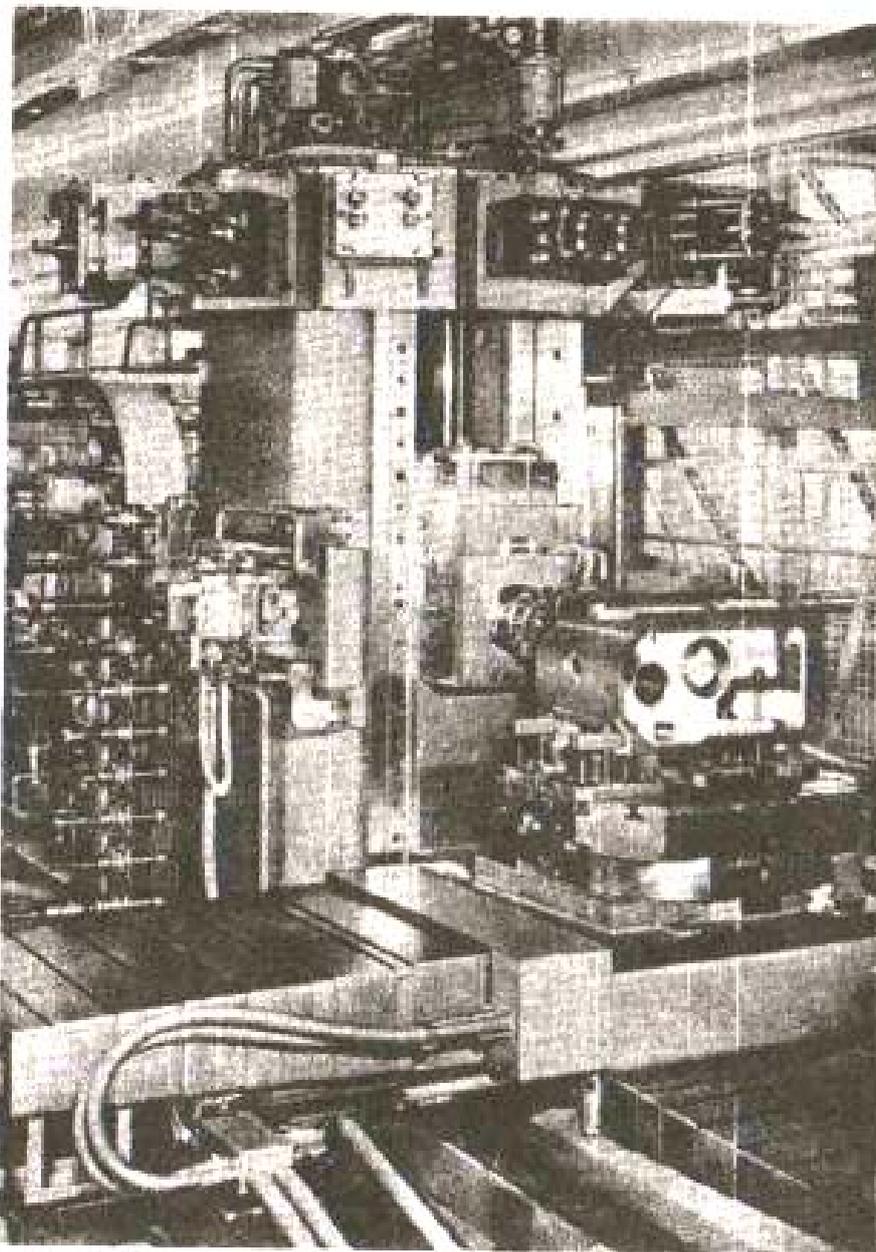


Рис. 7.15. Многоцелевой станок со сменными многошпиндельными головками

Многошпиндельные головки являются специальной оснасткой, создаваемой для обработки определенных деталей. Головки находятся в специальном магазине или устанавливаются на автоматическом стел-

лаже непосредственно возле станка. Головки в шпиндель станка устанавливаются автоматически так же, как и одиночный режущий инструмент. Таким образом, на станке имеется два инструментальных магазина: магазин для одиночного режущего инструмента и магазин для сменных многошпиндельных головок. При большой серийности производства применяют многоцелевые станки с постоянным набором многошпиндельных головок, работающих от одного привода. Такие станки применяют для создания автоматических участков, используемых в крупносерийном производстве.

На рис. 7.16 представлена автоматизированная система MARK 500 (Германия), предназначенная для изготовления трех типов комплектных деталей вертикально-сверлильного станка. Транспортирование деталей и их обработка осуществляются на спутниках размерами 500x500 мм, которые кодируют в соответствии с обрабатываемой заготовкой.

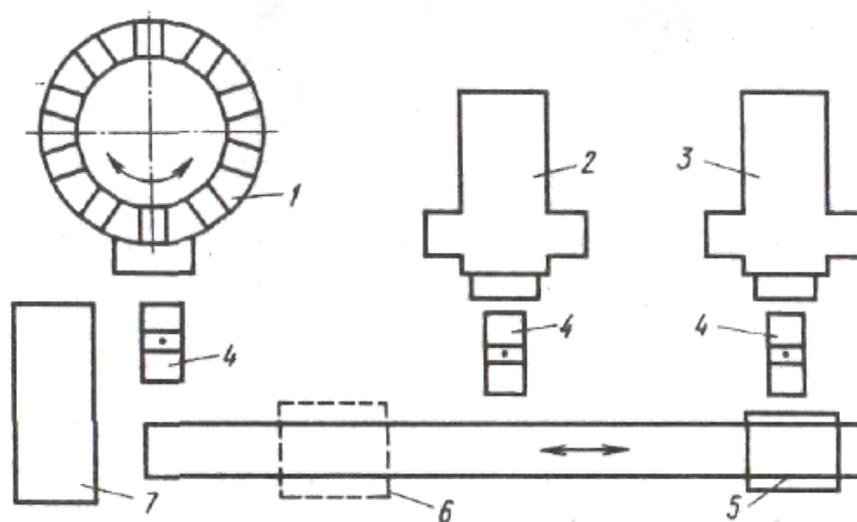


Рис. 7.16. Автоматизированная система для изготовления трех типов комплектных корпусных деталей

В автоматизированную систему входят многоцелевой станок 1 с десятью многошпиндельными головками и два многоцелевых станка 2, 3 с цепными магазинами по 60 инструментов в каждом. Перед системой установлен трехшпиндельный продольно-фрезерный станок 7, на котором обрабатываются плоские поверхности, используемые в дальнейшем в качестве технологических баз. Обработка производится напроход фрезами диаметром 200...350 мм. Для закрепления деталей используют многоместные приспособления, установленные на сменных сто-

лах. Обработанные детали рабочий устанавливает с помощью кран-балки на спутники, расположенные на шестипозиционном накопителе. Детали на спутниках базируются по трем плоскостям. При этом для каждой из трех типов деталей на спутниках оборудованы специальные приспособления.

На станок с многошпиндельными головками спутники передаются двухпозиционным поворотным манипулятором 4. Манипулятор обеспечивает также передачу спутников со стола-накопителя на тележку 5, с помощью которой спутники доставляются к станкам 2 и 3. Между тележкой 5 и станками 1, 2, 3 расположены двухпозиционные поворотные манипуляторы 4, которые автоматически передают спутники на станок и обратно. На пути перемещения тележки 5 расположено приспособление 6 для очистки от стружки. Стружка удаляется при повороте спутника с деталью на угол 180° , в результате стружка под собственным весом сыпается и поступает на конвейер.

На станке 1 одновременно обрабатываются несколько отверстий с помощью постоянных многошпиндельных головок, которые при повороте поочередно выводятся на рабочую позицию. Обрабатываемая заготовка, в свою очередь, также поворачивается, что позволяет обрабатывать ее с четырех сторон. На последующих станках 2 и 3 выполняется главным образом чистовая обработка. Эти станки имеют инструментальные магазины на 60 инструментов в каждом. При закреплении спутника на рабочей позиции станка кодовый упор включает один из трех концевиков, в результате чего подается команда на вызов требуемой управляющей программы. Обработанные детали со спутниками поступают на стол-накопитель. В конце участка расположено отделение для заточки и точной установки инструмента. Автоматизированная система работает в три смены, для ее постоянного обслуживания требуется один рабочий. Производительность системы – 180 корпусных деталей в сутки, которые образуют 60 комплектов трех типов комплектных деталей.

7.5. Автоматизированный контроль корпусных деталей

Автоматический контроль точности деталей на рабочем месте

Для измерения на станке достигнутых при обработке показателей точности детали и получения информации с целью управления точно-

стью применяют информационно-измерительную систему. Измерительный щуп системы помещают в одной из позиций инструментального магазина, и при необходимости контроля отклонений он автоматически устанавливается в шпиндель станка (рис. 7.17).

Оснащение многоцелевых станков измерительными системами обеспечивает возможность:

- осуществления автоматического контроля на станке и проведения соответствующей коррекции по результатам измерения;

- реализации на станке гибких технологических циклов, направленных на достижение требуемой точности детали с учетом возникающих в технологической системе отклонений;

- получения информации о точности установки на станке заготовки и спутника, о точности установки режущего инструмента и его размерном износе;

- определения фактических

размеров заготовки для автоматического определения числа рабочих ходов и соответствующих режимов обработки.

Конструкция измерительной головки может быть одно-, двух- или трехкоординатного исполнения с одним или несколькими измерительными наконечниками. Измерительный наконечник (щуп) с электро-механическим, оптико-механическим или другим преобразователем фиксирует момент контакта наконечника с деталью. Для оценки отклонений используют измерительную систему ЧПУ станка. В момент контакта измерительного наконечника с деталью от щупа по информационным каналам связи поступает команда на остановку движения станка. Достигнутое относительное положение рабочих органов фиксируют путем считывания данных с соответствующих датчиков системы ЧПУ. Процесс измерения выполняется по определенному циклу, преду-

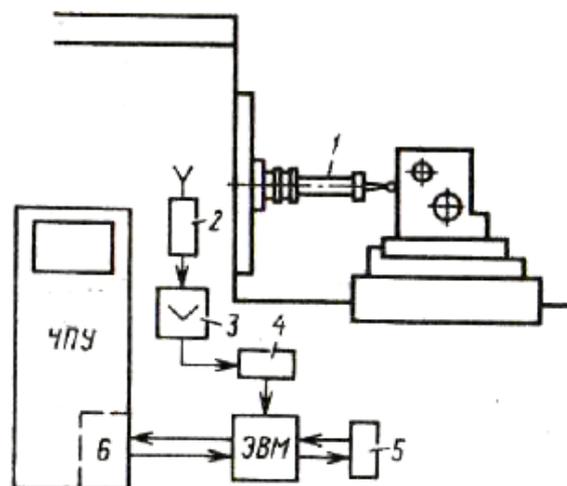


Рис. 7.17. Система автоматического контроля на многоцелевом станке: 1 – измерительная головка; 2 – устройство приема информации, передаваемой по беспроводному каналу связи; 3 – усилитель сигнала; 4 – модуль связи с ЭВМ; 5 – модуль ввод-вывод; 6 – блок сопряжения с системой ЧПУ

смотренному в программе станка. При этом измеряют координаты отдельных характерных точек обработанной поверхности детали или заготовки, а затем по заложенным алгоритмам управляющая ЭВМ выполняет расчет достигнутых параметров точности. Согласно методике расчета различают плановые координаты x_i, y_i, z_i характерных точек, которые определяют расположение точек на контролируемой поверхности, и нормальные координаты $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ точек, которые характеризуют отклонение точек по нормали к измеряемой поверхности [1].

На рис. 7.18 представлена схема измерения точности расстояния и поворота обработанной поверхности (система oxz) относительно технологической базы (система $OXYZ$). Для определения точности расстояния с учетом погрешности относительного поворота измерения производят поочередно в трех точках 1, 2, 3. Отклонение размера

$$\Delta_\Gamma = \frac{x_2 y_3 - y_2 x_3}{C} \Delta z_1 + \frac{y_1 x_3 - y_3 x_1}{C} \Delta z_2 + \frac{y_2 x_1 - y_1 x_2}{C} \Delta z_3;$$

$$C = (x_2 y_3 - y_2 x_3) + (y_1 x_3 - y_3 x_1) + (y_2 x_1 - y_1 x_2),$$

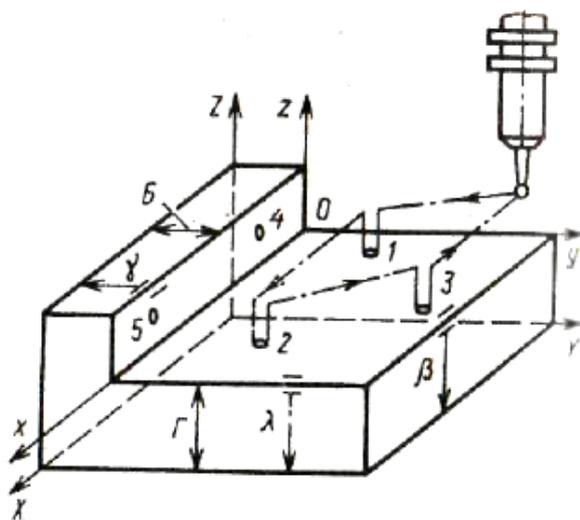


Рис. 7.18. Измерение положения обработанных плоских поверхностей детали относительно технологических баз

где x_i, y_i – плановые координаты точек измерения;
 $\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3$ – отклонение размера Γ в точках измерения.

Отклонения относительного поворота составят:
 в плоскости XOZ

$$\Delta_\beta = \frac{x_3 - x_2}{C} \Delta z_1 + \frac{x_1 - x_3}{C} \Delta z_2 + \frac{x_2 - x_1}{C} \Delta z_3;$$

в плоскости YOZ

$$\Delta_\lambda = \frac{y_3 - y_2}{C} \Delta z_1 + \frac{y_1 - y_3}{C} \Delta z_2 + \frac{y_2 - y_1}{C} \Delta z_3.$$

Для определения отклонения ширины бурта Δ_β и погрешности Δ_γ поворота плоскости hoz относительно направляющей базы измерения выполняют в двух точках 4 и 5. Отклонения размера Δ_β и относительного поворота Δ_γ при этом соответственно

$$\Delta_B = \frac{x_5}{x_5 - x_4} \Delta y_4 - \frac{x_4}{x_5 - x_4} \Delta y_5; \quad \Delta_\gamma = \frac{1}{x_5 - x_4} \Delta y_4 - \frac{1}{x_5 - x_4} \Delta y_5,$$

где x_4, x_5 – координаты точек измерения; $\Delta y_4, \Delta y_5$ – отклонения размера Δ_B в точках измерения.

Отклонения показателей точности обрабатываемой заготовки рассчитывают с помощью встроенной ЭВМ. Отклонения компенсируются путем автоматической коррекции программ на последующих чистовых проходах. Коррекция погрешности относительного поворота возможна при наличии в технологической системе компенсирующих звеньев, например поворотных столов глобусного типа. При использовании измерительных систем станка следует учитывать, что точность измерения на станке соответствует фактической точности позиционирования рабочих узлов станка; эта точность несколько ниже, чем на координатно-измерительной машине. Следует учитывать также, что с включением в цикл обработки контрольных переходов продолжительность операции на станке увеличивается.

Эффективным способом существенного повышения точности измерения является применение автоматической системы управления позиционными связями станка. Использование такой системы позволяет компенсировать пространственные отклонения во всей рабочей зоне станка, обусловленные погрешностью геометрической точности оборудования и рядом других систематически действующих факторов.

Для измерения точности положения центра отверстия в направлении одной из координат, например OZ , измерения выполняют в двух точках 1 и 2 (рис. 7.19, а). Отклонение центра отверстия

$$\Delta_r = (\Delta Z_1 + \Delta Z_2) / 2.$$

При необходимости определения отклонений центра отверстия в двух направлениях OZ и OX (рис. 7.19, б) измерения проводят в четырех точках

$$\begin{vmatrix} \Delta_r \\ \Delta_A \end{vmatrix} = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \Delta z_1 \\ \Delta z_2 \\ \Delta x_3 \\ \Delta x_4 \end{vmatrix} \quad (7.3)$$

Измерение отклонений в четырех точках позволяет оценить также точность диаметрального размера и погрешность геометрической формы отверстия в поперечном сечении. Отклонения диаметральных размеров составят:

в направлении OX $\Delta D_x = \Delta x_3 + \Delta x_4$;

в направлении OZ $\Delta D_z = \Delta z_1 + \Delta z_2$.

Погрешность геометрической формы

$$\omega_\phi = \Delta D_x - \Delta D_z \quad \text{при} \quad \Delta D_x > \Delta D_z;$$

$$\omega_\phi = \Delta D_z - \Delta D_x \quad \text{при} \quad \Delta D_x < \Delta D_z.$$

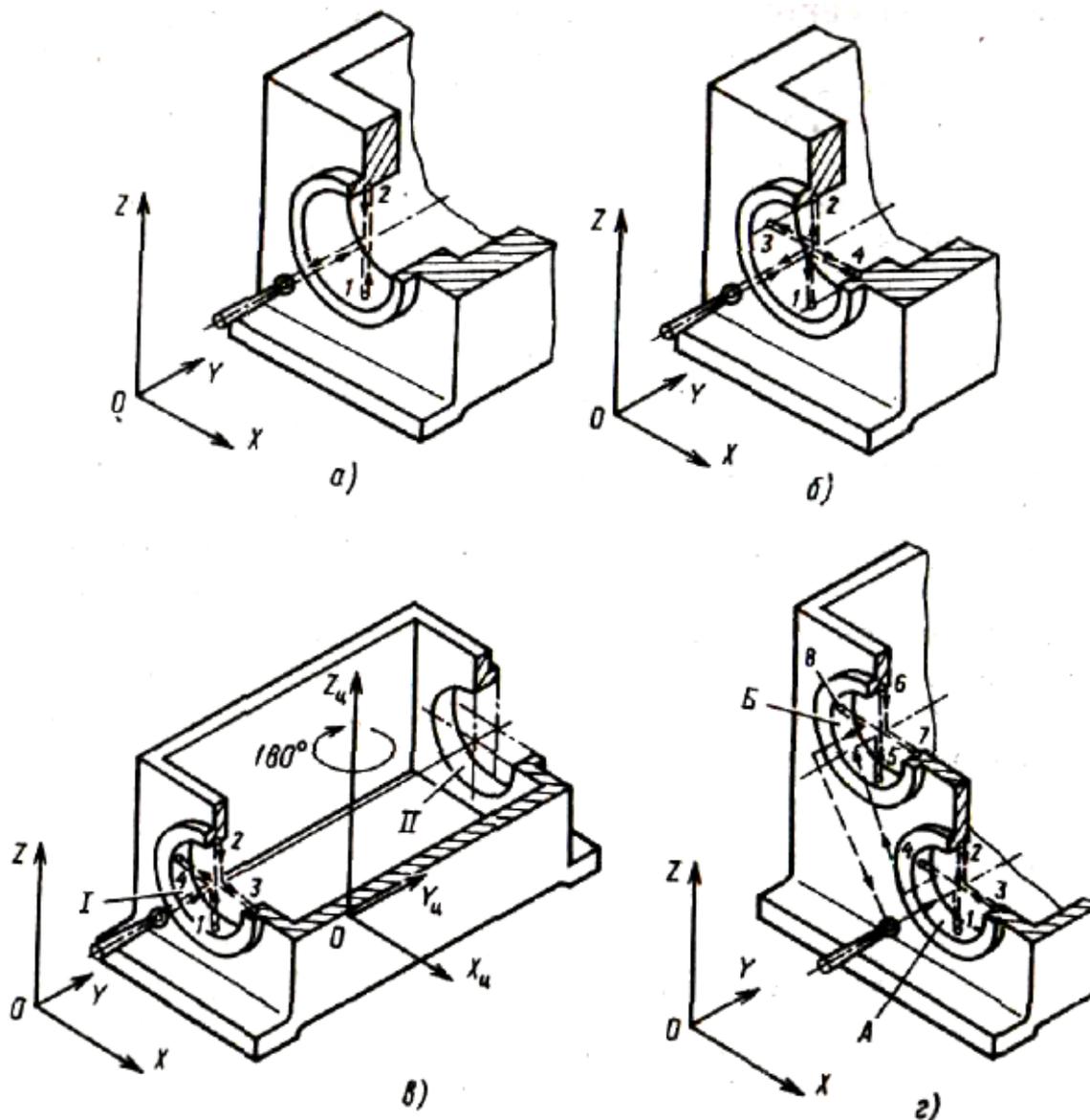


Рис. 7.19. Измерение точности положения центра отверстий: а – контроль в одном направлении; б – контроль в двух направлениях; в – контроль соосности двух отверстий; г – контроль точности расстояний между осями двух отверстий

Для расчета отклонения от соосности двух главных отверстий (рис. 7.19, в) поочередно по формуле (7.3) определяют отклонение центра отверстия $I(\Delta_G^{(I)}, \Delta_A^{(I)})$ и отверстия $II(\Delta_G^{(II)}, \Delta_A^{(II)})$. После этого отклонение от соосности отверстий рассчитывают по формуле

$$e = \sqrt{(\Delta_G^{(I)} - \Delta_G^{(II)})^2 + (\Delta_A^{(I)} - \Delta_A^{(II)})^2}.$$

Несовпадение осей отверстий в направлении координатных осей составит $e_z = \Delta_G^{(I)} - \Delta_G^{(II)}$; $e_x = \Delta_A^{(I)} - \Delta_A^{(II)}$.

Эта метрологическая операция требует измерения в восьми точках и поворота стола с деталью на угол 180° . Результаты измерения в этих точках позволяют оценить точность углового положения общей оси, проходящей через центры двух отверстий. Если принять, что начало отсчета координатной системы главных отверстий располагается в центре отверстия 1, то угловые отклонения составят

$$\begin{vmatrix} \Delta_\lambda \\ \Delta_\gamma \end{vmatrix} = \frac{1}{y_{II} - y_I} \begin{vmatrix} e_z \\ e_x \end{vmatrix},$$

где y_I, y_{II} – координаты точек измерения по оси OY в первом и во втором отверстии; $y_I = y_i$ при $i = 1 \dots 4$; $y_{II} = y_i$ при $i = 5 \dots 8$.

Точность расстояния между центрами двух отверстий определяют по схеме, представленной на рис. 7.19, г. Вначале по измерениям в точках 1 – 4 определяем отклонения $\Delta_G^{(I)}, \Delta_A^{(I)}$ центра отверстия I, затем по измерениям в точках 5 – 8 находим отклонения $\Delta_G^{(II)}, \Delta_A^{(II)}$ центра отверстия II. Полученное межцентровое расстояние

$$e = \sqrt{[(x_1 + \Delta_A^{(I)}) - (x_2 + \Delta_A^{(II)})]^2 + [(z_1 + \Delta_G^{(I)}) - (z_2 - \Delta_G^{(II)})]^2}, \quad (7.4)$$

где $(x_1, z_1), (x_2, z_2)$ – требуемые координаты центров отверстий I и II.

Требуемое межцентровое расстояние, в свою очередь,

$$L = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}. \quad (7.5)$$

Разность выражений (7.4) и (7.5) определяет отклонение межцентрового расстояния

$$\Delta L = L_\phi - L.$$

Схема измерения точности относительного положения оси главного отверстия представлена на рис. 7.20. Измерения выполняют в двух сечениях I, II по восьми контрольным точкам. Если принять, что

начало координатной системы отверстий совмещено с торцом, то линейные и угловые отклонения оси отверстия определяют по матричным выражениям:

в плоскости XOY

$$\begin{vmatrix} \Delta_A \\ \Delta_\gamma \end{vmatrix} = \frac{1}{y_2 - y_1} \begin{vmatrix} y_1 & y_1 & -y_2 & -y_2 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \Delta x_7 \\ \Delta x_8 \end{vmatrix},$$

в плоскости YOZ

$$\begin{vmatrix} \Delta_\Gamma \\ \Delta_\lambda \end{vmatrix} = \frac{1}{y_2 - y_1} \begin{vmatrix} y_1 & y_1 & -y_2 & -y_2 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \Delta z_3 \\ \Delta z_4 \\ \Delta z_5 \\ \Delta z_6 \end{vmatrix},$$

где y_I, y_{II} – координаты точек измерения по оси OY в сечениях I и II; $y_I = y_i$ при $i = (1 \dots 4)$, $y_{II} = y_i$ при $i = (5 \dots 8)$.

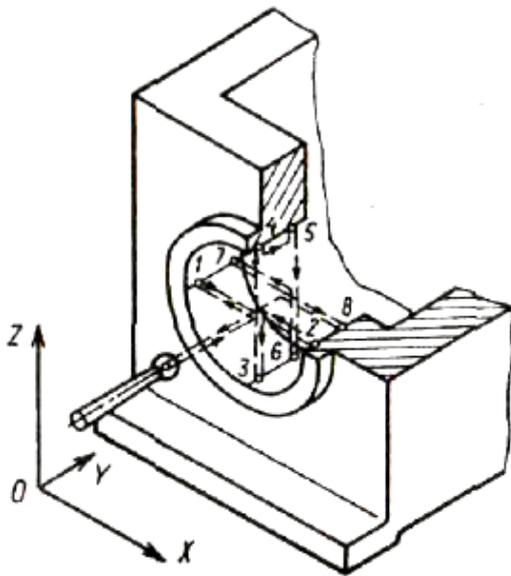


Рис. 7.20. Измерение точности положения оси отверстия

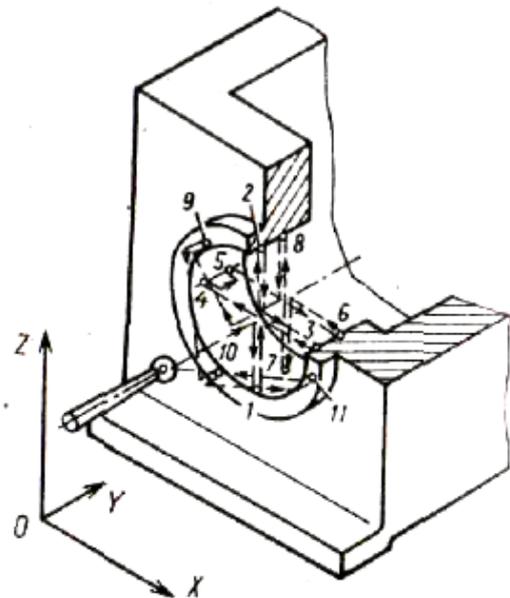


Рис. 7.21. Измерение перпендикулярности торца к оси отверстия

Отклонение от перпендикулярности торца к оси главного отверстия можно измерить по схеме, представленной на рис. 7.21. Вначале измеряют точность углового положения оси отверстия (точки 1 ... 8), а затем точность углового положения торцевой плоскости (точки 9...11).

Отклонение от перпендикулярности торца к оси отверстия определяют в двух координатных плоскостях:

в плоскости XOY $\Delta_\gamma = \Delta_\gamma^o - \Delta_\gamma^n$; в плоскости YOZ $\Delta_\lambda = \Delta_\lambda^o - \Delta_\lambda^n$,

где $\Delta_\gamma^o, \Delta_\lambda^o$ – угловые отклонения оси отверстия;

$\Delta_\gamma^n, \Delta_\lambda^n$ – угловые отклонения плоскости.

Автоматизация выполнения контрольных операций на рабочей позиции позволяет создавать технологические циклы управления станком, при которых гарантируется требуемая точность обработки детали. Новый подход к построению технологических циклов предусматривает включение в управляющую программу описанных выше метрологических переходов по оценке достигнутой точности деталей. В этом случае метрологические переходы включают в программу по окончании предварительной обработки, непосредственно перед выполнением переходов, связанных с чистовой обработкой детали. На основе результатов измерения фактической точности детали в размеры статической настройки, заданные в программе для последующих переходов, вводится необходимая коррекция. Структура и последовательность выполнения переходов, связанных с достижением точности при обработке плоских поверхностей и главных отверстий, показаны на рис. 7.22. Алгоритм состоит из трех основных модулей. Переходы модуля I представляют программу измерений, выполняемых на станке с помощью измерительного щупа. По окончании этой программы получают данные об отклонениях нормальных координат $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ в заданных точках измерения. Переходы модуля II образуют программу расчета отклонений параметров точности детали или параметров ее положения на основе полученных числовых значений нормальных и плановых координат точек измерения. Выходом этого модуля являются измерения отклонений параметров точности детали. Переходы модуля III определяют процедуру внесения необходимой коррекции в управляющую программу с целью достижения требуемой точности детали на этапе выполнения последующих чистовых проходов.

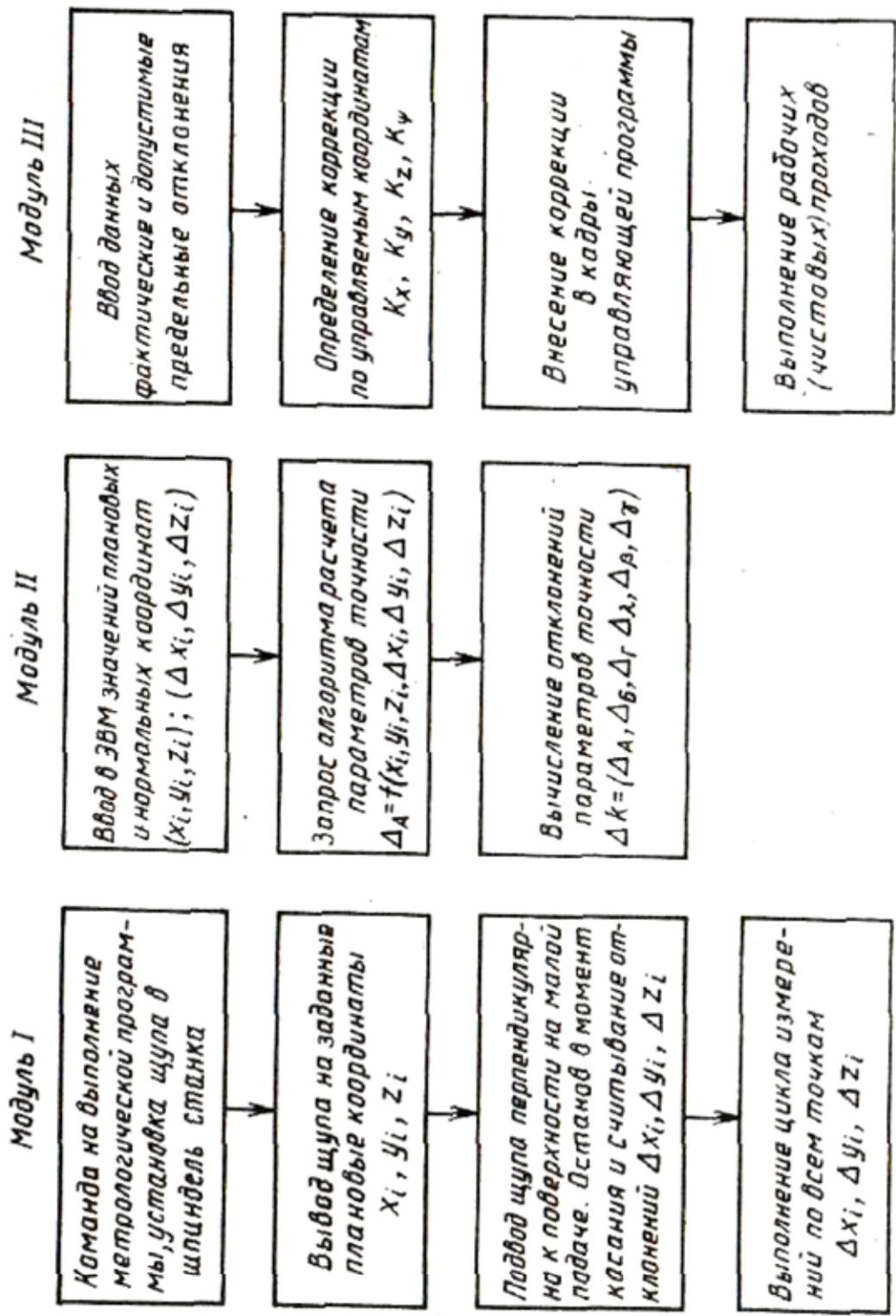


Рис. 7.22. Состав и последовательность переходов, выполняемых при автоматическом контроле и коррекции на станке

7.6. Расчеты точности станочного оборудования ГПС

В процессе проектирования и выбора технологического оборудования ГПС возникает необходимость выявления и расчета пространственных размерных связей, позволяющих оценить геометрическую точность станков в пределах всего технологического диапазона. При этом устанавливается связь между нормируемыми параметрами геометрической точности станков, предусмотренными в паспорте на оборудование, и требованиями к точности его базовых деталей и узлов. Рассмотрим это на примере многоцелевых станков фрезерно-расточного типа (рис. 7.23).

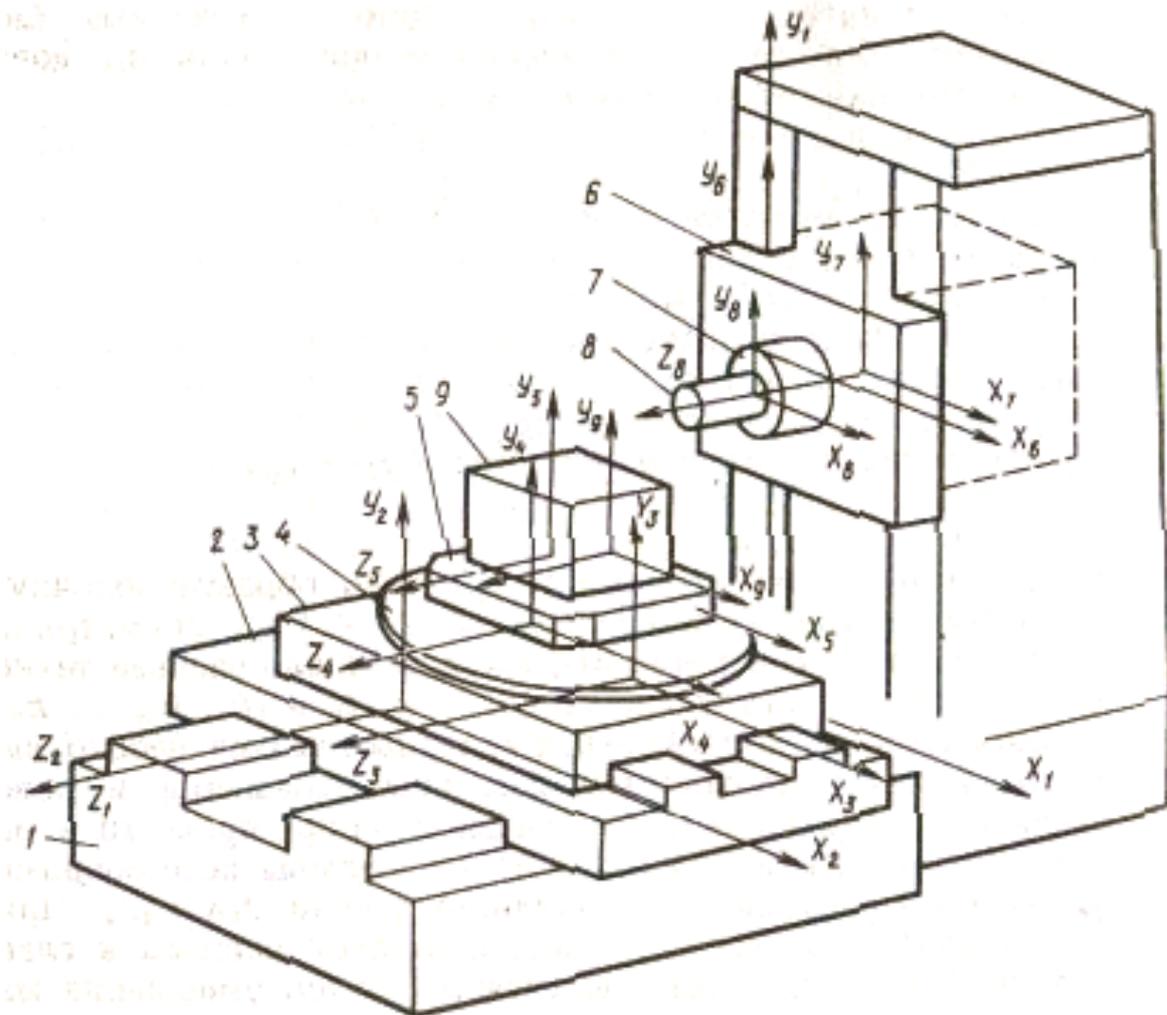


Рис. 7.23. Координатные системы деталей и узлов многоцелевого станка: 1 – станина станка; 2 – продольный стол; 3 – поперечный стол; 4 – поворотный стол; 5 – спутник; 6 – шпиндельная бабка; 7 – шпиндель станка; 8 – режущий инструмент; 9 – обрабатываемая заготовка

Поверхность или сочетание поверхностей, получаемые в результате обработки детали на станке, занимают определенное положение относительно выбранных технологических баз. Представим комплект технологических баз, используемый для обработки детали на станке, как определенную систему координат $OXYZ$. Если аналогичным образом связать с обработанной поверхностью или с сочетанием обработанных поверхностей детали систему $oxuz$, то положение полученной в результате обработки поверхности относительно технологических баз можно определить как положение координатной системы $oxuz$ в системе $OXYZ$. Элементы матрицы $k_{\Delta} = (A_{\Delta}, B_{\Delta}, G_{\Delta}, \lambda_{\Delta}, \beta_{\Delta}, \gamma_{\Delta})$, определяющие положение координатной системы $oxuz$ в системе $OXYZ$, представляют собой замыкающие звенья соответствующих технологических размерных цепей системы.

Таким образом, в общем случае в технологической системе станка имеют место три технологические размерные цепи A, B, G , определяющие относительную удаленность обработанных поверхностей в направлении координатных осей X, Y, Z и три технологические цепи λ, β, γ , определяющие поворот получаемых на детали поверхностей относительно технологических баз.

Составляющими звеньями технологических размерных цепей системы являются размеры и относительные повороты поверхностей деталей станка и инструмента, непосредственно участвующие в образовании размеров и относительных поворотов поверхностей обрабатываемой детали.

На рис. 7.23 показана последовательность базирования основных деталей и узлов многоцелевого станка и показаны системы координат, связанные с основными и вспомогательными базами деталей. Координатные плоскости, связанные с направляющими станины станка, образуют главную координатную систему станка $O_1 X_1 Y_1 Z_1$ относительно которой с определенной точностью располагаются координатные системы других деталей и узлов технологической системы.

Станина – первая базирующая деталь, определяющая положение всех остальных деталей и узлов системы. В свою очередь, детали и узлы, непосредственно присоединяемые к станине, также будут базирую-

щими по отношению к последующим сборочным единицам. Однако, если станина считается базовой деталью для всех звеньев системы, то присоединяемые к ней детали и узлы являются базовыми по отношению к меньшему числу звеньев системы.

Задача определения пространственных размерных связей заключается в установлении размерных связей между координатными системами соответствующих деталей и сборочных единиц. При этом составляющими звеньями пространственных размерных цепей являются векторы, каждый из которых определяет положение координатной системы исполнительных поверхностей или вспомогательных баз соответствующей детали станка относительно ее основных баз. Таким образом, составляющие звенья в номиналах k_i , допусках T_i и в отклонениях Δ_i имеют вид

$$k_i = (A_i, B_i, G_i, \lambda_i, \beta_i, \gamma_i); \quad T_{ki} = (T_{Ai}, T_{Bi}, T_{Gi}, T_{\lambda_i}, T_{\beta_i}, T_{\gamma_i});$$

$$\Delta_{ki}^B = (\Delta_{Ai}^B, \Delta_{Bi}^B, \Delta_{Gi}^B, \Delta_{\lambda_i}^B, \Delta_{\beta_i}^B, \Delta_{\gamma_i}^B).$$

Совокупность матриц $k_1, k_2, \dots, k_i, \dots, k_n$ образует блочную матрицу звеньев технологической системы $K = |k_i|$. Эта матрица-столбец включает в себя n блоков, где n – число звеньев пространственной технологической цепи рассматриваемой системы; (k_1, k_2, \dots, k_n) .

Для расчета пространственных размерных связей необходимо все векторы, определяющие относительные смещения и повороты поверхностей деталей и сборочных единиц, привести к одной системе координат. В качестве такой системы целесообразно использовать главную систему координат станка $O_1 X_1 Y_1 Z_1$.

Приведение составляющих звеньев технологической системы к главной системе координат станка достигается путем умножения матриц составляющих звеньев на соответствующие матрицы преобразования

$$K_{(l)} = P_{\Sigma} \cdot K, \quad (7.6)$$

где $K_{(l)}$ – матрица составляющих звеньев, приведенных к главной системе координат станка; P_{Σ} – матрица преобразования звеньев системы; K – матрица звеньев системы.

В развернутой форме матричное выражение (7.6) имеет следующий вид:

$$\begin{vmatrix} K_1^{(1)} \\ K_2^{(1)} \\ \vdots \\ K_n^{(1)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Pi_1^{(1)} & & & 0 \\ & \Pi_2^{(1)} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \Pi_n^{(1)} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_n \end{vmatrix}$$

Элементы $\Pi_\Sigma = \{\Pi_1^{(1)}, \Pi_2^{(1)}, \dots, \Pi_n^{(1)}\}$ представляют собой блочные матрицы, диагональные блоки которых означают матрицы преобразования координатной системы определенного звена:

$$\Pi_\Sigma = \begin{vmatrix} \begin{pmatrix} \pi_1^{(1)} & 0 \\ 0 & \pi_1^{(1)} \end{pmatrix} & & & 0 \\ & \begin{pmatrix} \pi_2^{(1)} & 0 \\ 0 & \pi_2^{(1)} \end{pmatrix} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \begin{pmatrix} \pi_n^{(1)} & \\ & \pi_n^{(1)} \end{pmatrix} \end{vmatrix} \quad (7.7)$$

Составляющими элементами l, m, n матрицы π_i будут косинусы углов между соответствующими осями координатной системы основных баз детали $O_i X_i Y_i Z_i$ и осями главной системы координат $O_1 X_1 Y_1 Z_1$ станка:

$$\pi_i = \begin{vmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos(x_1 x_i) & \cos(x_1 y_i) & \cos(x_1 z_i) \\ \cos(y_1 x_i) & \cos(y_1 y_i) & \cos(y_1 z_i) \\ \cos(z_1 x_i) & \cos(z_1 y_i) & \cos(z_1 z_i) \end{vmatrix}.$$

В большинстве случаев для технологических систем имеет место параллельное смещение координатных систем составляющих звеньев, что означает тождественное преобразование, при котором $\pi_i = 1$.

Вспомогательные базы (исполнительные поверхности) деталей и узлов технологической системы, участвующие в качестве составляющих звеньев технологической системы, занимают определенное положение в главной системе координат $O_1 X_1 Y_1 Z_1$ станка, которое определяет соответствующий вектор

$$D_i = (A_i, B_i, G_i, \lambda_i, \beta_i, \gamma_i).$$

Рассматривая последовательность базирования деталей и узлов, можно видеть, что положение спутника с заготовкой определяет одна

группа звеньев $i = 1, 2, \dots, d$, а положение режущего инструмента – другая группа звеньев $i = 1, \dots, p$. В соответствии с этим положение вспомогательных баз (исполнительных поверхностей) деталей и узлов в главной системе координат станка можно рассчитать по матричной формуле

$$D=H \cdot K,$$

которая в развернутой форме имеет вид

$$\begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ D_5 \\ D_6 \\ D_7 \\ D_8 \\ D_9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_{11} & & & & & & & & & \\ H_{21} & H_{22} & & & & & & & & \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} & & & & & & & \\ H_{41} & H_{42} & H_{43} & H_{44} & & & & & & \\ H_{51} & H_{52} & H_{53} & H_{54} & H_{55} & & & & & \\ H_{61} & 0 & 0 & 0 & 0 & H_{66} & & & & \\ H_{71} & 0 & 0 & 0 & 0 & H_{76} & H_{77} & & & \\ H_{81} & 0 & 0 & 0 & 0 & H_{86} & H_{87} & H_{88} & & \\ H_{91} & H_{92} & H_{93} & H_{94} & H_{95} & 0 & 0 & 0 & H_{99} & \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ k_4 \\ k_5 \\ k_6 \\ k_7 \\ k_8 \\ k_9 \end{pmatrix} \quad (7.8)$$

где H – операторная матрица, элементами которой являются блочные матрицы преобразования (7.7).

Таким образом, каждая строка выражения (7.8) представляет сумму составляющих векторов, определяющих положение соответствующего звена. Например, положение исполнительных поверхностей режущего инструмента определяется выражением

$$D_8 = H_{81}k_1 + H_{86}k_6 + H_{87}k_7 + H_{88}k_8,$$

положение обрабатываемой детали выражением

$$D_9 = H_{91}k_1 + H_{92}k_2 + H_{93}k_3 + H_{94}k_4 + H_{95}k_5 + H_{96}k_6.$$

В тех случаях, когда необходимо определить положение одного из звеньев i относительно баз другого звена j , необходимо взять разность двух векторов $D_{ij} = D_i - D_j$. Вектор статической настройки, определяющий положение координатной системы исполнительных поверхностей режущего инструмента относительно координатной системы технологических баз детали получается как разность векторов D_9 и D_8 :

$$k_i = D_9 - D_8. \quad (7.9)$$

Если для выбираемого или проектируемого многоцелевого станка известны нормы геометрической точности, предусматриваемые требованиями соответствующего стандарта, то можно на этапе проектирования рассчитать предельные возможные отклонения параметров вектора статической настройки

$$\Delta_C^B = (\Delta_C^B x, \Delta_C^B y, \Delta_C^B z) \quad \text{и} \quad \Delta_C^H = (\Delta_C^H x, \Delta_C^H y, \Delta_C^H z).$$

С этой целью можно использовать следующие матричные формулы:

для верхних предельных отклонений

$$\Delta_O^B = G^B U + v_{II}^B E_{II} - v_D^H E_D + 0,5N + 3\sigma_{II}; \quad (7.10)$$

для нижних предельных отклонений

$$\Delta_O^B = G^H U + v_{II}^H E_{II} - v_D^B E_D + 0,5N + 3\sigma_{II}. \quad (7.11)$$

где U – вектор управления, определяющий перемещения узлов в направлении управляемых координат, $U = (x, y, z)$;

E_D, E_{II} – столбчатые матрицы, определяющие соответственно координаты точки обрабатываемой заготовки в рабочем объеме спутника

$E_D = (x_D, y_D, z_D)$, и координаты вершины режущей кромки инструмента $E_{II} = (x_{II}, y_{II}, z_{II})$;

G^B, G^H – квадратные матрицы размерностью 3×3 , определяющие геометрическую точность направляющих станка;

$\gamma_D^B, \gamma_D^H, \gamma_{II}^B, \gamma_{II}^H$ – квадратные матрицы, которые характеризуют соответственно точность базовых деталей, определяющих положение заготовки на станке, и точность базовых деталей, определяющих положение вершины режущего инструмента;

N, σ_{II} – столбчатые матрицы, учитывающие соответственно влияние постоянных $N = (N_X, N_Y, N_Z)$ и случайных $\sigma_{II} = (\sigma_{II X}, \sigma_{II Y}, \sigma_{II Z})$ составляющих погрешности позиционирования узлов станка.

На рис. 7.24 в качестве примера представлена схема отклонений параметров геометрической точности базовых деталей многоцелевого станка, приведенного на рис 7.23. В индексах угловых отклонений (параметров расположения) базирующих поверхностей деталей две цифры: первая определяет номер базовой детали, к которой относится данный параметр, а вторая – номер присоединяемой детали, которая базируется по этой поверхности.

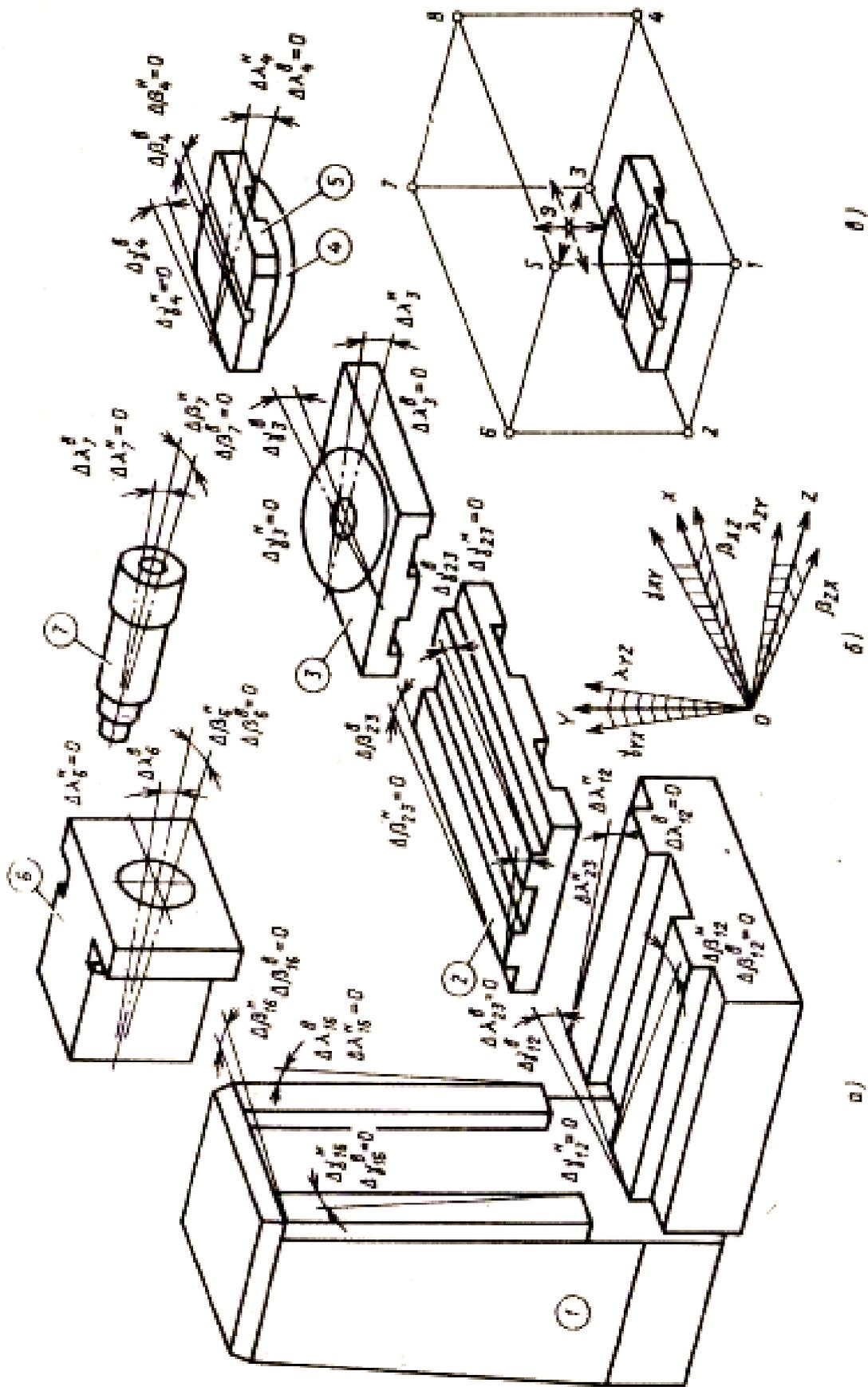


Рис. 7.24. Схема к расчету геометрической точности многоцелевого станка: а – детали несущей системы станка; б – главная система координат станка; в – рабочая зона станка

Например, запись $\Delta\lambda_{12}^B$ означает верхнее отклонение параметра λ для станины 1 по направляющим, определяющим положение продольного стола 2. Элементами матриц G^B, G^H определяют предельные отклонения от перпендикулярности соответствующих направляющих, координата которых указывается первым нижним индексом относительно двух других направляющих, определяемых вторым индексом:

$$G^B = \begin{vmatrix} 0 & -\gamma_{YX}^H & \beta_{ZX}^B \\ \gamma_{XY}^H & 0 & -\lambda_{ZY}^H \\ -\beta_{XZ}^B & \lambda_{YX}^B & 0 \end{vmatrix} \quad (7.12) \quad G^H = \begin{vmatrix} 0 & -\gamma_{YX}^B & \beta_{ZX}^H \\ \gamma_{XY}^H & 0 & -\lambda_{ZY}^B \\ -\beta_{XZ}^B & \lambda_{YX}^H & 0 \end{vmatrix}. \quad (7.13)$$

Для рассматриваемого многоцелевого станка (см. рис. 7.23) выражение (7.12), (7.13) можно записать:

$$G^B = \begin{vmatrix} 0 & -\Delta_{\gamma 16}^H & \Delta_{\beta 12}^B \\ \Delta_{\gamma 23}^B & 0 & -\Delta_{\lambda 12}^H \\ -\Delta_{\beta 12}^H & \Delta_{\lambda 16}^B & 0 \end{vmatrix}; \quad G^H = \begin{vmatrix} 0 & -\Delta_{\gamma 16}^B & \Delta_{\beta 12}^H \\ \Delta_{\gamma 23}^H & 0 & -\Delta_{\lambda 12}^B \\ -\Delta_{\beta 12}^B & \Delta_{\lambda 16}^H & 0 \end{vmatrix}.$$

Элементами матриц $\vartheta_D^B, \vartheta_D^H$ являются нормируемые отклонения параметров относительного поворота (параметров расположения) поверхностей базовых деталей, определяющих положение спутника с заготовкой $i = 1, 2, \dots, d$ и режущего инструмента $i = 1, \dots, p$:

$$\vartheta_D^B = \begin{vmatrix} 0 & -\sum_{i=1}^d \Delta_{\gamma i}^H & \sum_{i=1}^d \Delta_{\beta i}^B \\ \sum_{i=1}^d \Delta_{\gamma i}^B & 0 & -\sum_{i=1}^d \Delta_{\lambda i}^H \\ -\sum_{i=1}^d \Delta_{\beta i}^H & \sum_{i=1}^d \Delta_{\lambda i}^B & 0 \end{vmatrix}; \quad \vartheta_D^H = \begin{vmatrix} 0 & -\sum_{i=1}^d \Delta_{\gamma i}^B & \sum_{i=1}^d \Delta_{\beta i}^H \\ \sum_{i=1}^d \Delta_{\gamma i}^H & 0 & -\sum_{i=1}^d \Delta_{\lambda i}^B \\ -\sum_{i=1}^d \Delta_{\beta i}^B & \sum_{i=1}^d \Delta_{\lambda i}^H & 0 \end{vmatrix}.$$

Отклонения, возникающие при позиционировании узлов по координатам X, Y, Z (рис. 7.25), имеют постоянные N и случайные σ_{Π} составляющие. В соответствии с этим их удобно представить в виде двух матриц:

$$N = (N_X, N_Y, N_Z); \quad \sigma_{\Pi} = (\sigma_{\Pi X}, \sigma_{\Pi Y}, \sigma_{\Pi Z}).$$

При этом на случайные отклонения, обусловленные непрямолинейностью перемещения узлов станка, оказывают влияние погрешности позиционирования, формируемые при перемещении по двум дру-

гим координатам. Таким образом, задача расчета геометрической точности многоцелевого станка заключается в определении параметров точности его базовых деталей $T_{k1}, T_{k2} \dots T_{ki} \dots T_{kn}$ и требований к системе ЧПУ станка $M, R_{max}, M_{ar}, N_{max}$, при которых на всем диапазоне рабочих перемещений X_i, Y_i, Z_i обеспечивается необходимая точность параметров $\Delta_{cX}, \Delta_{cY}, \Delta_{cZ}$ статической настройки.

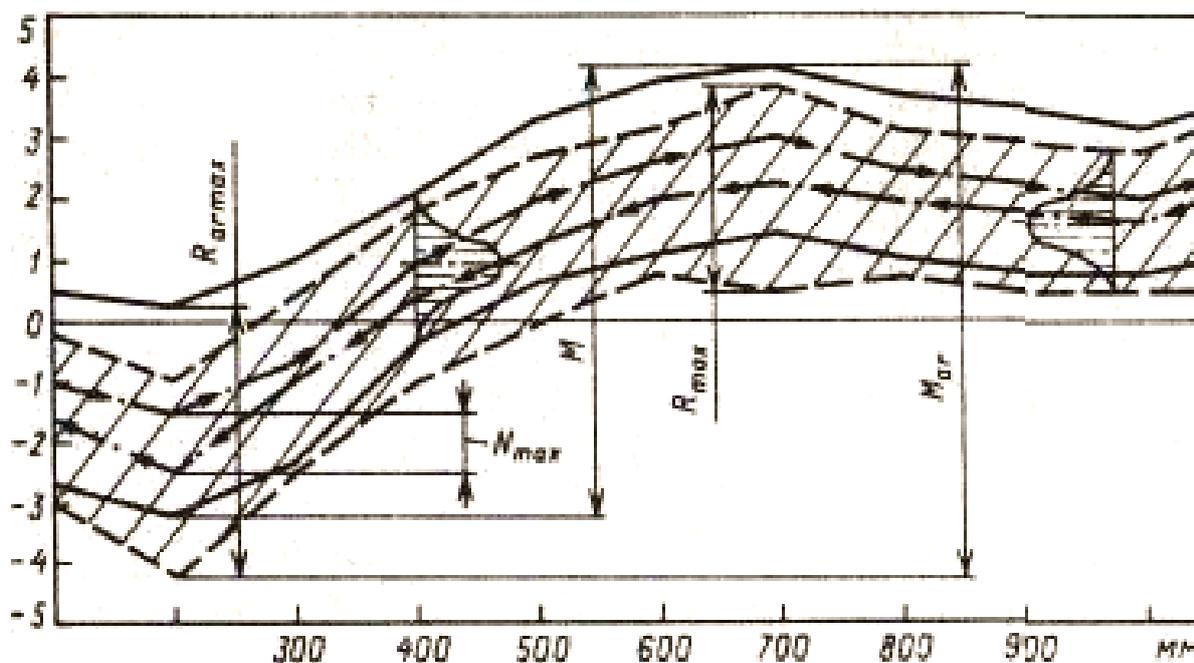


Рис. 7.25. График отклонений положения рабочего органа станка (стола, каретки) при перемещении его по управляемой координате в прямом и обратном направлениях: M – точность одностороннего позиционирования; M_{ar} – точность двустороннего позиционирования; R_{max} – стабильность одностороннего позиционирования; R_{armax} – стабильность двустороннего позиционирования; N_{max} – зона нечувствительности при реверсировании

Контрольные вопросы

1. Какое оборудование применяют для изготовления корпусных деталей в автоматизированном производстве?
2. Назовите требования технологичности, предъявляемые к корпусным деталям, обрабатываемым в автоматизированном производстве на станках с ЧПУ.
3. Назовите особенности построения технологического процесса изготовления корпусных деталей в автоматизированном производстве.

4. Как осуществляется выбор технологических баз при изготовлении корпусных деталей в автоматизированном производстве?
5. Какую функцию выполняют спутники, применяемые для изготовления корпусных деталей?
6. Как осуществляется ориентация и закрепление заготовок на спутниках?
7. С какой целью применяют гибкую технологическую оснастку?
8. Как осуществляется пересчет размеров детали при составлении управляющей программы для станка с ЧПУ?
9. Назовите оборудование, которое входит в состав ГПС.
10. Как осуществляется автоматический контроль точности деталей на рабочем месте?
11. Какие технологические задачи можно решать при оснащении многоцелевых станков измерительными системами?
12. Какие функции выполняет измерительная головка?
13. Каким вектором можно описать точность составляющего звена пространственной размерной цепи станка?
14. С какой целью выявляют и рассчитывают пространственные размерные цепи многоцелевых станков?

РАЗДЕЛ 3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВАЛОВ, ШПИНДЕЛЕЙ, ХОДОВЫХ ВИНТОВ И ФЛАНЦЕВ

Валы применяют в конструкциях различных машин и механизмов для передачи крутящего момента и обеспечения точности относительного положения устанавливаемых на них деталей. Применяемые в машиностроении валы имеют различные размеры, геометрическую форму и материал. Несмотря на это, при разработке технологического процесса изготовления валов технологу приходится решать многие однотипные задачи. Поэтому целесообразно пользоваться типовыми технологическими процессами, создаваемыми на основе классификации валов.

Различные по конструкции валы можно разделить на следующие классы, для каждого из которых имеет место определенная общность служебного назначения и общность технологических решений, применяемых при их изготовлении:

- гладкие валы (валы одного диаметра), к числу которых относят оси;
- ступенчатые валы, которые в зависимости от соотношения длины L и диаметра D бывают жесткие при $L / D \leq (10 \dots 15)$ и нежесткие, когда $L / D > 15$;
- шпиндели, полые валы со сквозным отверстием большого диаметра;
- ходовые винты;
- валы-шестерни, валы- червяки, валы с фланцем на конце;
- коленчатые валы (коленвалы);
- кривошипные и кулачковые (эксцентрикковые) валы.

ГЛАВА 8. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛОВ

Разработку технологического процесса изготовления вала следует начинать с изучения его служебного назначения в машине и анализа технических требований, которые должны соответствовать его служебному назначению. Для этого изучают сборочные чертежи машины или той сборочной единицы, в которую в качестве одного из звеньев

входит изготавливаемый вал. Анализ технических требований на узел, предъявляемые к нему нормы точности и требования технологии сборки позволяют установить требуемые параметры точности вала, которые должны быть выдержаны при его изготовлении.

8.1. Служебное назначение валов и технические требования

Ступенчатые валы предназначены для передачи крутящего момента и придания требуемой точности относительного положения устанавливаемых на них деталей – зубчатых колес, подшипников, муфт, звездочек, маховиков, рычагов, втулок и др. Конструкция валов в общем случае представляет собой достаточно сложную форму, определяемую сочетанием цилиндрических ступеней, шпоночных и шлицевых пазов, резьбовых поверхностей, канавок, зубчатых венцов и др.

Основными конструкторскими базами вала обычно являются две опорные шейки и два торца, по которым вал базируется в двух подшипниках. Роль исполнительных поверхностей на валах выполняют его вспомогательные базы (посадочные шейки) – ступени разного диаметра с расположенными на них торцами, буртиками, шпоночными и шлицевыми пазами, которые определяют положение устанавливаемых на вал деталей.

В соответствии со служебным назначением посадочные шейки вала могут быть цилиндрическими и коническими, на валах могут быть расположены также винтовые поверхности ходовых и крепежных резьб, направляющие фаски, канавки, лыски и другие поверхности.

Основные технические требования, определяющие точность изготовления ступенчатых валов следующие:

- прямолинейность оси вала, допускаемые отклонения 0,003...0,05 мм;
- соосность опорных шеек вала в пределах 0,003...0,015 мм;
- соосность посадочных ступеней с опорными шейками, отклонения в пределах 0,003...0,02 мм;
- отклонения от перпендикулярности (биение) опорных торцов относительно осей соответствующих ступеней в пределах 0,1...0,03 мм на базовой длине, равной диаметру торца D .

Технические требования на вал, определяемые соответствующими допусками формы и расположения его поверхностей, в общем виде представлены на рис. 8.1.

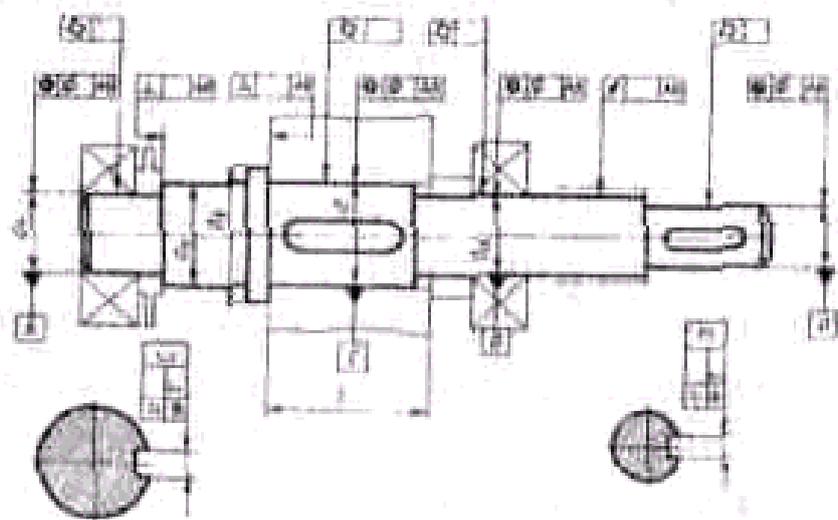


Рис. 8.1. Технические требования на вал, определяемые соответствующими допусками формы и расположения его поверхностей

Требования точности диаметральных размеров опорных шеек и посадочных ступеней зависят от служебного назначения вала (табл. 8.1) и в общем случае определяются квалитетами точности $IT9... IT6$.

Таблица 8.1. Точность опорных шеек и посадочных ступеней вала

Характер работы соединения	Поле допуска на диаметральный размер и шероховатость поверхности
На опорных шейках вала под подшипники качения класса $P0, P6$	
Легкий и нормальный	$h9; h8; h7; h6; g7; g6; f6$
Нормальный и тяжелый	$n6; m6; k6; j_s7; h7$
Допустимое отклонение формы опорных шеек по подшипники	
Для подшипников качения класса $P0, P6$	В пределах $0,5 IT$
Для подшипников качения класса $P5, P4$	В пределах $0,25 IT$
Шероховатость поверхности	
Опорных шеек и посадочных ступеней	$R_a 1,25...0,63$ мкм
Опорных торцев	$R_a 2,5...1,25$ мкм

Окончание табл. 8.1

Характер работы соединения	Поле допуска на диаметральный размер и шероховатость поверхности
На посадочных ступенях вала под зубчатые и червячные колеса	
Точное центрирование, прочное соединение	$s7; s6; p6; r6; n6; m6$
Для сменных и перемещаемых вдоль оси колес	$h8; h7; g6; f7; f9; e9$

Точность изготовления шпоночных пазов, располагаемых на валах, определяют следующие требования:

- симметричное положение паза относительно оси ступени вала в пределах $0,5T_{ш}$, где $T_{ш}$ – допуск на ширину шпоночного паза;
- параллельность плоскости симметрии паза относительно оси ступени в пределах $0,1/L \dots 0,02/L$ на длине L паза;
- точность по длине и осевому расположению паза $0,1 \dots 0,5$ мм;
- точность по глубине паза в пределах $0,1 \dots 0,2$ мм.

Требования по ширине шпоночного паза приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2. Точность ширины шпоночных пазов

Ширина шпоночных пазов трех исполнений			Вид соединения
I свободное	II нормальное	III плотное	
$H9$	$N9$	$P9$	Шпонки призматические
–	$N9$	$P9$	Шпонки сегментные

Требования к точности линейных размеров вытекают из служебного назначения вала. В большинстве случаев точность линейных размеров определяется в пределах $0,6 \dots 0,1$ мм.

Установление взаимосвязи вала с другими деталями узла и определение правильности простановки номинальных размеров и допусков осуществляют путем проведения размерного анализа рассматриваемого узла.

Рассмотрим методику выявления технических требований, и, в частности, требований на линейные размеры на примере вала-ротора синхронного генератора, представленного на рис. 8.2.

Обеспечение в процессе эксплуатации неизменности положения вала-ротора в осевом направлении достигается путем создания в левой подшипниковой опоре требуемого натяга. Этот натяг может быть создан при наличии определенного зазора A_{Δ} между торцом ступени вала и торцом ступицы вентилятора. Величину зазора A_{Δ} определяет размерная цепь (см. рис. 8.2.):

$$A_{\Delta} = -A_1 - A_2 + A_3 + A_4.$$

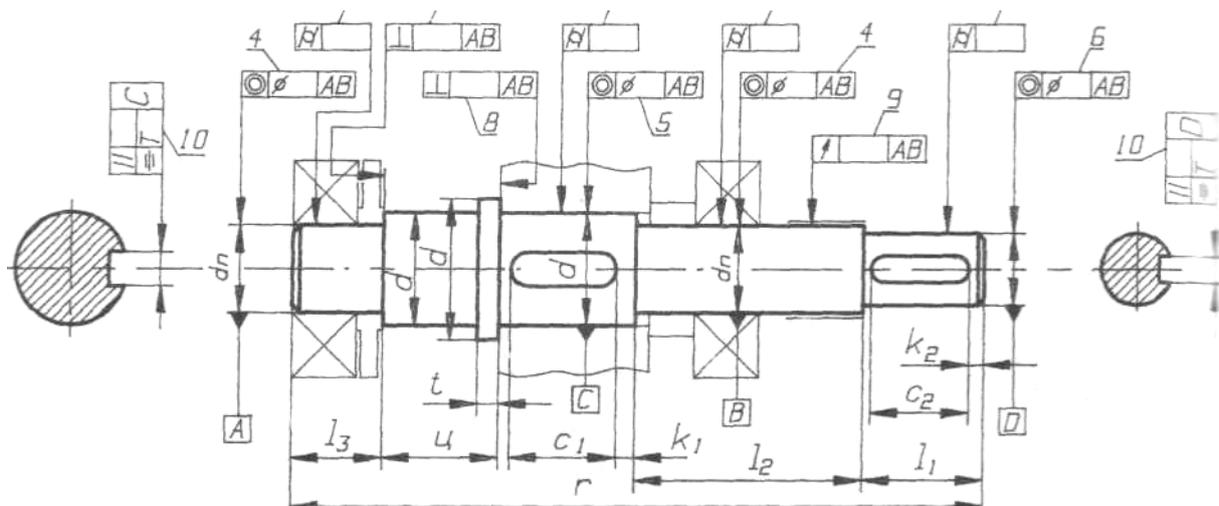


Рис. 8.2. Схема конструкторских размерных цепей генератора

В приведенной цепи одним из составляющих звеньев является линейный размер вала A_1 , для которого номинальные значения и предельные отклонения определяют на основе расчета размерной цепи.

При длительной эксплуатации генератора в результате нагрева возникают температурные деформации (удлинение вала в осевом направлении), что может привести к заклиниванию подшипников, к изгибу вала и как следствие к искажению электрических характеристик генератора. Для предотвращения этого явления в правой опоре вала-ротора устанавливают плавающий подшипник. Величину зазора B_{Δ} в плавающей подшипниковой опоре определяет конструкторская размерная цепь

$$B_{\Delta} = -B_1 - B_2 - B_3 - B_4 - B_5 + B_6 + B_7,$$

в которой составляющее звено B_6 определяет линейный размер вала (см. рис. 8.2). В результате расчета размерной цепи B_{Δ} в номиналах, а затем и в допусках, когда учитывается выбираемый метод достижения точности, получаем $B_6 = 290_{-0,234}$.

Одним из технических требований, определяющим качество сборки генератора, можно назвать совмещение оси симметрии щетки с осью симметрии коллекторного кольца B_{Δ} , расположенного на вале ротора:

$$B_{\Delta} = -B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 - B_6 - B_7.$$

Расчет размерной цепи B_{Δ} определяет требование обеспечения точности звена $B_6 = 245,7_{-0,234}$, которое служит соответствующим линейным размером вала - ротора.

Для повышения износостойкости рабочих поверхностей валов в технических требованиях предусматривают повышение твердости отдельных элементов до $HRC_3 > 45$ и выше. С этой целью вал подвергают термической обработке (закалке и отпуску). Если в технических требованиях предусматривается более высокая твердость отдельных элементов ($\sim 55 \dots 60 HRC$), то эти поверхности вала подвергают цементации и последующей закалке. Отделку закаленных поверхностей вала для достижения требуемых параметров его геометрической точности осуществляют шлифованием с использованием абразивных кругов.

8.2. Материал и методы получения заготовок для валов

В процессе работы на валы действуют значительные знакопеременные нагрузки, которые вызывают сложные деформации вала на кручение, изгиб, растяжение и сжатие. Поэтому материал, применяемый для изготовления валов, должен обладать высокой прочностью, малой чувствительностью к концентрации и перераспределению напряжений. Применяемый материал должен хорошо обрабатываться и иметь невысокую стоимость.

В соответствии с этим валы в основном изготавливают из конструкционных и легированных сталей 35, 40, 45, 40X, 50X, 40Г2 и др., которые для повышения износостойкости подвергают термической обработке. Валы в коробках передач автомобилей изготавливают из легированных сталей 30X, 35X, 19ХГН, 20ХГНМ, 25ХГМ. Легированные стали по сравнению с конструкционными обладают повышенной чувствительностью к концентрации напряжений и имеют более высокую стоимость.

Рациональный метод получения заготовок выбирают на основе расчетов, определяющих затраты и трудоемкость их изготовления, а также за-

траты на последующую механическую обработку заготовок. В общем случае геометрия и масса выбираемой заготовки должны как можно ближе соответствовать параметрам готовой детали. В этом случае достигается наиболее высокий коэффициент использования металла $K = Q_{\text{д}} / Q_{\text{з}}$, где $Q_{\text{д}}$ – масса детали, $Q_{\text{з}}$ – масса заготовки.

В мелкосерийном и единичном производстве, а также для изготовления гладких валов и валов с незначительной разницей диаметральных размеров в качестве заготовок применяют круглый горячекатаный прокат, диаметр которого может составлять 250 мм. Калиброванные (холодотянутые) прутки, стоимость которых значительно выше, применяют в качестве заготовок для валов, большая часть поверхности которых не подвергается механической обработке. Точность линейных размеров штучных заготовок, получаемых путем отрезки от прутка на разрезных станках – пилах, составляет 0,5...4,5 мм. В этом случае обычно оставляют припуск по длине для последующей чистовой подрезки торцев с двух сторон. При мерной разрезке прутка на токарных, фрезерно-отрезных и абразивно-отрезных станках достигают более высокую точность линейных размеров 0,2...0,6 мм. Заготовки, полученные таким методом, сразу поступают на механическую обработку.

В серийном и крупносерийном производстве при больших масштабах выпуска заготовки получают методами горячего пластического деформирования. Такими методами являются штамповка в открытых и закрытых штампах, высадка на горизонтально-ковочных машинах, ротационная ковка, горячее выдавливание, поперечно-винтовая прокатка и др. Возможно применение также холодной объемной штамповки. Коэффициент использования материала приближается при этом к 0,75...0,95.

Штамповку заготовок выполняют на прессах или на горизонтально-ковочных машинах. Штамповочные уклоны для наружных поверхностей заготовок составляют 3...7°, а для внутренних – 10...15°. Для повышения точности размеров и формы заготовки валов их подвергают калиброванию на кривошипно-чеканочных прессах.

Схема получения заготовки вала путем поперечно-винтовой прокатки на трехвалковом стане показана на рис. 8.3. Автоматизация работы таких станов включает автоматизированный нагрев, подачу прутка, прокатку, резку на мерные заготовки, охлаждение готового проката и его укладку.

Применение поперечно-винтовой прокатки для получения заготовки вторичного вала коробки передач автомобиля ЗИЛ позволяет уменьшить припуски на механическую обработку до 1...1,5 мм, обеспечив повышение коэффициента использования материала до 0,94 [25].

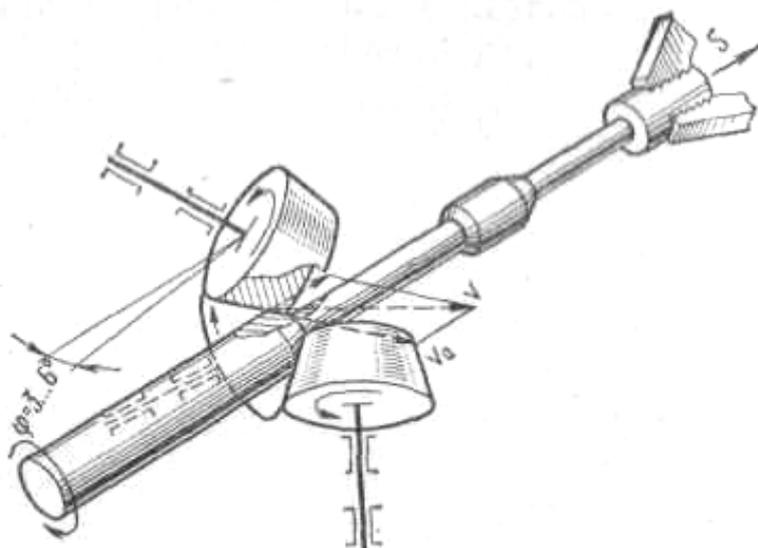


Рис. 8.3. Получение заготовок путем поперечно-винтовой прокатки на трехвалковом стане

Заготовки, получаемые ротационной ковкой отличаются малыми припусками и высокой точностью диаметральных размеров. Сущность метода заключается в периодическом обжатии и вытягивании по уступам штучной заготовки, нагретой до температуры горячего

пластического деформирования. Цилиндрическую заготовку отрезают от прутка, нагревают в печи до температуры 1100...1200 °С и устанавливают во вращающийся шпиндель ротационно-ковочной машины. В процессе вращения исходная заготовка подвергается обжатию комплектом бойков, совершающих в радиальном направлении ударное воздействие с частотой 0,1 с. В результате такого обжатия материал заготовки пластически деформируется и уменьшается в поперечном сечении, приобретая нужную геометрическую форму. Излишняя масса металла выдавливается бойками в осевом направлении, что приводит к образованию повышенных припусков на концах поковки. Для исключения этого необходимо обеспечить точную отрезку цилиндрической заготовки по длине, которая должна соответствовать объему получаемой поковки.

Ротационная ковка в горячем состоянии обеспечивает точность диаметральных размеров заготовок в пределах $\pm 0,3$ мм и точность линейных размеров ± 1 мм. Ротационная ковка в холодном состоянии при использовании металла, обладающего достаточной пластичностью, по-

зволяет получить диаметральные размеры заготовки с точностью $\pm(0,02 \dots 0,20)$ мм и шероховатость поверхности по $Ra = 0,63 \dots 0,32$ мкм.

Коэффициент использования металла в заготовках, полученных этим способом, составляет $0,85 \dots 0,95$. Процесс производительный, продолжительность операции получения одной заготовки составляет $40 \dots 70$ с, а время перенастройки оборудования на изготовление партии аналогичных заготовок для валов другого типоразмера не превышает $30 \dots 50$ мин.

Для снятия внутренних напряжений у заготовок, полученных обработкой давлением, выполняют термическую операцию, вид которой обуславливается материалом заготовки. Для низкоуглеродистых сталей обычно рекомендуется нормализация: для сталей марки 35Х – отжиг, для сталей марок 45, 40Х – улучшение.

Заготовки тяжелых крупногабаритных валов, а также валов с большим перепадом диаметральных размеров получают свободной ковкой. Такие заготовки имеют большие припуски и характерную огранку на цилиндрических поверхностях.

Характеристики точности и качества поверхности заготовок, получаемых обработкой давлением, приведены в табл. 8.3. Они относятся к поковкам массой $10 \dots 20$ кг.

Таблица 8.3. Точность размеров и шероховатость поверхности стальных заготовок, получаемых путем обработки давлением

Способы обработки давлением	Квалитет точности размеров <i>IT</i>	Шероховатость поверхности <i>Ra</i> , мкм
Свободная ковка:		
стержней, валов и дисков	18...19	30...60
полых валов и цилиндров	19...20	30...60
Штамповка:		
в открытых штампах	16...17	6...12
с горячей калибровкой	13...16	1...2,5
на ГКМ	13...15	2,5...5
Ротационная ковка	10...12	1...2,5
Холодная объемная штамповка выдавливанием	8...11	0,8...1,6
Холодная высадка	8...9	0,8...2,5

В отдельных случаях в качестве заготовок крупногабаритных валов используют отливки. Материалом таких валов служат чугуны или стали, обладающие хорошими литейными свойствами (ст. 45Л, 50Л, 55 Л). Заготовки-отливки, получаемые в оболочковые формы, имеют высокую точность, что позволяет существенно уменьшить припуски на диаметральные размеры, сократив до минимума число проходов при токарной обработке.

Производительность механической обработки валов во многом зависит от размеров и конфигурации заготовки, от марки материала, объемов выпуска и формы организации производства. Выбор наиболее рационального способа получения заготовки в каждом отдельном случае следует определять комплексно с учетом технико-экономической целесообразности, полагая, что с увеличением объема выпуска вопросы сокращения расходов на материал и уменьшения трудоемкости механической обработки приобретают особо важное значение. Поэтому выбираемые методы получения заготовок для крупносерийного и массового производства должны обеспечить коэффициент использования материала начиная от 0,75 и выше. В свою очередь, трудоемкость механической обработки валов на автоматизированных настроенных станках, применяемых в крупносерийном производстве, существенно сокращается с увеличением точности заготовок и уменьшением припусков на обработку.

8.3. Технологические базы и последовательность обработки валов

Основными конструкторскими базами вала являются поверхности его опорных шеек. Однако использование их в качестве технологических баз для обработки большинства других поверхностей затруднительно. Поэтому на большинстве выполняемых операций в качестве технологических баз вала используют специально создаваемые центровые гнезда и одну из его торцевых поверхностей (рис. 8.4). В этом случае вал устанавливают в двух центрах, что означает базирование с использованием двойной направляющей базы, при котором происходит совмещение линии центров с осью вала.

Таким образом, имеет место соблюдение принципа единства баз, в результате чего возможна обработка различных наружных цилиндрических и других поверхностей вала от единых технологических баз

с минимальным числом переустановок. Это особенно важно при изготовлении валов в автоматизированном производстве.

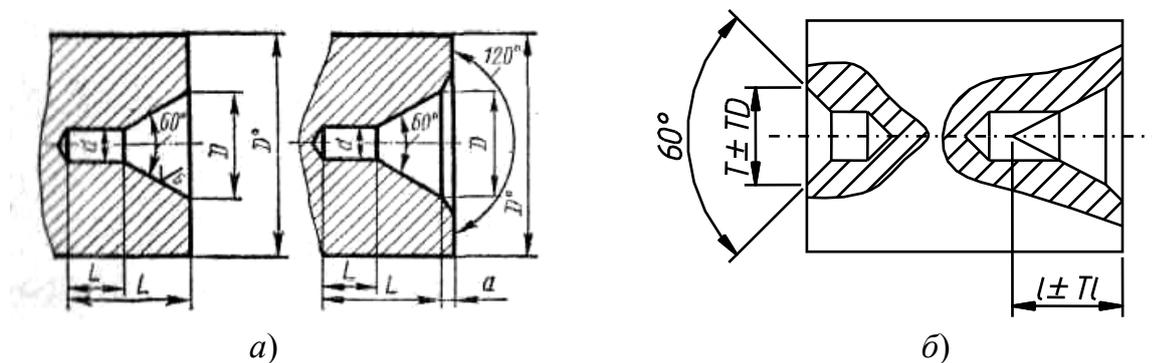


Рис. 8.4. Создаваемые технологические базы вала: а – геометрия центровых гнезд; б – погрешность установки вала, обусловленная различной глубиной зацентровки

В соответствии с этим механическую обработку валов начинают с операции подготовки технологических баз, которая включает подрезку двух торцов и их зацентровку. В условиях единичного и мелкосерийного производства эту операцию выполняют на токарных и токарно-револьверных станках, в средне- и крупносерийном производстве – на специальных центровальных или фрезерно-центровальных станках, которые можно встраивать в автоматические линии для изготовления валов.

При базировании вала в центрах на токарных станках или в приспособлениях левый (передний) центр неподвижен, он входит в центровое гнездо, выполняющее роль опорной базы. В свою очередь, правый подвижный центр создает силовое замыкание, обеспечивая поджим вала к базе. В результате этого на точность осевого положения вала, а следовательно, и на точность получаемых от базы линейных размеров оказывают прямое влияние глубина зацентровки и точность изготовления переднего центра (рис. 8.4, б). Погрешность установки в этом случае может составлять 0,2...0,6 мм. Для исключения влияния глубины зацентровки на точность линейных размеров в качестве опорной базы принимают левый торец вала, который поджимают к неподвижной втулке. При этом передний центр делают подпружиненным (плавающим), его располагают внутри опорной втулки (рис. 8.5). В результате погрешность установки вала в осевом направлении уменьшается до 0,03...0,12 мм.

Принятые условные обозначения возможных схем установки вала на станках и в приспособлениях с использованием опор различных конструкций приведены на рис. 8.6.

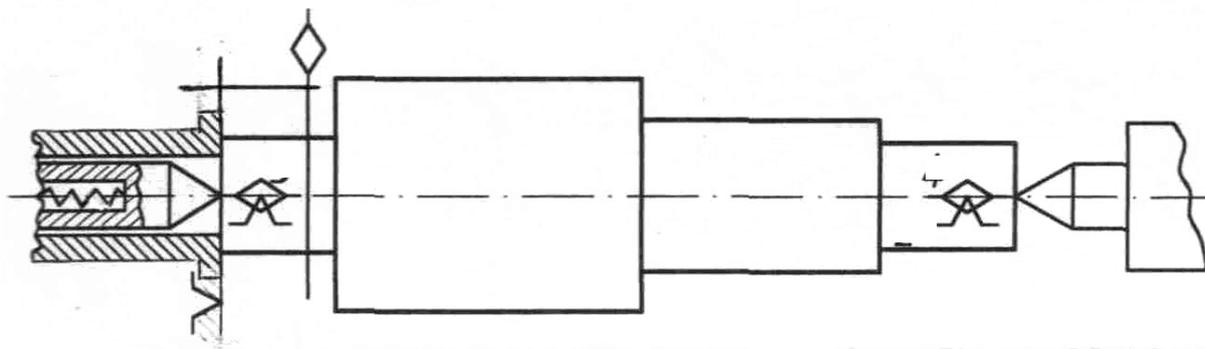


Рис. 8.5. Базирование вала с использованием опорной втулки и подпружиненного переднего центра

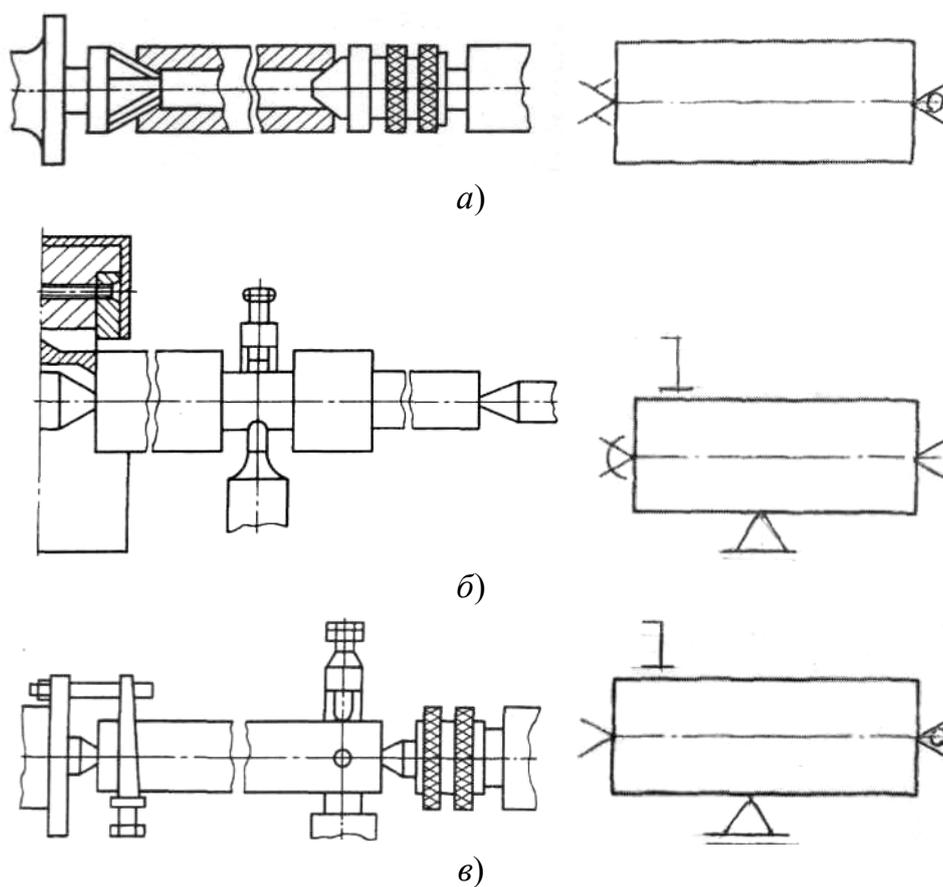


Рис. 8.6. Обозначение схем установки валов с использованием различных опорных элементов: а – установка на токарном станке с использованием рифленого переднего и вращающегося заднего центров; б – установка в центрах с опорой вдоль оси на втулку, передний центр подпружиненный, задний жесткий, между центрами неподвижный люнет; в – установка в центрах с подвижным люнетом, задний центр вращающийся

Поверхности опорных шеек или посадочных ступеней вала могут быть использованы в качестве двойной направляющей технологической базы на операциях по обработке шпоночных пазов, фрезерования лысок и сверления поперечных отверстий. В этом случае базирование вала осуществляется в призмах (рис. 8.6, б). При этом одну из торцевых поверхностей, от которой задается положение обрабатываемого паза или отверстия, выбирают в качестве опорной технологической базы.

Построение технологического маршрута, определяющего последовательность обработки ступенчатого вала, необходимо выполнять с учетом следующих основных положений:

- на первой или на первых двух операциях необходимо создать комплект технологических баз в виде двух торцевых поверхностей и центровых гнезд, которые будут использованы для последующей обработки вала;

- затем следует выполнить черновую токарную обработку по контуру вала с двух сторон, при этом снимается основной припуск, происходит уточнение параметров геометрической формы вала, обеспечивается равномерный припуск для последующей чистовой обработки и выполняется контроль годности заготовки для последующей обработки;

- после черновой обработки возможно выполнение промежуточной термообработки, например, нормализации для улучшения обрабатываемости малоуглеродистых и легированных сталей или старение – для снятия внутренних остаточных напряжений;

- следующий этап – чистовая токарная обработка по контуру вала с двух сторон; происходит окончательное формирование геометрии вала методом точения – снимаются фаски, прорезаются канавки, нарезаются винтовые поверхности; те поверхности, которые связаны повышенными требованиями точности относительного положения (соосность, перпендикулярность и др.), следует обрабатывать на одной операции с одного установа; на поверхностях, подвергаемых закалке, оставляют припуск для последующей отделки шлифованием;

- на следующем этапе нарезают шпоночные и шлицевые пазы с оставлением припуска на закаливаемых поверхностях для их отделки шлицевшлифованием;

– после чистовой обработки и завершения формирования геометрии вала выполняют термообработку – закалку и отпуск отдельных поверхностей; в результате обеспечивается достижение требуемой поверхностной твердости $HRC_3 > 45$ и структуры металла; для защиты незакаливаемых поверхностей их омедняют или предусматривают увеличенный припуск, равный глубине цементируемого слоя, который снимают после цементации до закалки;

– на завершающем этапе выполняют отделку шлифованием закаленных поверхностей с использованием абразивного режущего инструмента.

Ниже для сравнения приведены типовые технологические маршруты изготовления ступенчатых валов в мелкосерийном и крупносерийном производстве.

В условиях мелкосерийного производства для изготовления ступенчатого вала длиной 350 мм и диаметром 55 мм в качестве заготовки будет выбран горячекатаный прутки, который предварительно разрезают на части, а обработку вала будут выполнять по маршруту, представленному в табл. 8.4.

Таблица 8.4. Технологический маршрут изготовления ступенчатого вала в мелкосерийном производстве

№ п/п	Операция	Базирование	Оборудование
1	Отрезка заготовки от прутка	В тисках по цилиндрической поверхности прутка и по торцу	Отрезной станок
2	Подрезка торцев и зацентровка вала с обеих сторон (с переустановкой)	В патроне по цилиндрической поверхности прутка и по торцу	Токарно-револьверный станок
3	Черновая токарная обработка вала по ступеням с обеих сторон	В центрах и по торцу (с переустановкой)	Токарно-винторезный станок
4	Чистовая токарная обработка вала с обеих сторон, снятие фасок, прорезка канавок, нарезание наружной резьбы	В центрах и по торцу (с переустановкой)	Токарно-винторезный станок

Окончание табл. 8.4

№ п/п	Операция	Базирование	Оборудование
5	Фрезерование шпоночных пазов	В призмах по цилиндрической поверхности вала и по торцу	Универсальный вертикально-фрезерный станок
6	Слесарная операция – снятие заусенцев, притупление острых кромок	В тисках по цилиндрической поверхности	
7	Термообработка – закалка отдельных ступеней вала	В центрах и по торцу	Установка ТВЧ
8	Шлифование закаленных ступеней и торцов вала	В центрах и по торцу	Круглошлифовальный станок
9	Промывка и контроль		Моечная ванна

При наличии на валике отверстий, расположенных перпендикулярно к его оси, в технологическом маршруте предусматривают сверлильную операцию, которую выполняют после чистовой токарной обработки. Операцию проводят на вертикально-сверлильном станке при базировании вала по цилиндрической поверхности в призмах.

В крупносерийном производстве для изготовления вала (материал Ст. 45) длиной 420 мм и диаметром 62 мм, у которого на отдельных ступенях имеются наружная резьба и шлицевые пазы, будет использована штучная заготовка – штамповка, а изготовление вала выполняется по маршруту, приведенному в табл. 8.5.

Таблица 8.5. Технологический маршрут изготовления ступенчатого вала в крупносерийном производстве

№ п/п	Операция	Базирование	Оборудование
1	Одновременное фрезерование двух торцов и зацентровка заготовки с обеих сторон	В тисках по цилиндрической поверхности штамповки и по торцу	Фрезерно-центровальный полуавтомат

Окончание табл. 8.5

№ п/п	Операция	Базирование	Оборудование
2	Черновая токарная обработка вала по контуру с обеих сторон (с переустановкой)	В самозажимном патроне в центрах и по торцу	Токарный гидрокопировальный полуавтомат
3	Чистовая токарная обработка вала с обеих сторон, снятие фасок, прорезание канавок (с переустановкой)	В самозажимном патроне в центрах и по торцу	Токарный гидрокопировальный полуавтомат
4	Нарезание наружной резьбы с использованием резьбонарезной головки	В центрах и по торцу	Резьбонарезной станок
5	Фрезерование шпоночных пазов	В центрах и по торцу	Шпоночно-фрезерный полуавтомат
6	Фрезерование шлицевых пазов	В центрах и по торцу	Шлицефрезерный полуавтомат
7	Слесарная операция – снятие заусенцев, притупление острых кромок	В тисках по цилиндрической поверхности	–
8	Термообработка – закалка отдельных ступеней вала и шлицевых поверхностей	В центрах и по торцу	Установка ТВЧ
9	Шлифование закаленных ступеней и торцов вала	В центрах и по торцу	Круглошлифовальный станок
10	Шлифование шлицев	В центрах и по торцу	Шлицешлифовальный полуавтомат
11	Промывка и контроль	–	Моечная ванна

8.4. Токарная обработка валов

Двусторонний фрезерно-центровальный станок 73С1 имеет две позиции для крепления заготовки, на которых производятся последовательно фрезерование и центрование.

Фрезерно-центровальные станки МР77 и МР78 барабанного типа одновременно фрезеруют и центруют две заготовки без съема их со станка. Эти станки производительные, но громоздкие, наладка их

сложна. В действующих автоматических линиях применяют станки А981 для фрезерования торцов и А982 для центрования.

В зависимости от объема выпуска наружные поверхности валов обрабатывают на универсально-токарных, токарно-револьверных, токарно-копировальных, горизонтальных многорезцовых станках, на вертикальных одношпиндельных и многшпиндельных автоматах, а также на токарных станках с ЧПУ.

Наличие на станках токарного типа устройств программного управления, например копировальных суппортов, устанавливаемых на универсально-токарные станки, гидрокopировальных систем или систем ЧПУ позволяет быстро и с высокой точностью получать различные по геометрии ступенчатые, конические и профильные поверхности. Профильные поверхности можно получить также методом копирования с использованием широких фасонных резцов путем поперечного точения. Длина обрабатываемой фасонной поверхности в этом случае не превышает 0,3 диаметра обрабатываемого участка вала, а ширина фасонных резцов может составлять 50 ... 80 мм.

На рис. 8.7 дана схема наладки токарного станка на обработку ступенчатого вала с использованием гидравлического суппорта, обеспечивающего чистовое точение по контуру вала. Предварительная обработка, а также прорезание канавок и подрезка торцов на отдельных ступенях осуществляются резцами, установленными на поворотном резцедержателе. Дальнейшее повышение производительности достигают применением поворотных барабанов с несколькими копиями, что позволяет выполнять по копиям не только чистовую, но и предварительную обработку с обоих концов вала. Точность токарной обработки с использованием гидравлического суппорта определяется качествами ИТ9...8.

В мелкосерийном производстве для более эффективного использования гидравлических суппортов целесообразно применять групповую обработку, т. е. обработку валов нескольких наименований, различающихся размерами в пределах группы. В результате осуществляются минимальная переналадка и при необходимости небольшая корректировка лимбом гидравлического суппорта. Это на 80...85 % сокращает штучное время.

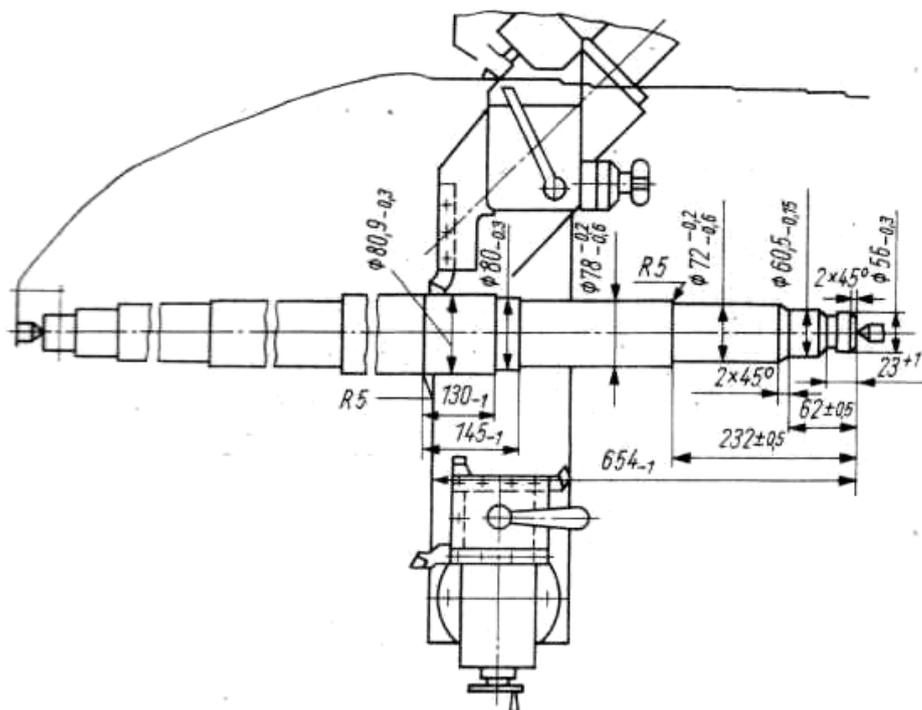


Рис. 8.7. Схема наладки токарного станка с гидравлическим суппортом

В серийном и в крупносерийном производстве широкое распространение находят многорезцовые токарные и гидроконтрольные станки-полуавтоматы и автоматы. Однопроходная копировальная и однопроходная многорезцовая обработка жестких валов обеспечивают точность по квалитетам $IT\ 10 \dots 9$. Многорезцовая обработка может оказаться эффективнее копировальной для валов, имеющих большие длину и диаметры и большие перепады ступеней, так как в продольном суппорте можно установить большое число резцов. Однако чрезмерное увеличение сил резания может привести к деформированию обрабатываемого вала, а это вынуждает снижать подачу по сравнению с подачей при обработке на копировальном станке. Поэтому в каждом конкретном случае при окончательном выборе метода обработки следует принимать во внимание результаты расчетов на точность и экономическую целесообразность.

Высокая производительность при многорезцовом точении достигается за счет совмещения времени выполнения переходов и рационального разбиения обрабатываемых поверхностей на участки меньшей длины. При проектировании многорезцовой наладки обычно рас-

смаатривают несколько возможных вариантов и выявляют рациональный вариант.

Рассмотрим это на примере схем многолезвцовой токарной обработки, представленных на рис. 8.8. Согласно схеме, приведенной на рис. 8.8, *а*, каждую ступень вала обтачивают одним резцом. При этом величина рабочего хода продольного суппорта задается в соответствии с длиной наибольшей ступени, обрабатываемой резцом 1. Резцы 2 и 3 также выполняют параллельную обработку ступеней меньшего диаметра и меньшей длины. Расстояние между резцами соответствует длине ступеней, что позволяет выключить рабочую подачу и отвести суппорт в момент окончания обработки всех трех ступеней. По окончании продольного точения в работу вступает поперечный суппорт, на котором установлены два резца, выполняющие параллельное точение – прорезку канавки и снятие фаски.

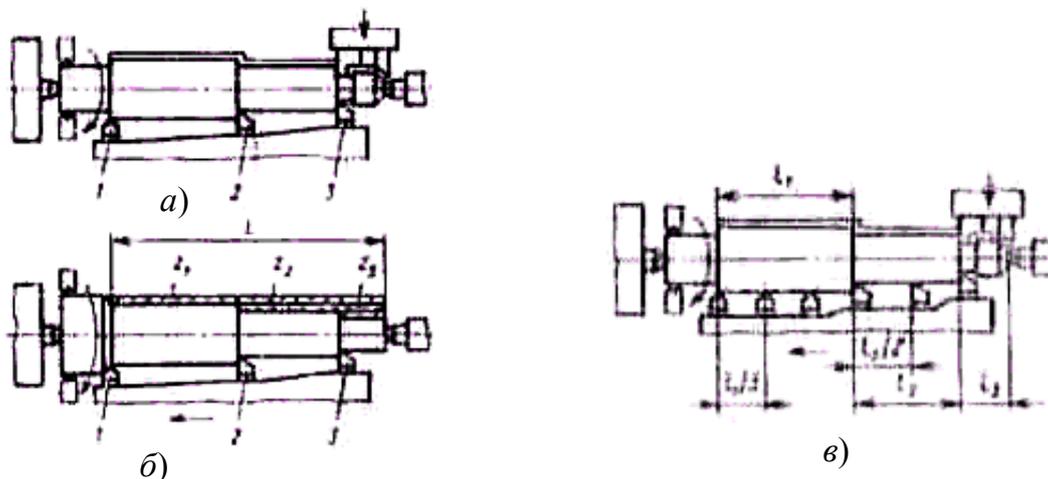


Рис. 8.8. Схемы обработки на многолезвцовых токарных станках

Согласно наладке, приведенной на рис. 8.8, *б*, первую ступень вала длиной l_1 обрабатывают тремя проходными резцами, вторую l_2 – двумя, а третью l_3 – одним резцом. При такой наладке длина перемещения продольного суппорта на рабочей подаче уменьшается в три раза, она соответствует длине самой короткой ступени l_3 . Это означает, что продолжительность продольного точения по сравнению с первой схемой (см. рис. 8.8, *а*) также уменьшается в три раза. Для выполнения такой наладки необходимо соблюдение условий $l_1 = 3 \cdot l_3$ и $l_2 = 2 \cdot l_3$, в соответствии с которыми расстояние между смежными резцами, ус-

танавливаемыми на первой и второй ступенях, должно быть равно длине короткой ступени l_3 . Однако при наладке по второй схеме (см. рис. 8.8, б), когда точение одной поверхности выполняется несколькими резцами, на обработанной поверхности возможно появление уступов из-за неточности установки резцов на размер и различной интенсивности их изнашивания. В общем случае количество резцов, применяемых для обработки соответствующей ступени, и устанавливаемое между ними расстояние зависят от соотношения длин обрабатываемых ступеней l_1/l_3 и l_2/l_3 .

В тех случаях, когда в качестве заготовки применяют круглый прокат, многорезцовую токарную обработку выполняют по методу деления припуска (рис. 8.8, в). Перемещение суппорта происходит на полную длину обрабатываемых поверхностей L . При этом каждый резец снимает определенный припуск z_1, z_2, z_3 , ступень меньшего диаметра обрабатывается последовательно тремя резцами, а средняя ступень – двумя резцами.

Современные гидрокопировальные станки-полуавтоматы, применяемые в крупносерийном производстве, обеспечивают высокую производительность. Их модельный ряд позволяет изготавливать валы в достаточно широком диапазоне типоразмеров. На этих станках можно выполнять предварительное и чистовое продольное точение однорезцовым копировальным суппортом, а также параллельно-последовательную обработку канавок, фасок и торцевых поверхностей многорезцовым суппортом (см. рис. 8.28). Для получения линейных размеров от постоянной базы рекомендуется применять плавающие передние центры с упором торца заготовки в опорную втулку (см. рис. 8.5), что позволяет исключить влияние глубины зацентровки на точность линейных размеров вала.

Перенастройка гидрокопировального полуавтомата на обработку нового вала, выполняемая на этапе статической настройки, предусматривает установку нового копира, изменение положения кулачков путевой автоматики и задание новых режимов обработки.

Гидрокопировальные станки встраивают в автоматические линии для изготовления валов (см. п. 8.8). Они имеют открытую рабочую зону, что позволяет встраивать транспортер, осуществляющий сквозное транспортирование заготовок вдоль линии.

Токарную обработку валов выполняют с использованием на соответствующих переходах как цельных резцов из быстрорежущей стали,

так и сборных резцов с твердосплавными пластинами. При использовании резцов из быстрорежущей стали (Р6М5, Р6М3, Р9К5 и др.) скорость резания v при точении составляет 30...90 м/мин, при использовании твердосплавных резцов (Т15К6, Т5К10, ВК6, ВК8 и др.) $v=60...800$ м/мин. Резцы с режущими элементами из сверхтвердых инструментальных материалов позволяют выполнять точение со скоростью более 1000 м/мин. Скорость резания выбирают с учетом стойкости инструмента, а величину продольной подачи – с учетом требований шероховатости получаемой поверхности и других параметров точности. Применяемые на практике режимы обработки стальных и чугунных заготовок (скорость v , подача s , глубина резания t) приведены в табл. 8.6.

Таблица 8.6. Режимы резания, применяемые при токарной обработке стальных и чугунных заготовок

Точение, расточивание	Обработка чугуна			Обработка стали		
	t , мм	s , мм/об	v , м/мин	t , мм	s , мм/об	v , м/мин
Черновое	4...12	1...3,5	30...130	2...10	1-3,0	40-100
Получистовое	2...4	0,35...15	100...185	1...3	0,35-1,5	80-150
Чистовое	0,15...2	0,05...0,5	170...320	0,15...1,5	0,05-0,5	120-320

За счет увеличения скорости резания твердосплавные резцы обеспечивают повышение производительности обработки по сравнению с быстрорежущими резцами в среднем до пяти раз. Они особенно эффективны при обработке труднообрабатываемых конструкционных материалов. Достижимые при токарной обработке параметры точности валов приведены в табл. 8.7.

Таблица 8.7. Параметры точности валов, достигаемые при токарной обработке

Способ обработки	Шероховатость поверхности Ra , мкм	Квалитет допуска размера IT	Степень точности формы
Обработка наружных цилиндрических поверхностей, продольное точение (диаметральные размеры)			
Черновое	50...6,3	14..12	13...11
Получистовое	25...1,6	11...10	12...10
Чистовое	6,3...4	9...8	11...7
Тонкое	1,6...0,2	8...6	7...4

Окончание табл. 8.7

Способ обработки	Шероховатость поверхности Ra , мкм	Квалитет допуска размера IT	Степень точности формы
Обработка наружных торцевых поверхностей, поперечное точение (линейные размеры)			
Черновое	100...25	14...12	14...12
Получистовое	12,5...6,3	12...11	12...11
Чистовое	6,3...3,2	10...9	11...8
Тонкое	1,6...0,8	8...9	7...5

Сверхтвердые инструментальные материалы (композиты эльбор-Р, гексанит-Р и др.) применяют для обработки заготовок точением из закаленных сталей и чугунов. Стойкость таких резцов в 5...12 раз выше твердосплавных, что позволяет повысить не только скорость резания, но и размерную точность обработки. В результате эффективность применения резцов со сверхтвердым материалом в 5...6 раз выше, чем твердосплавных, что особенно проявляется при обработке высокопрочных закаленных сплавов. Однако в связи с невысокой прочностью таких материалов их применяют только при чистовой и получистовой обработке с малой глубиной резания и подачей. При чистовом точении резцами с элементами из сверхтвердых инструментальных материалов рекомендуется снимать припуск не более 0,1...0,2 мм, а продольную подачу выбирают в диапазоне $s = 0,03...0,15$ мм/об.

8.5. Методы нарезания резьбы на валах

В соответствии со служебным назначением резьбы делят на две группы: резьбы общего назначения, куда входят крепежные, кинематические, трубные, и специальные резьбы.

Крепежные резьбы (метрические, дюймовые) используют в разъемных соединениях для создания прочности соединения и сохранения плотности стыка в процессе эксплуатации изделия. Эти резьбы широко применяют в конструкциях ступенчатых валов.

Кинематические резьбы (трапецеидальные, прямоугольные и др.) предназначены для преобразования вращения в точное поступатель-

ное перемещение и наоборот. Их применяют в ходовых винтах в передачах винт-гайка, используемых на станках, в приборах и в других изделиях.

Трубные резьбы применяют в трубопроводах для обеспечения прочности и герметичности их соединений с арматурой.

Резьбы можно классифицировать по форме профиля, числу заходов (однозаходные, двухзаходные и т.д.); по форме винтовой поверхности (цилиндрические, конические); направлению винтовой линии (правые, левые); по принятой единице измерения линейных размеров (метрические, дюймовые).

Общим требованием для всех видов стандартных резьб является обеспечение свинчиваемости и взаимозаменяемости для независимо изготовленных соединяемых резьбовых деталей.

Согласно стандарту обозначение резьбы на чертежах состоит из двух частей – обозначения ее геометрических параметров и полей допусков. Например, обозначение на сборочном чертеже метрической резьбы с номинальным диаметром $M 20$ и шагом 2 имеет вид: $M 24 \times 2 - 6H/6g$, где $6H$ и $6g$ – поля допусков резьбы соответственно на гайке (муфте) и на вале (болте). В соответствии с этим обозначение резьбы на деталях: наружной на вале $M 24 \times 2 - 6g$; внутренней на гайке (муфте) $M 24 \times 2 - 6H$.

В отличие от гладких цилиндрических соединений при обозначении точности резьбы цифра, определяющая ее степень точности, пишется перед буквенным обозначением основного отклонения.

Обозначение шага после номинального диаметра дается только для мелких резьб. Резьбы с нормальным (крупным) шагом обозначают без указания величины шага $M 24 - 6g$. Для левых резьб после условного обозначения ставят « LH », например, $M24LH - 6g$.

Для многозаходной резьбы после номинального диаметра указывается числовое значение хода, а в скобках после буквы « P » – величина шага, например, $M 24 \times 3(P1) LH - 6g$, что означает – резьба метрическая, наружная, левая, трехзаходная (ход 3 мм) с шагом 1 мм.

Обозначение допуска наружной резьбы, расположенной на вале (болт), включает обозначение поля допуска среднего диаметра резьбы и допуска наружного диаметра. Если эти допуски одинаковы, то их обозначение, как показано выше, дается цифрой и буквой, которые опре-

деляют степень точности и основное отклонение. Если допуски на средний и наружный диаметры резьбы разные, то вначале обозначают поле допуска среднего диаметра, а затем допуск наружного диаметра резьбы, например $M\ 24\times 2-7h6g$.

Обозначение допуска внутренней резьбы у сопрягаемой с валом гайки (муфты) также включает обозначение поля допуска среднего диаметра и допуска внутреннего диаметра резьбы. Если эти допуски различны, то вначале обозначают поле допуска среднего диаметра, а затем допуск внутреннего диаметра резьбы, например $M\ 24\times 2-5H\ 6H$.

Согласно стандарту для оценки точности наружных метрических крепежных резьб используют допуски $4h$; $6g$; $6h$; $6e$; $6d$; $7h6h$; $7g6g$; $7e6e$; $8h$; $8g$, а для оценки точности внутренних резьб допуски $4H5H$; $5H6H$; $6H$; $6G$; $7H$; $7G$.

В процессе резания резьбовая поверхность создается при винтовом движении плоского контура по цилиндрической или конической поверхности. Различные по профилю наружные и внутренние резьбы могут быть получены нарезанием профиля резьбы режущим инструментом или накатыванием профиля резьбы накатным инструментом.

Нарезание резьбы может быть выполнено резьбовыми резцами, гребенками, метчиками, резьбовыми плашками, резьбонарезными головками, резьбовыми фрезами, дисковыми шлифовальными кругами.

Резьбовые резцы применяют для нарезания точных наружных и внутренних резьб различного профиля – треугольного, трапецеидального, прямоугольного, круглого. Нарезание выполняют на универсальных токарно-винторезных станках, специальных резьботокарных станках с автоматическим циклом и на станках с ЧПУ токарного типа. Это наиболее простой и универсальный способ, позволяющий одним и тем же инструментом нарезать резьбы различного диаметра и шага на цилиндрических и конических поверхностях.

Основные виды применяемых резьбовых резцов представлены на рис. 8.9. Однопрофильные (однониточные) резцы могут быть составными с напаянной твердосплавной пластинкой (рис. 8.9, *а*), сборными с призматической вставкой из быстрорежущей стали или с неперетачиваемой твердосплавной пластинкой (рис. 8.9, *б*, *в*). Многопрофильные резцы (гребенки) могут быть призматическими (рис. 8.9, *г*) или круглыми с кольцевой или винтовой нарезкой (рис. 8.9, *д*, *е*).

При угле подъема винтовой линии $\beta \geq 3...4^\circ$ резец наклоняют к оси заготовки на угол $\lambda = \beta$. Профиль резьбового резца по передней поверхности при расположении ее в плоскости, проходящей через ось ходового винта, совпадает с профилем резьбы в осевом сечении. В этом случае передний угол $\gamma = 0^\circ$ и $\lambda = 0^\circ$.

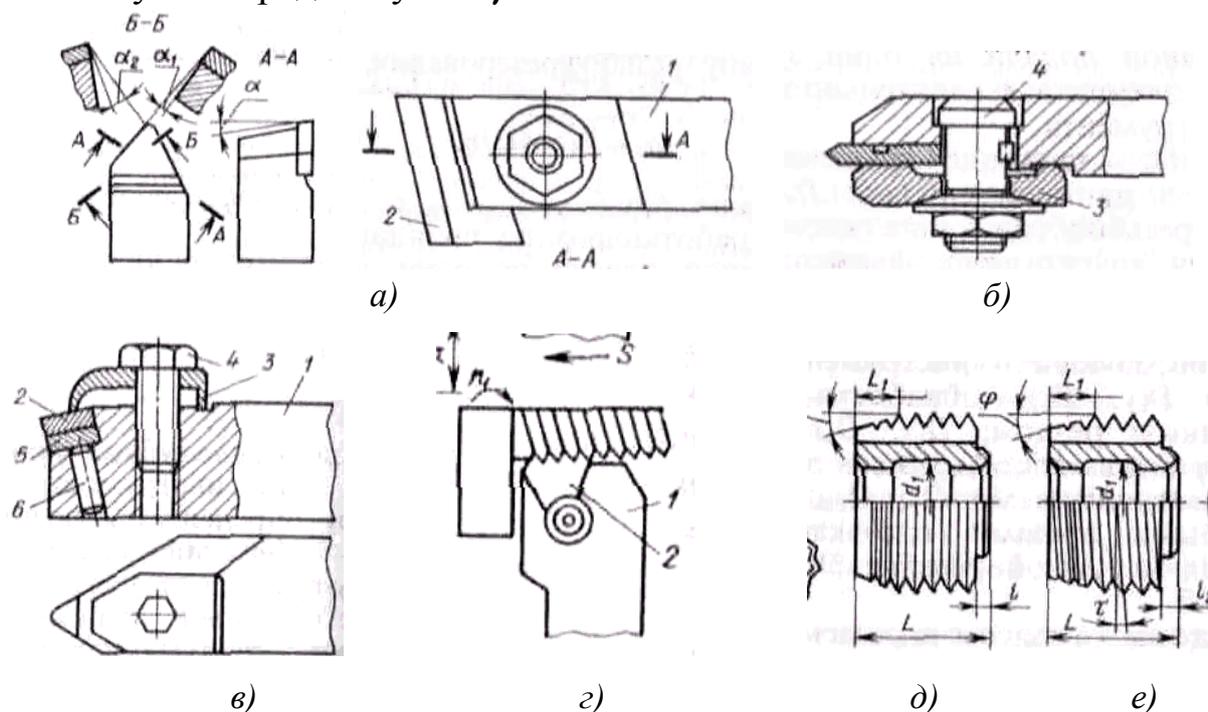


Рис. 8.9. Резьбовые резцы: а – с напаянной твердосплавной пластинкой; б – с призматической вставкой; в – с неперетачиваемой твердосплавной пластинкой; г – многопрофильный; д – круглый с кольцевой нарезкой; е – круглый с винтовой нарезкой

В процессе обработки заготовка вращается со скоростью резания v , а профильный резец перемещается с продольной подачей s (мм/об), равной шагу резьбы $s = P$ на оборот заготовки. В результате происходит вырезание по винтовой линии слоев металла в соответствии с профилем впадины.

Нарезание резьбы мелкого модуля выполняют за один проход. Глубина резания t в этом случае равна высоте профиля резьбы $t = h_3$. При нарезании резьбы многопрофильными резцами – гребенками глубина резания для каждого элементарного резца, образующего режущую часть, уменьшается в несколько раз:

$$t = h_3 P / l_1,$$

где P – шаг резьбы; l_1 – длина режущей части гребенки.

Для нарезания многозаходной резьбы требуется выполнить точное угловое деление заготовки при переходе с одной нитки на другую. Это деление выполняют с помощью специального градуированного патрона или путем смещения резца на шаг с помощью верхнего суппорта.

Многопроходное нарезание применяют для получения резьб среднего и большого модуля. При этом используют три схемы врезания (рис. 8.10): радиальное врезание (рис. 8.10, а), боковое (рис. 8.10, б) и комбинированное (рис. 8.10, в), при котором достигают лучшего качества поверхности по сравнению со второй схемой.

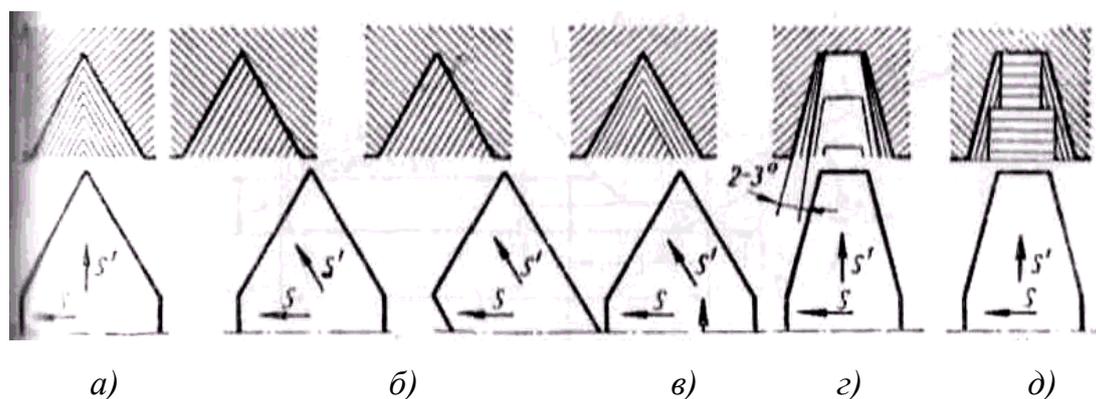


Рис. 8.10. Схемы многопроходного нарезания винтовых поверхностей: а – радиальное врезание; б – боковое врезание; в – комбинированное врезание; г и д – предварительное нарезание трапецидальной резьбы

Плашки применяют для нарезания наружных резьб на цилиндрической или конической поверхностях. В процессе обработки заготовка вращается v , а плашка поджимается к торцу обрабатываемой цилиндрической поверхности, самоустанавливается по ней и путем самозатягивания перемещается в осевом направлении с обратной подачей, равной шагу нарезаемой резьбы $s = P$.

С помощью плашек наружные резьбы нарезают на токарных, револьверных и других станках, а также вручную. Нарезание обычно выполняют за один проход. Плашка закрепляется в плашкодержателе, который так же, как и метчик для осуществления самоустановки и самозатягивания должен иметь определенную подвижность вдоль оси резьбы и в плоскости, перпендикулярной к оси. С этой целью применяют плавающие патроны [21]. Обычными круглыми плашками нарезают резьбы невысокой степени точности (8g). Плашками с доведенными режущими кромками можно дополнительно калибровать резьбы и достигать более высокой степени точности (6g, 4h).

Резьбовые фрезы применяют для нарезания наружных и внутренних резьб как на цилиндрической, так и конической поверхностях. Резьбовые фрезы по конструкции бывают следующих типов: многопрофильные (многониточные), гребенчатые групповые, гребенчатые сборные охватывающие фрезы, а также однопрофильные (однорезцовые) дисковые и пальцевые фрезы.

Схемы нарезания резьбы с использованием гребенчатых групповых фрез показаны на рис. 8.11. Ось фрезы располагается параллельно оси вращающейся заготовки, фреза вращается в обратном направлении и врезается на глубину t , равную высоте профиля резьбы $t = h_z$. Затем за период 1,25...1,5 оборота заготовки фреза перемещается в осевом направлении с подачей s , равной шагу нарезаемой резьбы $s = P$. В результате происходит одновременное нарезание по всей резьбовой поверхности.

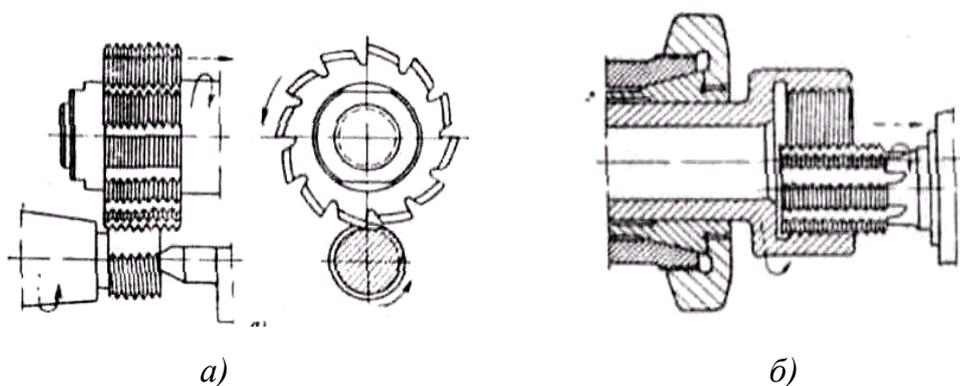


Рис. 8.11. Нарезание резьбы с использованием гребенчатых групповых фрез: а – наружных; б – внутренних

Количество гребенчатых групповых фрез в наборе подбирают так, чтобы его длина на 2...3 нитки превышала длину резьбы. Для формирования резьбы заготовка или фреза должна переместиться в осевом направлении на один шаг. Практически резание выполняется за 1,25 оборота вала; дополнительные 1/4 оборота предусматривают для перекрытия места врезания фрезы.

Этот высокопроизводительный метод обработки применяют для нарезания коротких наружных и внутренних остроугольных резьб, которые могут непосредственно примыкать к ступени вала (рис. 8.11, а) или торцу глухого отверстия (рис. 8.11, б). Такие фрезы обладают высокой стойкостью, что позволяет эффективно использовать их при об-

работке вязких и твердых сталей. Обработку выполняют на специальных резбонарезных станках моделей 563А, 563В, 5К63, КТ85. Режимы резания при фрезеровании резьбы с шагом $P = 0,8 \dots 3,5$ мм составляют: скорость $v = 30 \dots 75$ м/мин, подача для стальных заготовок $s_z = 0,02-0,1$ мм/зуб, для чугунных $s_z = 0,06-0,14$ мм/зуб. Точность резьбы, получаемой этим методом, составляет 8g, 6g.

Резбонарезные головки представляют собой сборный охватывающий инструмент сложной конструкции, составленный из комплекта круглых гребенок или плоских плашек (рис. 8.12). Плашки располагают относительно нарезаемой заготовки с равным угловым шагом радиально (рис. 8.12, а, в) или тангенциально (рис. 8.12, б).

Для нарезания резьб на токарных и револьверных станках применяют неврещающиеся головки, а на токарных автоматах, сверлильных и болторезных станках применяют вращающиеся головки.

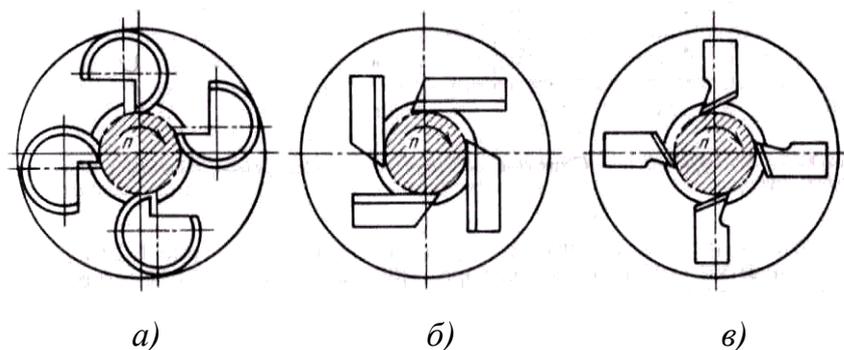


Рис. 8.12. Нарезание резьбы с использованием резбонарезных головок: а – с круглыми гребенками; б – с плоскими тангенциальными плашками; в – с плоскими радиальными плашками

Наибольшее распространение получили самооткрывающиеся головки с круглыми гребенками (см. рис. 8.12, а). При вращении заготовки головка со сведенными гребенками подводится в осевом направлении и выполняет нарезание резьбы. При выходе на упор, соответствующий требуемой длине нарезаемой резьбы, гребенки выходят из резьбы, головка раскрывается и возвращается в исходное осевое положение. В результате отпадает необходимость обратного свинчивания, что значительно повышает производительность резбонарезания. Наружный диаметр нарезаемой заготовки d_z можно рассчитать по формуле

$$d_3 = d - kP,$$

где d – номинальный диаметр нарезаемой резьбы, мм; P – шаг резьбы, мм, k – коэффициент, равный для чугуна 0,10, для стали – 0,15 и 0,20 для бронз и твердых латуней.

Скорости резания при нарезании резьб диаметром $d=6\dots 50$ мм с использованием резьбонарезных головок составляют: для стальных заготовок $v = 5,5\dots 17$ м/мин, для чугунных $v = 12,0\dots 30$ м/мин, а для заготовок из бронз и латуней $v = 14,0\dots 34$ м/мин. Таким образом, этот способ позволяет выполнять резьбонарезание с более высокой скоростью резания; точность получаемой резьбы 6g, 4h. При этом допускается регулирование диаметра нарезаемой резьбы в определенных пределах и многократная повторная заточка плашек.

Накатывание резьбы представляет собой наиболее производительный метод получения резьбовой поверхности, основанный на пластическом деформировании металла заготовки без снятия с нее стружки. Получение резьбовой поверхности путем накатывания имеет ряд преимуществ:

- экономия металла на 10...30 % , получаемая в результате отсутствия отходов в стружку при диаметре исходной заготовки меньшем, чем диаметр получаемой резьбы;
- повышение усталостной прочности резьбы на 20...40 % , получаемой в результате образования наклепа на резьбовой поверхности;
- повышение точности резьбы и качества шероховатости поверхности до уровня резьбошлифования;
- повышение производительности резьбонарезания до восьми и более раз.

Накатывание резьбы может осуществляться следующими способами: резьбонакатными роликами (рис. 8.13, а) при их радиальном движении; накатывание с использованием резьбонакатных головок аксиального типа с осевой подачей заготовки (рис. 8.13, б); накатывание резьбы с помощью резьбонакатных плашек (рис. 8.13, в).

Накатывание резьбы двумя роликами с радиальной подачей выполняют на специальных резьбонакатных станках (см. рис. 8.13, а). Заготовку 2 устанавливают на опорную линейку 3, а два вращающихся ролика 1, 4 при сближении в радиальном направлении начинают вращать заготовку и накатывать резьбу. Расстояние между роликами в конце рабочего хода

$$a = d + 0,5 (D_1 + D_2),$$

где D_1, D_2 – наружные диаметры роликов; d – внутренний диаметр накатываемой резьбы.

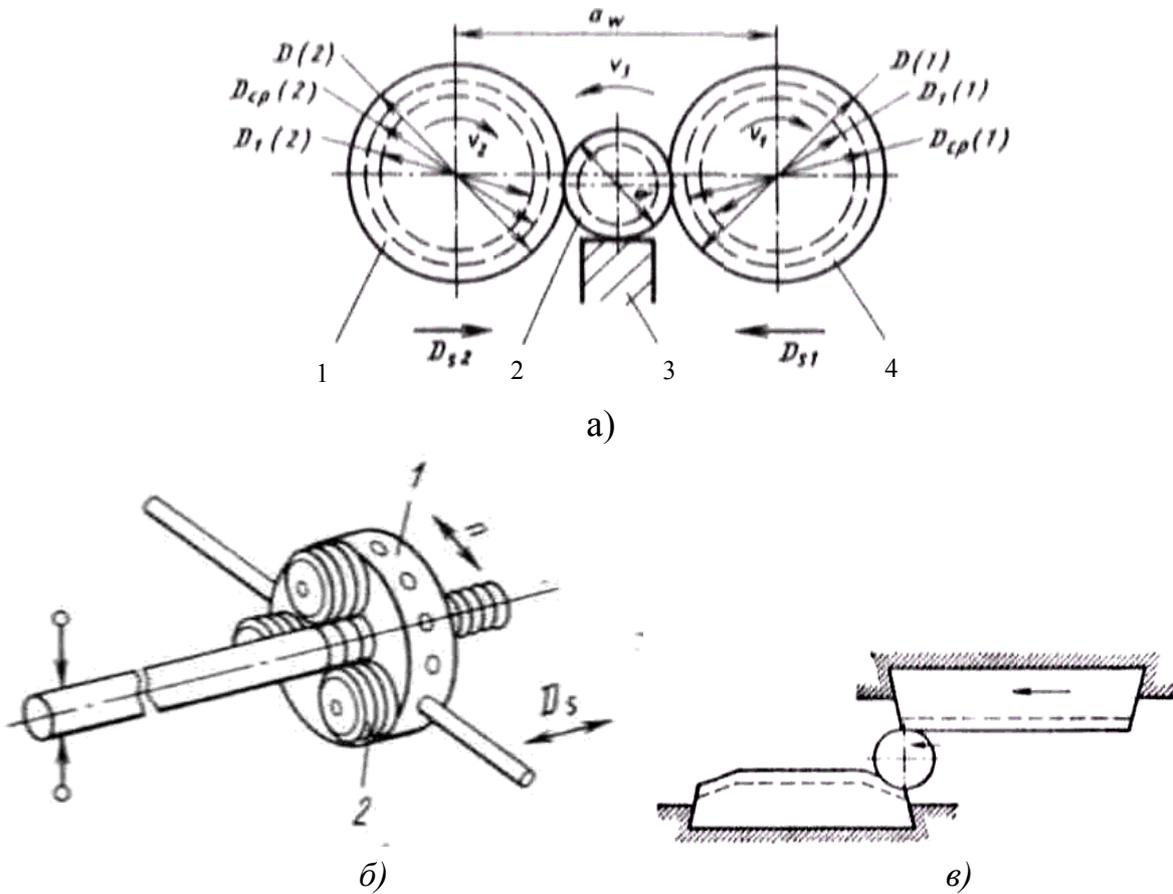


Рис. 8.13. Накатывание резьбы: а – резьбонакатными роликами; б – резьбонакатной головкой; в – резьбонакатными плашками

Режимы накатывания: скорость $v = 80 \dots 100$ м/мин для стали с $\sigma_b \leq 400$ и $v = 40 \dots 60$ м/мин для стали с $\sigma_b > 600$ МПа. В результате накатывания получают 6..7-ю степени точности по наружному диаметру резьбы, шероховатость поверхности резьбы $R_a 2,5 \dots 0,63$, отклонения по среднему диаметру $0,03 \dots 0,05$ мм, наибольшая накопленная ошибка шага на длине 25 мм составляет $0,02 \dots 0,04$ мм.

Резьбонакатные головки представляют собой сборный инструмент (рис. 8.13, б), у которого на осях корпуса 1 установлены ролики 2, установленные под углом подъема винтовой линии β и вращающиеся вокруг своей оси. Они имеют заборную часть для захода на заготовку и смещены по шагу H друг относительно друга на H/n , где n – количество установленных роликов. При осевом перемещении головки на

вращающуюся заготовку происходит накатывание резьбы. В конце накатывания головка свинчивается обратным вращением. Наибольшее распространение получили самораскрывающиеся головки, у которых в конце накатывания ролики расходятся и головка быстро отводится назад. Вращающиеся головки применяют на станках-автоматах, невращающиеся головки – на револьверных станках. Головки применяют как для накатывания остроугольных, так и трапецеидальных резьб диаметром до 52 мм с шагом до 5 мм.

Плоские резьбонакатные плашки (рис. 8.13, в) представляют собой наиболее простой инструмент, однако они не обеспечивают стабильности диаметра накатываемой резьбы. Плашки применяют для накатывания резьбы на болтах, винтах, шурупах, шпильках и устанавливают параллельно на расстоянии, соответствующем внутреннему диаметру резьбы, при этом витки резьбы имеют смещение на $0,5H$. Накатывание выполняют на плосконакатных станках, скорость накатывания $v = 5 \dots 7$ м/мин для материала с $\sigma_s \leq 600$ МПа и $v = 15 \dots 25$ м/мин для материала с $\sigma_s > 600$ МПа. Точность накатываемой резьбы во многом зависит от точности исходной заготовки, к которой предъявляют повышенные требования. Допуск на диаметр заготовки устанавливают в пределах $0,65 \dots 0,75$ от допуска на средний диаметр накатываемой резьбы, а шероховатость поверхности не ниже $R_a 3,2 \dots 2,5$.

Отделочную обработку наружных резьб осуществляют на прецизионных резьбонарезных станках или на резьбошлифовальных станках после закалки винтовой поверхности. Под отделку точением оставляют малые припуски $0,05 \dots 0,1$ мм. Скорость резания при отделке точением ~ 5 м/мин.

Отделку шлифованием на резьбошлифовальных станках выполняют с применением конических шлифовальных кругов, чашечных шлифовальных кругов или дисковых шлифовальных кругов, которые устанавливаются аналогично дисковым модульным фрезам. Резьбошлифование осуществляют за 3 перехода – черновое, чистовое и отделочное. Припуск на диаметр под шлифование составляет $0,3 \dots 0,4$ мм, при этом за один проход снимается $0,02 \dots 0,03$ мм.

Метчики применяют для нарезания внутренних резьб диаметром до 50 мм на токарных, токарно-револьверных, сверлильных, расточных и специальных станках, а также на станках с ЧПУ. Нарезать резьбу

метчиками можно также вручную, для чего применяют комплект из двух – трех метчиков. При этом окончательный профиль резьбы имеет только последний метчик.

Формообразование резьбы происходит при одновременном относительном вращении v и осевом перемещении метчика с оборотной подачей $s = P$. Перемещение в осевом направлении (подача на оборот) происходит за счет самозатягивания, которое создается при наличии сил трения и резьбовой поверхности на инструменте. Для установки метчиков в шпинделе станка применяют специальные плавающие предохранительные патроны, которые обеспечивают самоустановку (самоцентрирование) метчика в отверстии заготовки и компенсацию разницы в шаге нарезаемой резьбы и осевого перемещения метчика. Плавающие предохранительные патроны компенсируют возможную несоосность шпинделя относительно отверстия и создают условия для самозатягивания метчика, исключая его поломку в случае несоответствия шага резьбы и осевого перемещения метчика.

Схема быстросменной предохранительной головки, устанавливаемой в патрон с коническим хвостовиком, показана на рис. 8.14. Метчик помещается во втулку 2 и зажимается шариками 11 при перемещении втулки в осевом направлении пружиной 10.

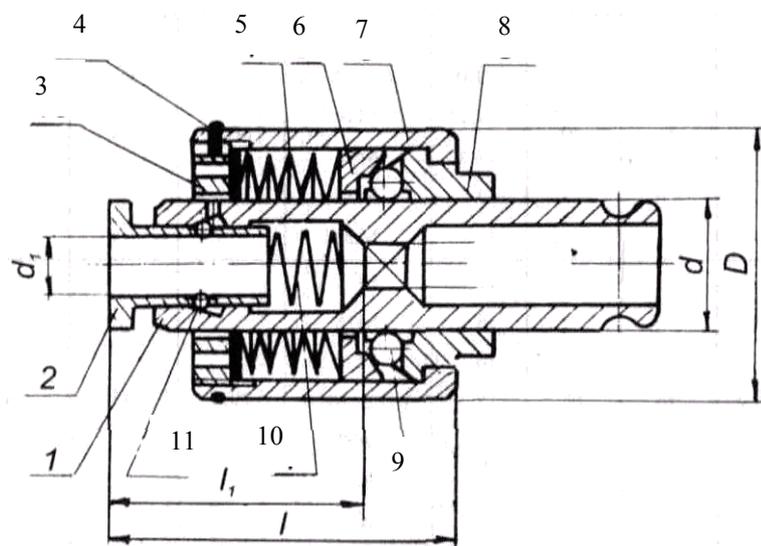


Рис. 8.14. Быстросменная предохранительная головка для закрепления метчиков

при перемещении втулки в осевом направлении пружиной 10. Крутящий момент к корпусу 1 передается по водком 8 через шарики 9, поджимаемые кольцом 9, поджимаемые кольцом 6. Усилие поджима кольца создается тарельчатыми пружинами 5. Требуемый натяг тарельчатых пружин, соответствующий задаваемой величине крутящего момента, создается поворотом гайки 3 с последующей фиксацией ее замком 4, установленным в обойме 7. Величина задаваемого крутящего момента с учетом диа-

ротом гайки 3 с последующей фиксацией ее замком 4, установленным в обойме 7. Величина задаваемого крутящего момента с учетом диа-

метра резьбы, ее шага и обрабатываемого материала определяется по таблицам [21].

Метчиками нарезают также коническую резьбу в сквозных и глухих отверстиях, для чего применяют метчики с укороченной заборной частью. Метчики изготавливают из быстрорежущей стали. Твердосплавные метчики применяют для заготовок из стали и сплавов, имеющих прочность $\sigma_s = (180...210)10^7$ Па и твердость 48...55 HRC₃. По конструкции метчики могут быть цельными, составными и сборными, последние применяют для резьб диаметром более 30 мм. Параметры точности резьбы, достигаемые при рассмотренных методах ее нарезания на валах, приведены в табл. 8.8.

Таблица 8.8. Достигаемые параметры точности резьбы*

Методы нарезания резьбы	Шероховатость поверхности <i>Ra</i> , мкм	Квалитеты точности <i>IT</i>
Плашкой, метчиком	3,2 – 12,5	6 – 8
Резцом, гребенкой	3,2 – 6,3 (1,6)	6 – 8, (4,5)
Накатывание роликами	0,4 – 0,8	6 – 8, (5)
Групповыми фрезами	3,2 – 6,3 (1,6)	8

* В скобках указаны параметры точности резьбы, достигаемые при определенных условиях ее нарезания.

8.6. Методы нарезания шлицевых и шпоночных пазов на валах

Создаваемые на валах шпоночные пазы предназначены для установки в них призматических, сегментных, клиновых и тангенциальных шпонок, с помощью которых происходят:

- передача крутящего момента в соединениях вал – зубчатое колесо – муфта – шкив и в других;
- обеспечение перемещения шестерни, втулки или рычага вдоль оси вала;
- фиксация требуемого относительного положения расположенных на ступени вала деталей.

Наибольшее применение получили соединения с призматическими и сегментными шпонками. Особенность шпоночных соединений –

в наличии сопряжений по трем деталям: по поверхностям шпоночного паза на валу, по поверхностям паза втулки и по поверхностям шпонки. Шпоночный паз должен обеспечить надежное крепление шпонки на валу и точное параллельное ее положение вдоль оси вала. Это достигается при выполнении технических требований на обработку паза, приведенных в п. 8.1.

Работоспособность шпоночного соединения определяется в первую очередь требованием обеспечения точности посадки по ширине шпоночного паза b . Достижение точности остальных размеров соединения позволяет исключить занижение рабочих поверхностей по боковым поверхностям шпонки и исключить ее заклинивание по высоте.

Шпоночные соединения выполняются в системе вала. Это означает, что шпонки как взаимозаменяемые детали можно изготавливать как нормали централизованно, а требуемая посадка в соединениях достигается путем получения требуемой ширины паза на вале и втулке. В условном обозначении соединения, приводимом на сборочном чертеже,

$$20 \frac{N9}{h9} \cdot \frac{Js9}{h9} \times 12 \times 60 \text{ ГОСТ 22360} - 78$$

указывают ширину призматической шпонки $b = 20$ мм; посадку шпонки на вал $\frac{N9}{h9}$; посадку шпонки в паз втулки $\frac{Js9}{h9}$; высоту шпонки $h = 12$ мм и ее длину $l = 60$ мм.

В соответствии с приведенной записью данное шпоночное соединение соответствует нормальному исполнению II (см. табл. 8.2), для которого на вале необходимо сделать паз в размер $20^0_{-0,052}$ (ширина паза втулки $20^{+0,052}_{-0,052}$, ширина шпонки $20^0_{-0,052}$).

Размеры шпоночных пазов $b \times h$ определяются в соответствии с диаметром вала [19]. Предельные отклонения размеров по глубине пазов зависят от высоты шпонки и выбираются согласно табл. 8.9, где d – диаметр вала; t_1 и t_2 – глубина паза соответственно на вале и во втулке, измеренная от его дна до образующей цилиндрической поверхности.

Таблица 8.9. Отклонения размеров, определяющих глубину пазов

Высота шпонки, мм	Предельные отклонения размеров по глубине пазов	
	Для вала $d - t_1$	Для втулки $d + t_2$
От 2 до 6	Верхнее 0; нижнее -0,1	Верхнее +0,1; нижнее 0
Св. 6 до 18	Верхнее 0; нижнее -0,2	Верхнее +0,2; нижнее 0
Св. 18 до 50	Верхнее 0; нижнее -0,3	Верхнее +0,3; нижнее 0

Глубину паза на валах удобно определять и измерять размером t_1 , однако указывают также размер $(d - t_1)$. Требования в отношении точности ширины паза у вала и втулки нормируют одним полем допуска $D10$. Длину пазов нормируют по $H15$, при этом отклонения указанных выше параметров всегда направлены в тело, что гарантирует собираемость соединения.

Закрытые шпоночные пазы в зависимости от программы выпуска обрабатывают на универсально-фрезерных или специальных шпоночно-фрезерных станках пальцевыми фрезами. При этом ширина паза обеспечивается диаметром пальцевой фрезы $b = D_{\text{фр}}$. Пазы, ширина которых превышает диаметр фрезы $b > D_{\text{фр}}$, обрабатывают начисто, проходя по боковому контуру паза. На практике применяют две схемы фрезерования пазов. Согласно первой схеме, которая называется фрезерование на полную глубину, вначале выполняют заглабление фрезы на требуемую глубину паза t_1 , а затем с малой продольной подачей фрезеруют паз по всей длине. Для фрез из быстрорежущей стали $D_{\text{фр}} = 6 \dots 10$ мм продольная подача $s_z = 0,02 \dots 0,024$ мм/зуб.

Согласно второй схеме, которая называется «фрезерование по маятниковому циклу», фрезу заглабляют на малую глубину $t = 0,1 \dots 0,3$ мм, а затем с повышенным значением продольной подачи $s_z = 0,1 \dots 0,16$ мм/зуб выполняют проход по длине паза. В конце прохода происходит повторное заглабление и аналогичный проход в обратном направлении. Такие проходы на шпоночно-фрезерных станках и на станках с ЧПУ осуществляют в автоматическом цикле до достижения требуемой глубины паза.

Открытые пазы обрабатывают на проход трехсторонними дисковыми затылованными фрезами, при переточке которых ширина фрезы, а следовательно, и паза не меняется.

В отдельных случаях фрезерование проводят с использованием составной дисковой фрезы. Две специальные двухсторонние дисковые фрезы объединяют в комплект с простановкой промежуточного тонкого диска, выполняющего роль компенсатора. Путем изменения толщины диска шлифованием добиваются требуемой ширины фрезы, что позволяет получить высокую точность ширины паза.

Шпоночные пазы под сегментные фрезы нарезают трехсторонними дисковыми фрезами с поперечной подачей в радиальном направлении. Величина перемещения фрезы определяется заданной глубиной паза.

Точность глубины, симметричное положение и параллельность поверхностей паза относительно оси вала во многом зависят от выбора технологических баз. Наиболее высокую точность обработки достигают при базировании вала в центровых гнездах, которые ранее использовались в качестве технологических баз при токарной обработке. При этом исключается возможность повреждения цилиндрических поверхностей, которые выполняют роль вспомогательных баз, определяя положение присоединяемых деталей. Однако создаваемые для этого приспособления с двумя базовыми центрами имеют достаточно сложную конструкцию.

Конструкцию приспособления можно существенно упростить, если базировать вал по цилиндрическим поверхностям. Однако, если в качестве технологических баз использовать цилиндрические поверхности опорных или посадочных шеек вала с установкой его на призмы (рис. 8.15, а), то возникает погрешность установки ω_y , обусловленная колебаниями диаметральных размеров $\omega_D = D_{max} - D_{min}$ базовых ступеней вала. В результате этого центр базовой поверхности смещается, занимая положение θ_1 при D_{min} и θ_2 при D_{max} . При этом размер $m = d - t_1$, определяющий глубину паза, также меняется $m \neq const$. Его погрешность определяется выражением

$$\omega_m = \frac{\omega_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha/2} - 1 \right),$$

где α – угол призмы, принимаемый обычно $\alpha = 90^\circ$.

Погрешность размера h , определяющего расстояние от дна паза до центра базовой ступени вала (рис. 8.15, а), составит:

$$\omega_h = \frac{\omega_D}{2 \sin \alpha/2}.$$

В свою очередь, погрешность размера t_1 , также определяющего глубину паза, составляет:

$$\omega_{t_1} = \frac{\omega_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha/2} + 1 \right).$$

Погрешность установки вала при базировании по цилиндрической поверхности можно уменьшить до минимума, если закрепить вал в самоцентрирующихся тисках с призматическими губками (рис. 8.15, б).

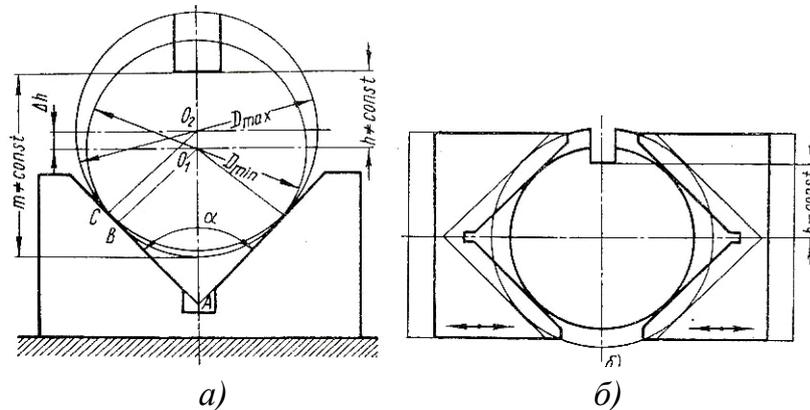


Рис. 8.15. Формирование погрешности установки при базировании вала по цилиндрическим поверхностям: а – на призме; б – в самоцентрирующихся тисках с призматическими губками

Шлицевые соединения валов и втулок по существу представляют собой многошпоночные соединения, у которых шлицы (зубья), выполненные за одно целое с валом, обеспечивают передачу вращения и значительно больших по величине крутящих моментов. Шлицы повышают жесткость вала, обеспечивают точное центрирование и возможность легкого перемещения монтируемых зубчатых колес, муфт, втулок вдоль оси вала. По конструкции шлицы могут быть прямоугольными, эвольвентными, треугольными, трапецеидальными.

В шлицевых соединениях в отличие от гладких сопряжение осуществляется по трем поверхностям – наружной, внутренней цилиндрическим поверхностям и боковым сторонам шлицев. При этом в прямоугольных шлицевых соединениях центрирование устанавливаемых

на вал деталей может осуществляться по одному из трех способов (рис. 8.16): по наружному диаметру вала (размер D), по внутреннему диаметру (размер d) и боковым поверхностям шлицев (размер b).

Центрирование по внутреннему диаметру d (рис. 8.16, б) осуществляют, когда по служебному назначению охватываемая деталь (втулка) должна иметь повышенную твердость $HRC_3 > 40$, получаемую термообработкой. В этом случае отделку закаленного центрирующего отверстия втулки выполняют на внутришлифовальном станке, а отделку закаленных поверхностей впадины вала – на шлицешлифовальном станке. Наиболее высокую точность центрирования достигают в том числе и для подвижных соединений. Получение таких качественных соединений требует сравнительно больших затрат.

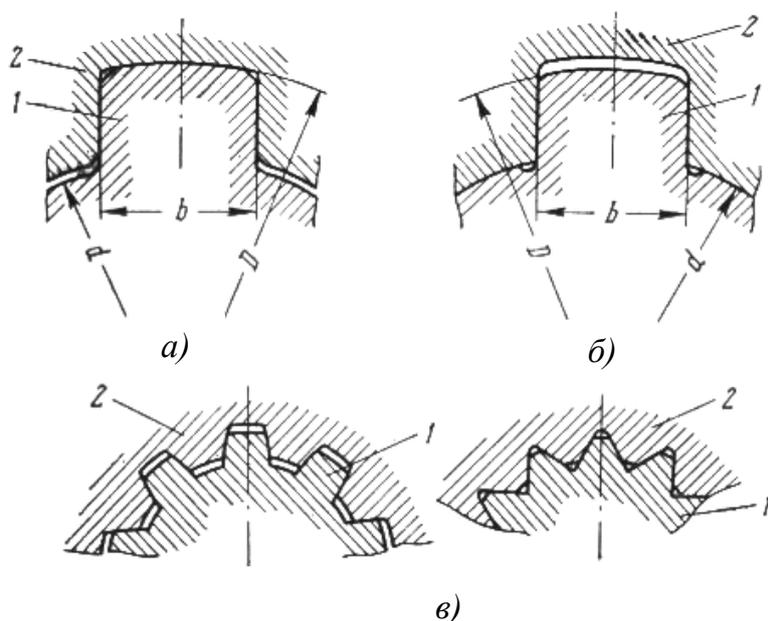


Рис. 8.16. Схемы центрирования в прямобочных шлицевых соединениях: а – по наружной цилиндрической поверхности; б – по внутренней цилиндрической поверхности; в – по боковым поверхностям зубьев

Однако выполняемые операции не вызывают трудностей, поэтому для данных условий такая схема центрирования более технологична, она получила широкое применение. Обозначение такого соединения на сборочном чертеже с посадкой $36 \frac{H7}{f7}$ по диаметру центрирования $d=36$ имеет вид $d - 8 \times 36 \frac{H7}{f7} \times 40 \frac{H12}{d11} \times 7 \frac{H9}{f9}$,

где 8 – количество шлицев; $40 \frac{H12}{d11}$ – посадка по наружному диаметру вала; $7 \frac{H9}{f9}$ – посадка по боковым поверхностям шлицев шириной $b = 7$.

В свою очередь, обозначения шлицевых поверхностей на деталях: на вале $d - 8 \times 36 f7 \times 40 d11 \times 7 f9$; на втулке $d - 8 \times 36 H7 \times 40 H12 \times 7 H9$.

Центрирование по наружному диаметру D (рис. 8.16, а) применяют, когда по служебному назначению не требуется высокая твердость шлицевых поверхностей втулки (не требуется закалка). Это позволяет получить требуемую точность шлицевого отверстия чистовым протягиванием, а точность наружной цилиндрической поверхности вала круглым шлифованием. Выполнение этих операций не представляет трудностей, поэтому для этих условий рассматриваемое соединение является технологичным, не требующим больших затрат. Условное обозначение такого соединения на сборочном чертеже с посадкой $40 \frac{H7}{h7}$ по наружному диаметру центрирования $D = 40$ имеет вид

$$D - 8 \times 36 \times 40 \frac{H7}{h7} \times 7 \frac{F10}{h7},$$

где 36 – нецентрирующий внутренний диаметр вала, что позволяет не указывать на нем посадку; $7 \frac{F10}{h7}$ – посадка по боковой поверхности шлицев. Обозначения на деталях соединения:

на вале $D - 8 \times 36 \times 40 h7 \times 7 h7$; на втулке $D - 8 \times 36 \times 40 H7 \times 7 F10$.

Центрирование по боковым поверхностям шлицев (размер b , рис. 8.16, в) применяют, когда при передаче значительных крутящих моментов не требуется соблюдение высоких требований соосности и недопустимы большие зазоры между боковыми поверхностями шлицев у вала и втулки. В этом случае боковые поверхности шлицев шлифуют и у основания шлицев предусматривают канавки для выхода шлифовального круга. Такое центрирование применяют также в тех случаях, когда твердость шлицевой поверхности втулки $HRC_3 < 40$, что позволяет осуществить ее окончательную обработку протягиванием. При этом по наружной и внутренней цилиндрическим поверхностям образуются зазоры. Обозначение такого соединения: на общей сборке

$$b - 8 \times 36 \times 40 \frac{H12}{d11} \times 7 \frac{D9}{f8},$$

на вале $b-8 \times 36 \times 40d11 \times 7f8$; на втулке $d-8 \times 36 \times 40H12 \times 7D9$.

Эвольвентные шлицевые соединения имеют то же назначение, что и прямобочные, однако отличаются формой боковой поверхности зубьев и впадин. Зубья эвольвентного профиля характеризуются модулем m , числом зубьев z и углом профиля, равным 30° . Это обеспечивает получение более толстого основания зуба, что увеличивает его прочность и способность передавать большие крутящие моменты.

Эвольвентные шлицы по сравнению с прямобочными обладают следующими преимуществами: повышенной прочностью и отсутствием концентраторов напряжений; способностью самоустанавливаться под нагрузкой, обеспечивая лучшее центрирование. В определенных условиях они оказываются более технологичными, так как для нарезания шлицев определенного модуля на валах всех типоразмеров требуется только одна червячная фреза. При этом требуемая точность в ряде случаев может быть обеспечена только одним зубофрезерованием. В случае необходимости отделки шлицев могут быть использованы методы отделки зубчатых колес: шевингование для незакаленных шлицев и зубошлифование для закаленных. В соответствии с этим эвольвентные шлицы во многих случаях оказываются более предпочтительными.

В эвольвентных шлицевых соединениях центрирование в основном выполняют по боковым поверхностям зубьев (по эвольвентному профилю), хотя возможно также осуществить центрирование как по наружному, так и внутреннему диаметру шлицев. При этом для всех вариантов центрирования возможно реализовать подвижное и неподвижное соединение [19]. Условное обозначение эвольвентного шлицевого соединения на сборочном чертеже: $50 \times 2 \times 9H/9g$ ГОСТ 6033-80, где 50 – номинальный диаметр соединения; 2 – модуль; $9H/9g$ – посадка. Обозначения на вале $50 \times 2 \times 9g$ ГОСТ 6033; на втулке $50 \times 2 \times 9H$ ГОСТ 6033-80.

Качество изготовления шлицевого вала определяется рядом параметров:

– точностью диаметральных размеров опорных и центрирующих шеек по квалитетами $IT7 \dots IT6$ при посадках по центрирующему диаметру d

$$\frac{H7}{f7}, \frac{H7}{g6}, \frac{H7}{g7}, \frac{H7}{h7}, \frac{H7}{j_s7}, \frac{H7}{n7},$$

- перпендикулярностью опорных торцов относительно оси опорной или центрирующей шейки;
- соосностью опорных и центрирующих шеек;
- точностью ширины шлицев по квалитетами $IT10 \dots IT7$ при посадках по боковым поверхностям b с основными отклонениями вала d, e, f, h, j_s, k ;
- симметричностью положения шлицев относительно оси вала, отклонение в пределах половины допуска на ширину шлицев;
- точностью шага шлицев, отклонение шага не более 0,02;
- параллельностью боковых поверхностей шлицев к оси вала (табл. 8.10);
- требуемой твердостью и шероховатостью базирующих поверхностей.

Предельные отклонения от параллельности боковых поверхностей шлицев вала и пазов втулки относительно оси центрирующей поверхности для соединений различной точности приведены в табл. 8.10.

Таблица 8.10. Допускаемые отклонения от параллельности шлицев

Точность соединения	Допуск на размер b	Отклонения от параллельности
Повышенная	$IT 6 \dots IT 8$	Не более 0,03/100
Нормальная	$IT 9 \dots IT 10$	Не более 0,05/100

В конструкторских размерных цепях изделия шлицевой вал участвует рядом своих параметров и в первую очередь размерами, связывающими поверхности вспомогательных баз с основными, а также своими диаметральными и линейными размерами. В соответствии со служебным назначением узла на все эти параметры вала устанавливаются необходимые технические требования и нормы точности.

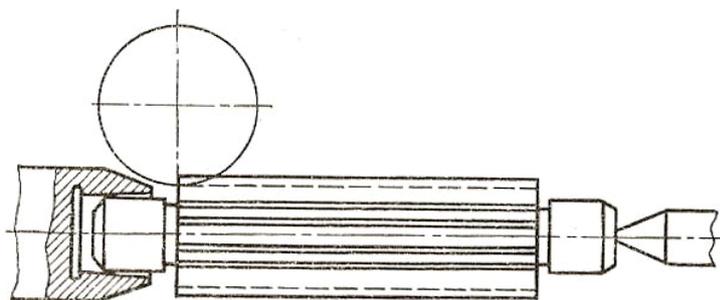
Шлицевые валы могут быть со сквозными и закрытыми шлицами, последние составляют около 65 % общего количества типоразмеров. Шлицы на валах нарезают фрезерованием, строганием, протягиванием,

а также холодным накатыванием, последнее выполняют в основном для эвольвентных шлицев. Построение технологического процесса получения шлицев зависит от метода центрирования шлицевого соединения и термической обработки.

В неавтоматизированном серийном производстве шлицы нарезают на шлицефрезерных или зубофрезерных станках червячными фрезами по методу обкатки с автоматическим делением на шаг. Производительность операции невысокая, так как обработка выполняется при сравнительно низких режимах резания ($v = 20 \dots 30$ м/мин и $s = 20$ мм/мин). В зависимости от глубины пазов и требуемой точности нарезание шлицев выполняют за один или два рабочих хода. Для повышения производительности при черновом фрезеровании применяют многозаходные червячные фрезы, которые, однако, не обеспечивают требуемой геометрической точности профиля.

В качестве технологических баз обычно используют поверхности центровых гнезд. Однако установка валов в центрах с короткими опорными шейками, к которым непосредственно выходят шлицы, не представляется возможной, так как наличие хомутика препятствует выходу червячной фрезы. В этом случае для базирования валика со стороны шпинделя применяют специальную оправку с внутренним обратным конусом (рис. 8.17), в который заходит опорная шейка вала. При этом шлицы у закаливаемых валов рекомендуется фрезеровать после предварительного шлифования цилиндрических поверхностей, а у незакаливаемых – после чистового шлифования наружной поверхности.

Закаливаемые шлицы, обеспечивающие центрирование по наружной



поверхности (размер D), обрабатывают в такой последовательности:

- фрезерование шлицев с припуском под шлифование боковых поверхностей;

- чистовое шлифование боковых поверхностей

Рис. 8.17. Базирование валика в оправке с внутренним обратным конусом

шлицев после термической обработки и чистового наружного шлифования.

Обработка незакаливаемых шлицев на таких же валах ограничивается только чистовым фрезерованием, которое выполняют после чистового шлифования наружной поверхности.

Шлицы валов, обеспечивающих центрирование по внутреннему диаметру (размер d), обрабатывают в следующей последовательности:

- фрезерование шлицев с припуском под шлифование;
- фрезерование канавок для выхода круга на операции шлифования внутренней центрирующей поверхности (эти канавки могут быть получены также на первой операции при фрезеровании шлицев);
- чистовое шлифование центрирующей поверхности по диаметру d и боковых поверхностей в размер b после закалки.

При отсутствии специальных шлицефрезерных или зубофрезерных станков прямоугольные шлицевые пазы можно нарезать на универсальных горизонтально-фрезерных станках с использованием делительной головки для поворота вала на шаг. Нарезание выполняют за два этапа: предварительное фрезерование комплектом фасонных дисковых фрез (рис. 8.18, а), а затем чистовое фрезерование боковых поверхностей шлицев торцевыми фрезами, оснащенными пластинами твердого сплава (рис. 8.18, б).

Предварительное фрезерование при обработке валов из среднеуглеродистой стали проводят со скоростью $v = 30 \dots 35$ м/мин и подачей $s = 190$ мм/мин; чистовое фрезерование – с режимами $v = 180$ м/мин и $s_z = 0,55$ мм/зуб. Производительность обработки данным методом в 3...4 раза выше, чем обработка на шлицефрезерных станках.

В условиях крупносерийного и массового производства нарезание шлицев на валах осуществляют на высокопроизводительных специальных станках путем шлицестрогания или шлицепротягивания.

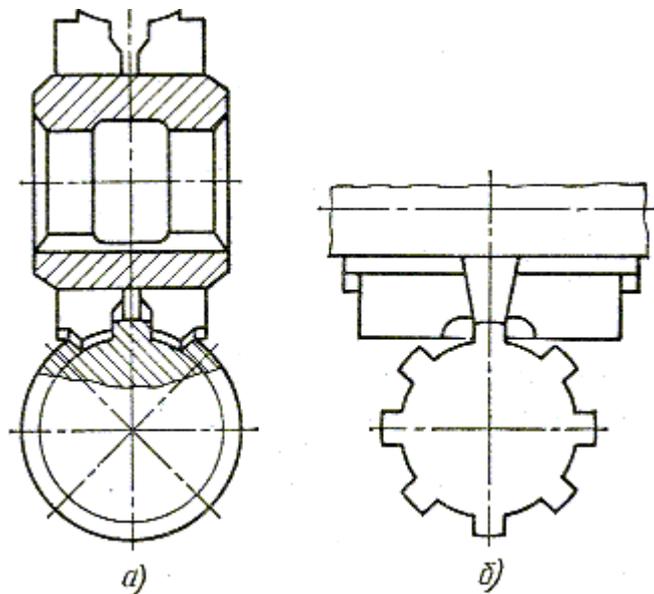


Рис. 8.18. Нарезание шлицевых пазов комплектом фасонных дисковых фрез: а – предварительное фрезерование; б – чистовое фрезерование боковых поверхностей шлицев

Шлицы строгают набором фасонных резцов, собранных в специальную головку (рис. 8.19). Количество резцов и их профиль соответствуют числу шлицев и геометрии впадины между ними. После каждого двойного хода (рабочий ход и холостой ход возврата) резцы перемещаются в радиальном направлении на заданную величину подачи. Число двойных ходов головки определяется глубиной шлицевой канавки и задаваемой глубиной резания на один рабочий ход. Резцы в головке затачивают комплектно в специальном приспособлении.

Таким методом обрабатывают как сквозные, так и несквозные шлицы

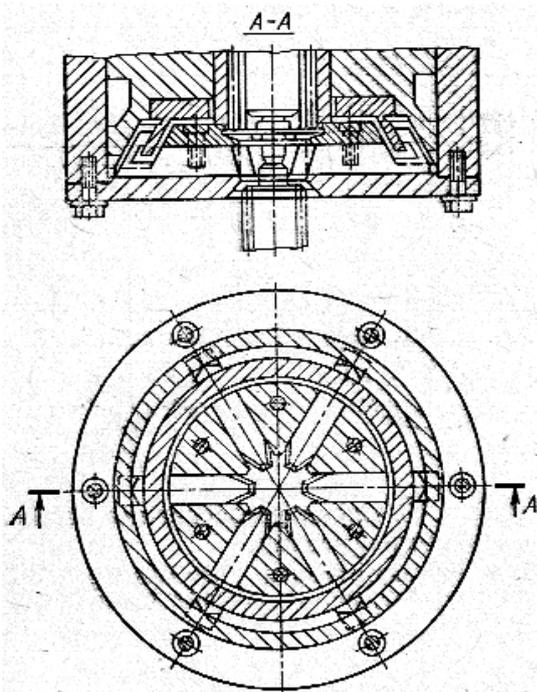


Рис. 8.19. Схема резцовой головки для строгания шлицев набором фасонных резцов

протяженностью 50...370 мм на валах диаметром 20...50 мм, общей длиной до 500 мм. Для несквозных шлицев на вале предусматривается канавка для выхода резцов и ускоренный их отвод от заготовки. Этот метод позволяет также нарезать шлицы на валах с уступами большего диаметра, что невозможно осуществить другими методами. Получаемая шероховатость обработанных поверхностей $Ra = 2,5 \dots 1,25$ мкм.

Другой высокопроизводительный метод получения шлицевых пазов — шлицепротягивание. Шлицепротягивание двух противоположных, симметрично расположенных пазов выполняют одновременно две блочные

протяжки (рис. 8.20). Блочная протяжка состоит из набора фасонных резцов, которые имеют возможность независимого радиального перемещения в соответствии с профилем копира. Резцы затачивают комплектно и устанавливают в блоки в специальном приспособлении. Этот метод позволяет обрабатывать как сквозные, так и несквозные шлицы. После получения двух диаметрально противоположных впадин вал поворачивают на определенный угол для обработки следующей пары пазов. Производительность шлицестрогания и шлицепротягивания в 5...8 раз выше по сравнению с обработкой на шлицефрезерных станках.

На валах, материал которых имеет твердость не более $HV\ 220$ и склонен к пластическому деформированию, шлицевые пазы могут быть получены без снятия стружки методом холодного поверхностно-пластического деформирования – накатыванием. Накатка шлицев может быть выполнена круглыми роликами, двумя рейками и многороликовой головкой с профильными роликами (рис. 8.21).

В процессе накатывания происходит уплотнение поверхностного слоя металла и расположение его слоев в соответствии с профилем формируемых шлицев. В результате прочность шлицевых валов возрастает. Прочность на скручивание у шлицев, получаемых накатыванием, на 10...20 % выше по сравнению со шлицами, получаемыми фрезерованием. Поэтому в ряде случаев холодное накатывание позволяет исключить необходимость закалки шлицевых поверхностей и дальнейшей их механической обработки.

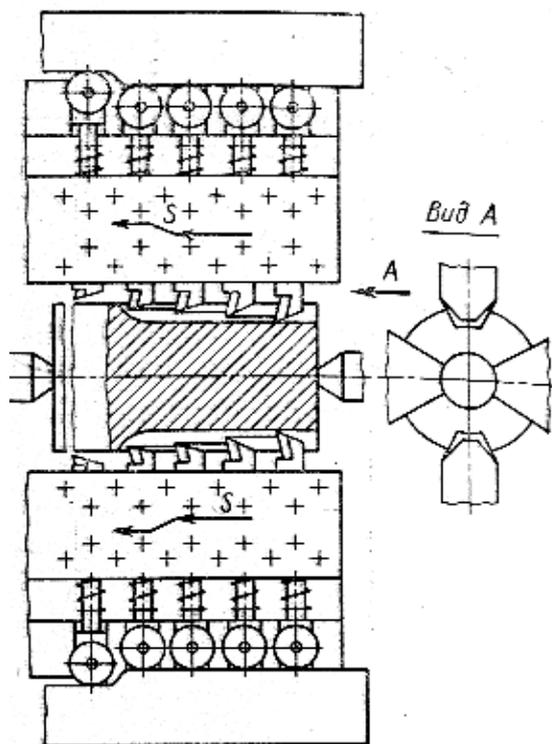


Рис. 8.20. Получение шлицевых пазов протягиванием

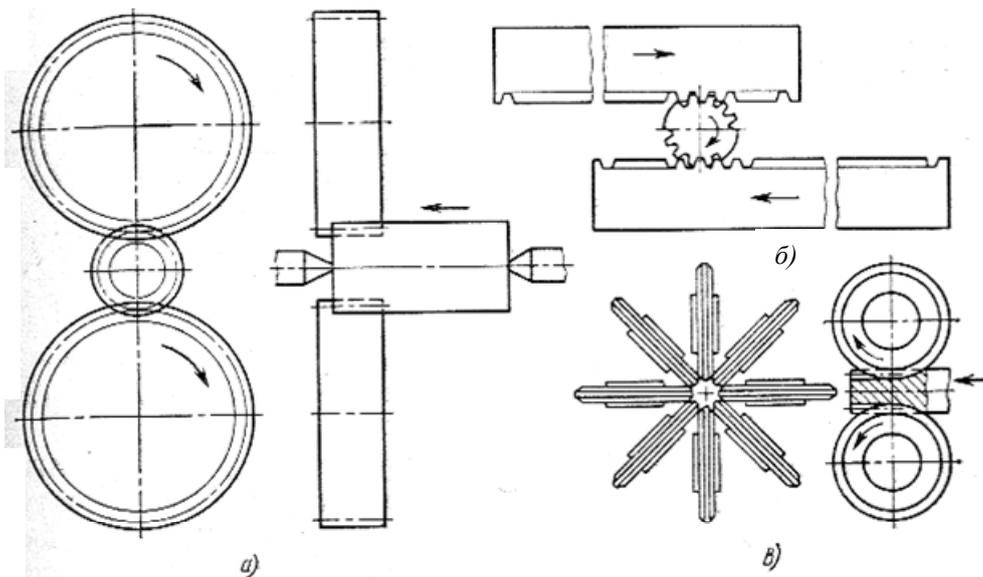


Рис. 8.21. Схемы накатывания шлицев на валах: а – круглыми роликами; б – двумя рейками; в – многороликовой головкой

Холодным накатыванием получают в основном шлицы эвольвентного профиля, модуль которых не превышает 2,5 мм. Получение накатыванием прямобочных шлицев представляет определенные трудности, связанные с профилированием рабочих поверхностей накатных роликов и необходимостью применения специального оборудования.

Нкатные ролики устанавливают по размеру делительной окружности с учетом возникающих упругих деформаций в системе станок – приспособление – инструмент – деталь. Диаметр заготовки для накатывания меньше наружного диаметра получаемых шлицев, обычно его принимают как среднее значение наружного и внутреннего диаметральных размеров шлицев. При этом точность диаметральных размеров заготовки под накатку соответствует квалитетам *IT8...IT7*, что существенно выше точности заготовок, применяемых для шлицефрезерования. Так, например, для валов диаметром 30...50 мм точность диаметральных размеров цилиндрической поверхности должна быть в пределах 0,03...0,05 мм, а допустимое биение относительно оси центров – не более 0,03 мм.

Нкатные ролики изготавливают из высоколегированных сталей с твердостью рабочей поверхности по *HRC 63...66*. Одним и тем же роликом определенного модуля можно обработать валы с различным числом шлицев. Количество заготовок, обрабатываемых одним комплектом накатных роликов, составляет 3000...30000 штук.

Рекомендуемые режимы накатывания: окружная скорость роликов 15...20 м/мин при диаметре начальной окружности 200 мм; осевая подача 150...200 мм/мин. В результате накатывания достигают погрешность шага шлицев в пределах 0,03 мм; накопленная погрешность шага составляет не более 0,05...0,1 мм; шероховатость поверхности по $Ra = 0,63...0,32$ мкм.

Нкатывание шлицев рейками выполняют на всю длину за один рабочий ход. Такая схема обработки производительнее по сравнению с накатыванием роликами. Однако в результате возникновения больших сил этот способ накатывания не рекомендуется применять для получения шлицев длиной более 80...100 мм.

В зависимости от длины шлицев производительность их обработки путем накатывания в 5...10 раз выше, чем при шлицефрезеровании. При накатывании валов с большим числом шлицев процесс обработки протекает более плавно.

Высокопроизводительным методом получения эвольвентных шлицев на валах является планетарное холодное накатывание (рис. 8.22).

Профиль формируется двумя роликовыми головками, имеющими встречное вращение. Головки с накатным инструментом 1 располагают встречно и приводят в действие двумя двигателями. Профильные ролики 3 одновременно и синхронно внедряются во вращающуюся вокруг своей оси заготовку 2. При этом частоты вращения накатных головок и заготовки согласуют с учетом числа нарезаемых зубьев. Одновременно производится непрерывная подача заготовки в осевом направлении.

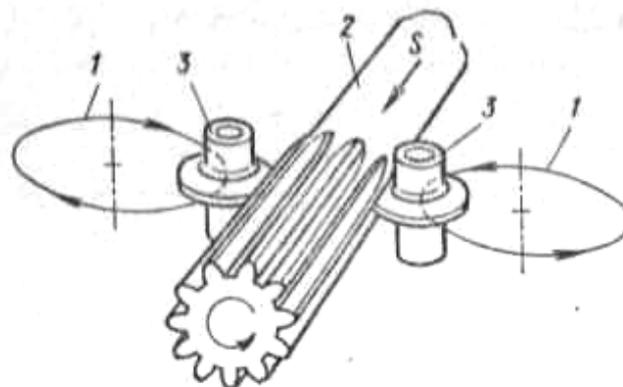


Рис. 8.22. Схема планетарного накатывания

Одновременно производится непрерывная подача заготовки в осевом направлении.

Параметры точности шлицевых и шпоночных пазов при различных способах их обработки приведены в табл. 8.11.

Таблица 8.11. Параметры точности при обработке шлицевых и шпоночных пазов*

Методы обработки		Шероховатость поверхности Ra , мкм	Квалитеты точности IT
Шлицефрезерование	Черновое	4...10	9...11
	Чистовое	1,25...4,0	8...9 (7)
Шлицестрогание		1,0...2,5	8...9 (7)
Шлицепротягивание		0,8...1,6	6...7
Шлицешлифование	Черновое	1,6...3,2	6...7
	Чистовое	0,4...1,25	5...6
Накатывание шлицев		0,8...1,0	8...9 (7)
Фрезерование шпоночных пазов		4,0...6,3	9...10 (8)

* В скобках указаны параметры точности резьбы при определенных условиях ее нарезания.

Все термически обрабатываемые шлицевые валы после нарезания шлицев подвергают дальнейшей отделке шлифованием. Поверхности

шлицев, определяющие центрирование по внутреннему диаметру d , шлифуют профильным кругом за один установ. При шлифовании за два установка вначале обрабатывают боковые поверхности шлицев, а затем шлифуют поверхность внутреннего центрирующего диаметра. Точность и производительность обработки при шлифовании профильным кругом за один установ выше.

У закаливаемых шлицевых валов с центрированием по наружному диаметру D шлифуют наружную поверхность и боковые поверхности шлицев. Однако шлифование у сопрягаемой детали (у зубчатого колеса) внутренних пазов по наружному диаметру сложно и требует специальных станков. Поэтому такое соединение нетехнологично.

8.7. Методы отделки валов

После термической обработки и достижения требуемой повышенной твердости отдельных закаливаемых поверхностей выполняют операцию отделки вала. Эффективным методом отделки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей можно назвать шлифование, осуществляемое с использованием в качестве режущего инструмента различных по геометрии шлифовальных кругов. Шлифовальные круги изготавливают из абразивных материалов, имеющих высокую твердость, что позволяет выполнять высокопроизводительную обработку как незакаленных, так и закаленных поверхностей, обеспечивая достижение повышенных требований по точности размеров ($IT\ 8 \dots IT\ 6$) и шероховатости поверхности $Ra = 0,32 \dots 0,1$ мкм.

Для уменьшения погрешности установки валов на операциях шлифования проводят доводку базовых поверхностей – центровых гнезд вала. Доводку центровых гнезд осуществляют шлифованием с использованием абразивных конусов, которое выполняют на специальных или модернизированных вертикально-сверлильных станках. В результате достигают повышения геометрической точности базовых центровых гнезд – отклонение от круглости $1 \dots 3$ мкм, от прямолинейности $4 \dots 6$ мкм, шероховатость поверхности по $Ra\ 0,63$ мкм. Для получения более высокой точности вала базирование выполняют в неподвижных центрах.

Наружные цилиндрические поверхности шлифуют на круглошлифовальных станках с использованием схем продольного, врезного и глубинного шлифования (рис. 8.23). Для достижения более высокой точности базирование вала осуществляют в неподвижных центрах.

Продольное круглое шлифование применяют для обработки протяженных цилиндрических или конических поверхностей с использованием дисковых шлифовальных кругов. Скорость вращения шлифовального круга v_k (м/с), которую принимают за скорость резания $v_k = v$, рассчитывают по формуле

$$v_k = \frac{\pi \cdot d_k \cdot n_k}{1000 \cdot 60},$$

где d_k и n_k – соответственно диаметр круга и частота его вращения.

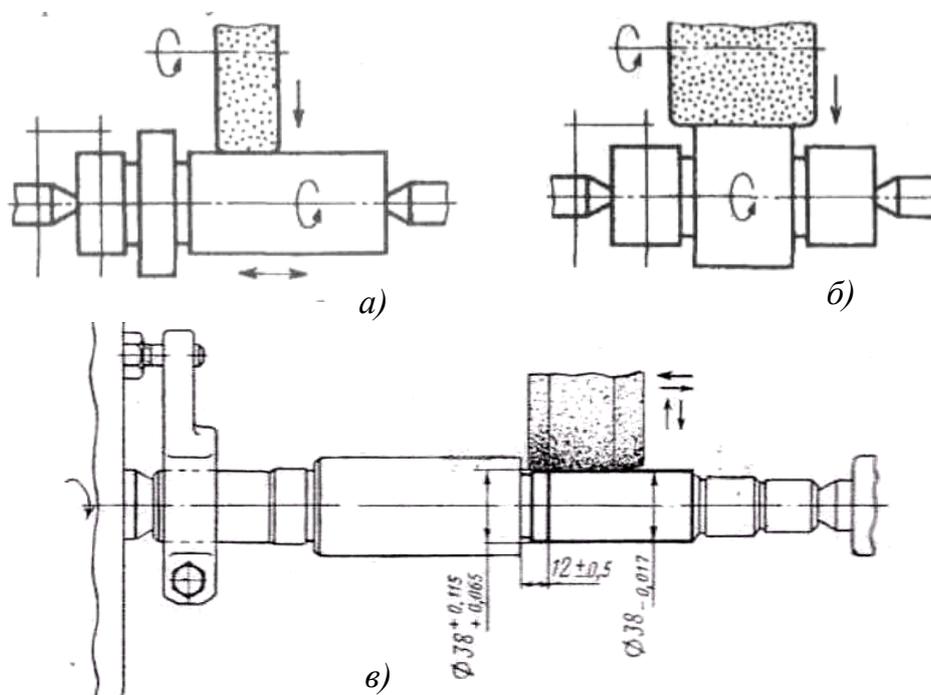


Рис. 8.23. Шлифование валов: а – продольное; б – врезное; в – глубинное

Вращение заготовки передается от шпинделя через хомутик. Скорость вращения заготовки v_z имеет размерность м/мин. Ее рассчитывают аналогично, подставляя в приведенную выше формулу значения диаметра заготовки d_z и частоты ее вращения n_z , исключая при этом деление на 60. Скорость резания $v_k = v$ при круглом шлифовании следует назначать наибольшую с учетом возможной частоты вращения шпинделя n_k и применяемого шлифоваль-

ного круга. В табл. 8.12. представлены рекомендуемые значения скорости резания, назначаемые при круглом шлифовании с учетом марки обрабатываемого материала.

Таблица 8.12. Рекомендуемая скорость резания при шлифовании

Обрабатываемый материал	Скорость резания, м/с
Углеродистые и низколегированные стали	25...60
Закаленные и высоколегированные стали	15...25
Чугун	20...30
Цветные сплавы	20...30

При выборе скорости резания необходимо учитывать также связь абразивного материала на применяемых шлифовальных кругах. Для кругов с различной связкой рекомендуются следующие скорости резания.

Связка абразивного материала на керамической основе – 30...35 м/с; на бакелитовой основе – 35...40 м/с; специальная керамическая – выше 60 м/с.

Шлифование на круглошлифовальных и внутришлифовальных станках выполняется по определенному циклу, в котором происходит автоматическое переключение режимов при выполнении предварительного шлифования, чистового и «выхаживания». При выхаживании, которым заканчивается чистовое шлифование, отсутствует поперечная подача и сьем металла происходит за счет образованного в технологической системе натяга до момента выведения его в ноль. Рекомендуемые режимы круглого шлифования и назначаемые припуски приведены в табл. 8.13 и 8.14.

Таблица 8.13. Режимы круглого наружного шлифования стальных заготовок

Вид шлифования	Поперечная подача	Окружная скорость детали, м/мин	Продольная подача в долях ширины круга H
Шлифование с продольной подачей			
Предварительное	На один ход стола 0,01...0,025 мм	10...25	0,3...0,7
	На двойной ход 0,015...0,05 мм	20...30	
Чистовое	0,005...0,019 мм	15...75	0,2...0,4

Вид шлифования	Поперечная подача	Окружная скорость детали, м/мин	Продольная подача в долях ширины круга H
Шлифование с поперечной подачей			
Предварительное	0,025...0,075 мм/об	30...50	-
Чистовое	0,001...0,005 мм/об	20...40	-

Для шлифования жаропрочных сталей приведенные режимы следует умножать на коэффициент 0,5...0,8, а для обработки чугуна – на 1,3...1,8. При переходе с предварительного шлифования на чистовое выполняют правку шлифовального круга для восстановления его режущей способности. Круг правят в автоматическом цикле с использованием в качестве инструмента алмазно-металлических карандашей или роликов.

Таблица 8.14. Рекомендуемые припуски (на диаметр в мм) при круглом наружном шлифовании стальных заготовок

Диаметр вала d , мм	Материал	Длина шлифуемого вала, мм				
		До $3d$	До 100	100...400	400...800	800...1200
До 18	Незакален.	0,20...0,23	0,20...0,3	0,20...0,30	-	-
	Закален.	0,25...0,30	0,25...0,35	0,30...0,40	0,25...0,40	-
До 30	Незакален.	0,20...0,23	0,25...0,35	0,20...0,35	0,35...0,50	-
	Закален.	0,25...0,30	0,25...0,40	0,30...0,45	0,30...0,45	0,40...0,55
До 50	Незакален.	-	0,25...0,40	0,25...0,40	0,45...0,60	0,55...0,65
	Закален.	-	0,35...0,50	0,40...0,55	0,30...0,45	0,40...0,55
До 120	Незакален.	-	0,30...0,45	0,30...0,45	0,50...0,65	0,60...0,75
	Закален.	-	0,40...0,55	0,45...0,60	0,60...0,75	0,65...0,80

При наличии значительных короблений, полученных после термической обработки, приведенные припуски следует увеличивать [18, 20].

Врезное шлифование (рис. 8.23, б) выполняют с поперечной подачей для обработки коротких ступеней вала, длина которых L не превышает ширину H шлифовального круга $L < H$. При этом одновременно шлифуют примыкающий торец, что позволяет обеспечить его перпендикулярность относительно цилиндрической поверхности вала.

Применение врезного шлифования позволяет также обрабатывать сложнопрофильные фасонные поверхности. С этой целью с помощью алмазного правящего устройства осуществляют профилирование круга.

Окружную скорость вращения заготовки v_3 при выполнении врезного шлифования рекомендуется выбирать с учетом диаметра заготовки:

Диаметр заготовки d , мм	До 40	40...60	60...80	80...100	100...160	160...200
Скорость заготовки, м/мин	12...16	14...20	20...22	22...24	24...26	26...28

Диаметр шлифовального круга при обработке отверстий следует выбирать наибольшим из допустимых по условию его размещения в отверстии:

Диаметр отверстия D , мм	Диаметр шлифовального круга d , мм
30...45	$d = (0,85...0,95) D$
50...150	$d = (0,75...0,85) D$

Глубинное (силовое) шлифование валов (рис. 8.23, *в*) выполняют на круглошлифовальных станках повышенной жесткости. На дисковом шлифовальном круге путем заточки создают заборный конус, перекрывающий величину припуска, который теоретически должен быть снят за один проход. Практически в процессе цикла шлифования осуществляют два – три прохода, что позволяет снять оставшийся припуск, формируемый в результате возникающих в системе упругих перемещений.

Для уменьшения шероховатости отдельных цилиндрических поверхностей валов выполняют также операции суперфиниширования и полирования. Сущность процесса суперфиниширования заключается в тонкой отделочной обработке поверхности заготовки брусками, изготовленными из микророшковых абразивных материалов [23] (см. п. 9.3).

Отделку отдельных поверхностей валов можно осуществлять, используя методы поверхностно-пластического деформирования (ППД):

алмазное выглаживание, обкатывание цилиндрической поверхности валика роликами, шариками и создание наклепа поверхности с помощью специальных шариковых сепараторов [12, 22, 23]. Отделочная обработка методами ППД осуществляется на модернизированных или обычных токарных станках с использованием специального инструмента – алмазных наконечников, различных по конструкции обкаток (оправок) с роликами, шариками и сепараторов.

Сущность процесса алмазного выглаживания заключается в том, что с помощью алмазного наконечника, прижимаемого с определенной силой к вращающейся поверхности вала, происходят пластическая деформация поверхностного слоя и смятие имеющихся на поверхности микронеровностей. Выглаживанием можно обрабатывать как цилиндрические, так и торцевые поверхности вала. В первом случае алмазный наконечник, установленный в державке на суппорте токарного станка, перемещается в направлении продольной подачи, а во втором – в направлении поперечной подачи. Алмазное выглаживание осуществляют за один – два прохода, усилие выглаживания не должно превышать 300 Н. При этом установлено, что наиболее высокая износостойкость инструмента достигается при усилении $P = 250$ Н.

Для сталей средней твердости $HRC\ 35\dots 50$, получаемой после термообработки, скорость выглаживания, определяемая частотой вращения вала, составляет $v = 200\dots 280$ м/мин, а продольная подача $s = 0,02\dots 0,05$ мм/об. При правильно подобранных режимах представляется возможным в несколько раз уменьшить микронеровности поверхности, обеспечив шероховатость $Ra\ 0,1\dots 0,05$ мкм. При этом одновременно достигают увеличения микротвердости поверхности в среднем на 25...30 %. Поджимаемый в процессе выглаживания алмазный наконечник копирует полученную на предшествующей операции погрешность геометрической формы в поперечном и продольном направлениях. Поэтому более высокую точность обработки достигают при уменьшении отклонения формы на предшествующей технологической операции.

Поверхности валов, обработанные алмазным выглаживанием, обладают хорошими эксплуатационными свойствами – высокой износостойкостью и усталостной прочностью.

Схема поверхностно-пластического деформирования вала путем обкатывания с использованием ролика и шарика приведена на рис. 8.24. К поверхности вращающегося вала 1 подводят под определенным давлением обкатной ролик 2 или шарик 3, которые установлены в оправках на суппорте токарного станка и перемещаются в продольном направлении с подачей s . Скорость обкатывания принимают равной $v = 30 \dots 100$ м/мин, а продольную подачу при обкатывании шариком диаметром 6...10 мм в пределах $s = 0,1$ мм/об. Радиальная сила поджима шарика к валу составляет при этом 150...300 Н.

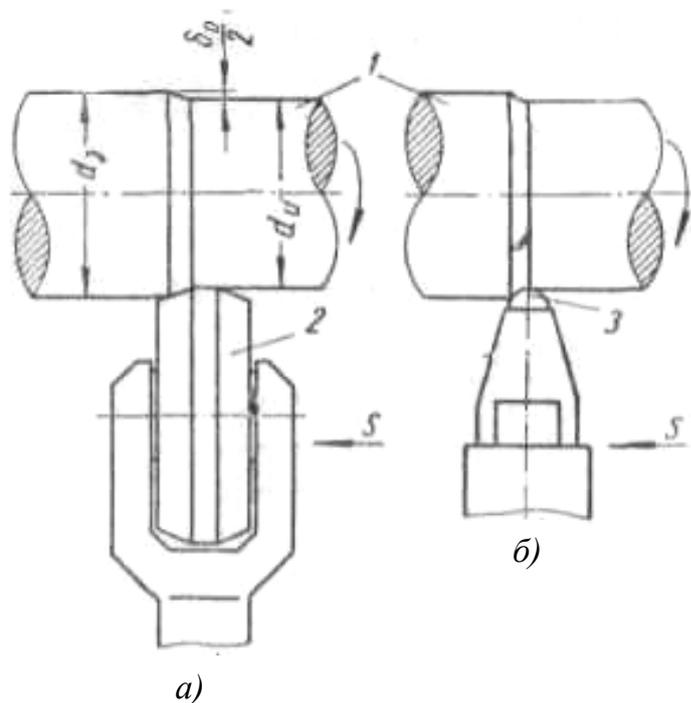


Рис. 8.24. Схема поверхностно-пластического деформирования поверхности вала путем обкатывания: а – роликом; б – шариком; 1 – вал; 2 – ролик; 3 – шарик

и возникает необходимость выполнения большего числа рабочих ходов для достижения требуемого обжатия поверхностного слоя. На практике обкатку осуществляют за 2, 4 рабочих хода, которые выполняют соответственно за 1 или 2 возвратно-поступательных перемещения суппорта.

Улучшение шероховатости поверхности при обкатывании зависит от исходной поверхности заготовки, от геометрии ролика, диаметра шарика и прикладываемого к ним давления. При шероховато-

При обкатывании с использованием ролика диаметром 100 мм и шириной цилиндрического пояска 2...3 мм продольная подача принимается равной $s = 0,1 \dots 0,2$ мм/об, а усилие поджима ролика составляет 500...1500 Н. Количество принимаемых рабочих ходов зависит от величины продольной подачи, которая может составлять половину ширины цилиндрического пояска. Однако с увеличением подачи происходит возрастание радиальной силы

сти исходной поверхности заготовки $Ra\ 10\dots2,5$ мкм, получаемой после чистового точения, обкатывание обеспечивает получение шероховатости по $Ra = 1,25\dots0,32$ мкм. Для уменьшения контактного давления обкатку выполняют при обильной смазке обжимаемой поверхности индустриальным маслом.

Рассмотренная обработка может быть реализована как отдельная финишная операция или как один из переходов в составе выполняемой токарной операции. Методами ППД обычно обрабатывают валы, материал которых склонен к пластическому деформированию, а твердость не превышает $HB\ 220$.

На рис. 8.25 показана схема наклепа поверхности вала с помощью шарикового сепаратора (центробежная обработка поверхности пластическим деформированием). Создание поверхности повышенной твердости путем наклепа происходит в результате многократных систематических ударов закаленных шариков по обрабатываемой поверхности вала. Сепаратор 3 вращается с окружной скоростью диска $10\dots50$ м/с. Обрабатываемый вал 1 также вращается во встречном направлении со скоростью $30\dots90$ м/мин и перемещается в осевом направлении с продольной подачей $s = 0,1\dots0,5$ мм за один оборот вала.

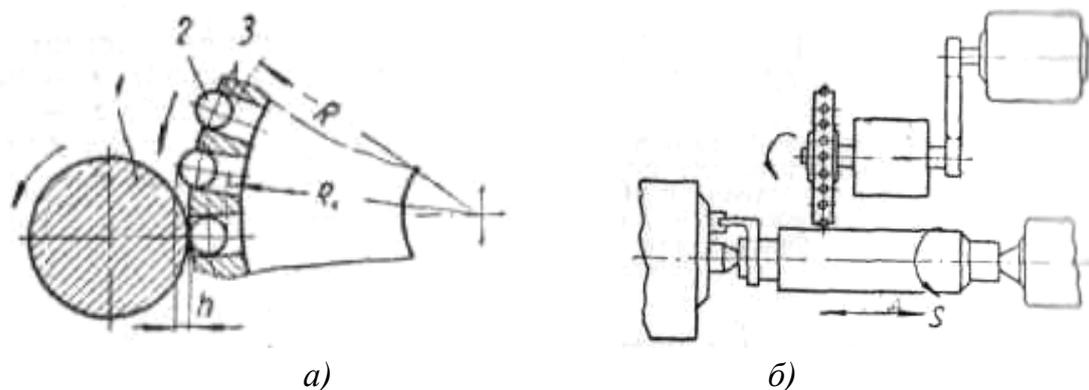


Рис. 8.25. Наклеп поверхности вала с помощью шарикового сепаратора: а – схема процесса; б – рабочая зона станка; 1 – обрабатываемый вал; 2 – шарики сепаратора; 3 – сепаратор

Под действием центробежной силы расположенные в сепараторе шарики 2 диаметром $7\dots10$ мм перемещаются в радиальном направлении, нанося удары по поверхности вала. Глубина наклепа и увеличение твердости обрабатываемой поверхности вала зависят от силы и частоты ударов шариков, приходящихся на 1 мм^2 поверхностной площади.

При статической настройке станка сепаратор перемещают в радиальном направлении до создания натяга h , определяющего ударное перемещение шариков на величину $h = 0,05 \dots 0,08$ мм. Однако наличие погрешности размеров и геометрической формы обрабатываемой поверхности вала приводит к неравномерности натяга, а следовательно, и к неодинаковой степени наклепа обрабатываемых валиков. Поэтому к заготовкам, поступающим на данную операцию, предъявляют требования по точности геометрической формы в поперечном сечении 0,03 мм и в продольном сечении 0,04 мм. Изменения диаметральных размеров вала в результате создания наклепа незначительны (2...5 мкм), они находятся в пределах допуска, поэтому припуск на данную операцию не назначают. Для реализации этого метода на токарном станке требуется установка на поперечной каретке сепаратора с автономным приводом вращения. Этот метод можно реализовать также на круглошлифовальном станке путем замены шлифовального круга сепаратором.

Использование методов ППД для отделочной обработки валов позволяет не только повысить точность диаметральных размеров вала и улучшить параметры шероховатости получаемой поверхности, но также существенно повысить поверхностную твердость детали. Повышение поверхностной твердости детали при обработке методами ППД составляет в среднем 20...30 %, что позволяет исключить необходимость выполнения термообработки – закалки поверхностей вала и выполнения операции отделочного шлифования. В табл. 8.15 приведены параметры точности валов, достигаемые после выполнения отделочной обработки.

Таблица 8.15. Точность валов, получаемая на операциях отделки

Способ обработки	Шероховатость поверхности Ra , мкм	Квалитет допуска размера IT	Степень точности формы
Обработка наружных цилиндрических поверхностей			
Шлифование:			
предварительное	6,3 ... 0,4	9 ... 8	8 ... 6
чистовое	3,2 ... 0,2	7 ... 6	6 ... 4
тонкое	1,6 ... 0,1	6 ... 5	5 ... 2

Способ обработки	Шероховатость поверхности Ra , мкм	Квалитет допуска размера IT	Степень точности формы
Притирка, суперфиниширование	0,8 ... 0,1	5 ... 4	4 ... 2 3 ... 1
Алмазное выглаживание	0,8 ... 0,2	6 ... 5	3 ... 2
Полирование:			
обычное	0,2 ... 1,6	6	—
тонкое	0,05 ... 0,1	5	

8.8. Изготовление валов в автоматизированном производстве

В условиях крупносерийного и массового производства при ограниченной номенклатуре выпускаемых изделий автоматизация изготовления валов осуществляется на базе применения станков полуавтоматов, автоматов и создаваемых на их основе автоматических линий. Автоматические линии, предназначенные для изготовления конкретных деталей, обеспечивают высокую производительность обработки. Однако они обладают малой технологической гибкостью, что практически исключает их перенастройку на изготовление других валов.

Автоматизация изготовления валов в единичном и серийном производстве осуществляется на основе применения станков с ЧПУ и обрабатывающих центров токарного типа. Такое оборудование обладает высокой технологической гибкостью, что позволяет быстро перенастраивать его на изготовление других аналогичных деталей.

Изготовление ступенчатых валов на автоматической линии

Для изготовления вала-ротора генератора (рис. 8.26) была разработана автоматическая линия, состоящая из шести станков-автоматов, связанных между собой жесткой транспортной системой. В качестве заготовки используется штамповка (рис. 8.27), полученная на ротационно-ковочной машине. При этом методе получения заготовки обеспечивается достаточно высокая точность ее диаметральных и линейных размеров, что позволяет назначать на токарную обработку малые при-

пуски. Однако общая длина заготовки может иметь значительные отклонения, что обусловлено перераспределением лишнего металла на концы вала в процессе ковки.

Технологические операции, последовательно выполняемые на шести станках автоматической линии, приведены на рис. 8.28. В состав оборудования линии входят фрезерно-центровальный станок мод. МР-71 и пять токарных гидроконтролируемых станков мод. 1722. Транспортная система линии обеспечивает автоматическую передачу заготовок от одного станка к другому.

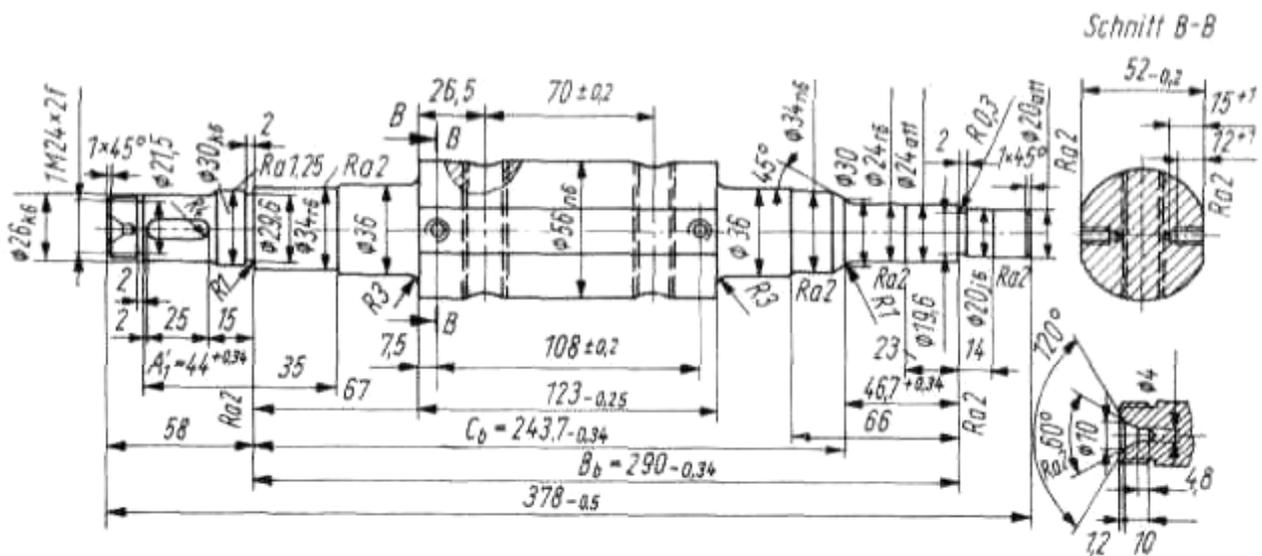


Рис. 8.26. Схема вала-ротора генератора

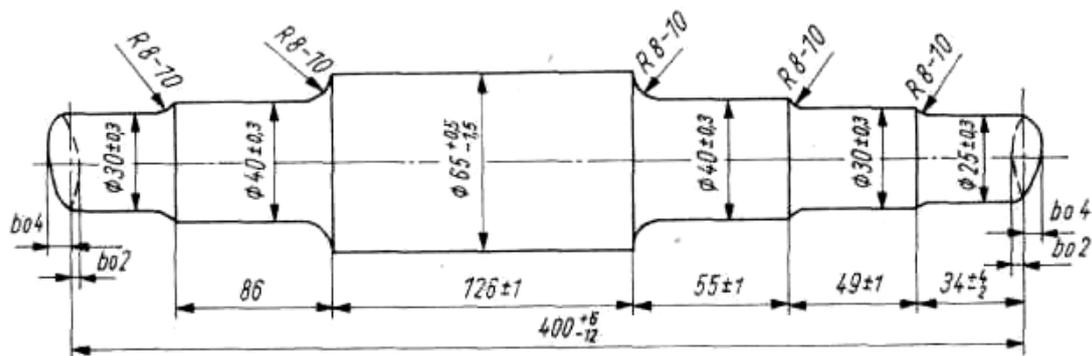


Рис. 8.27. Заготовка вала-ротора генератора

На первом фрезерно-центровальном станке I производятся фрезерование торцов вала с обеих сторон в размер $378^{+0,76}$ и последующее сверление двух центровых гнезд. Фрезерование торцов выполняют торцевыми фрезами со вставными ножами из сплава Т14К8 со скоростью резания $v = 125$ м/мин и подачей $s = 430$ мм/мин. Центровые от-

верстия сверлят при частоте вращения шпинделя $n = 815 \text{ мин}^{-1}$ и продольной подаче $s = 0,043 \text{ мм/об}$. Продолжительность рабочего цикла $T_p = 0,844 \text{ мин}$.

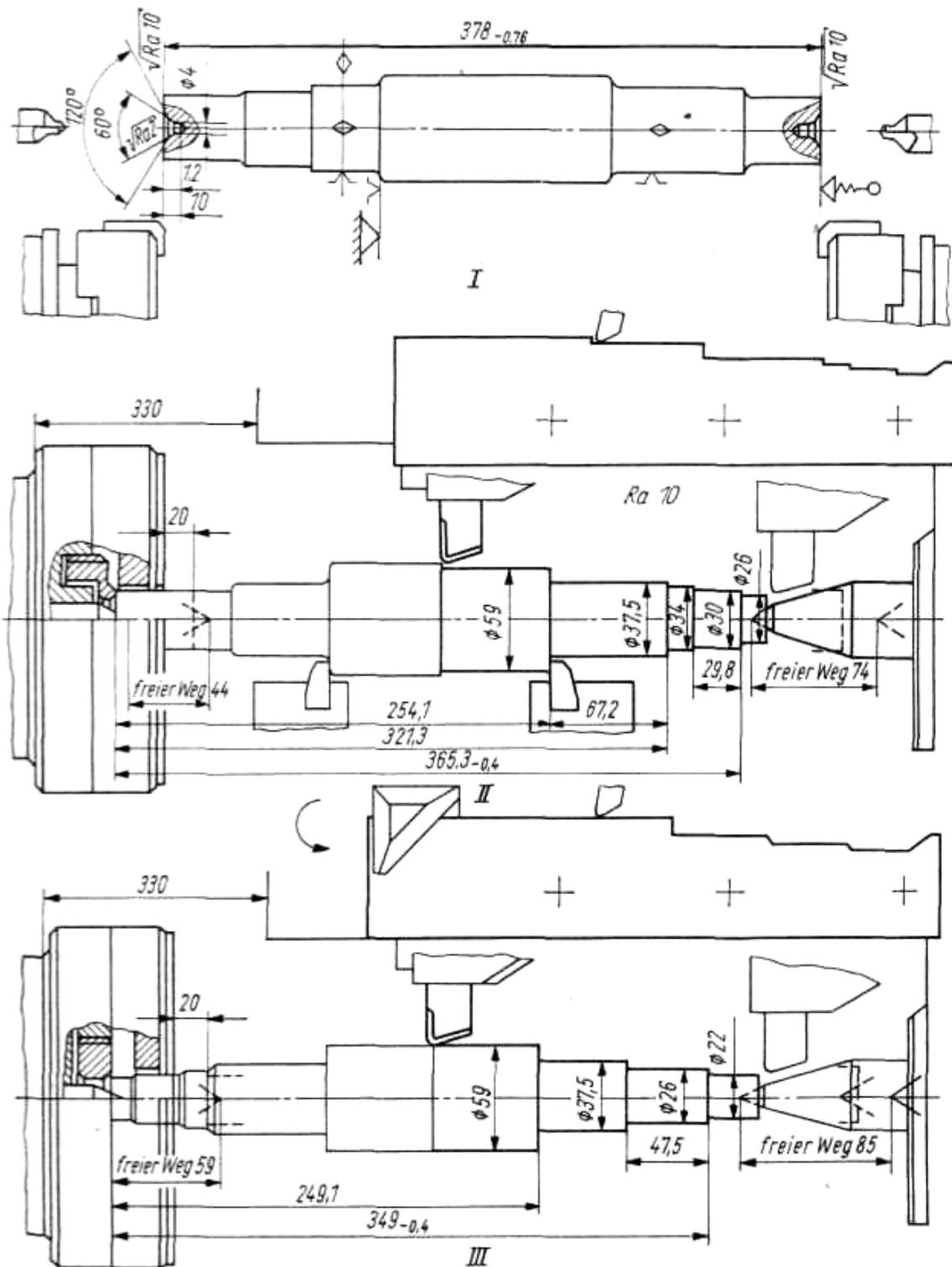


Рис. 8.28. Технологические операции, выполняемые на станках автоматической линии

На втором станке II выполняется предварительная токарная обработка по контуру вала с одной стороны. Проходной сборный резец со сменной трехгранной пластиной из твердого сплава T14K8 выполняет продольное точение по копиру с режимами: $n = 708 \text{ мин}^{-1}$, $s = 0,5 \text{ мм/об}$. Последующая подрезка торцев двумя резцами, расположенными на поперечном суппорте, осуществляется с поперечной подачей $s_n = 0,3 \text{ мм/об}$. Продолжительность цикла обработки $T_p = 0,845 \text{ мин}$.

С помощью специального устройства заготовку поворачивают на 180° , а затем подают на станок III, где выполняется предварительная токарная обработка по контуру вала с другой стороны: $n = 708 \text{ мин}^{-1}$, $s = 0,5 \text{ мм/об}$, $T_p = 0,865 \text{ мин}$.

На четвертом IV и пятом V станках проводят чистовую токарную обработку по контуру вала с одной и другой стороны. Режимы обработки: частота вращения шпинделя $n = 1118 \text{ мин}^{-1}$, продольная подача $s = 0,3 \text{ мм/об}$. Продолжительность рабочего цикла соответственно $T_p = 0,675 \text{ мин}$ и $T_p = 1,115 \text{ мин}$.

На последнем шестом станке VI осуществляют чистовую подрезку двух торцев, обеспечивая окончательное получение линейного размера $123^{+0,36}$, и прорезку двух канавок на расстоянии $43^{+0,3}$. Режимы обработки: $n = 760 \text{ мин}^{-1}$, $s_n = 0,15 \text{ мм/об}$, продолжительность цикла $T_p = 0,34 \text{ мин}$.

На фрезерно-центровальном станке заготовка базируется в самоцентрирующихся тисках с призматическими губками по черным цилиндрическим поверхностям двух ступеней одинакового диаметра $40^{+0,3}$ мм. Положение вала в осевом направлении определяет упор, к которому вал автоматически поджимается с правой стороны перед его закреплением.

Базирование заготовок на токарных станках осуществляют в двух центрах с опорой по торцу в постоянную втулку. Наличие подпружиненного (плавающего) переднего центра позволяет получать линейные размеры вала от опорного торца. Это дает возможность исключить влияние глубины зацентровки вала и повысить точность получаемых линейных размеров. Для передачи вращения применяют самозажимные патроны центробежного типа, в которых с увеличением частоты вращения вала сила его закрепления кулачками возрастает.

Схема технологической размерной цепи токарного гидрокопировального станка, определяющая получение радиального размера E_Δ вала, показана на рис 8.29.

$$E_{\Delta} = -E_1 + E_2 + E_3 - E_4 - E_5 + E_6 + E_7 + E_8 - E_9.$$

В приведенной цепи роль компенсатора выполняет размер E_5 , определяющий толщину слоя масла в поперечном гидроцилиндре. Этот размер зависит от высоты калибра, который определяет радиальный размер на соответствующей ступени вала.

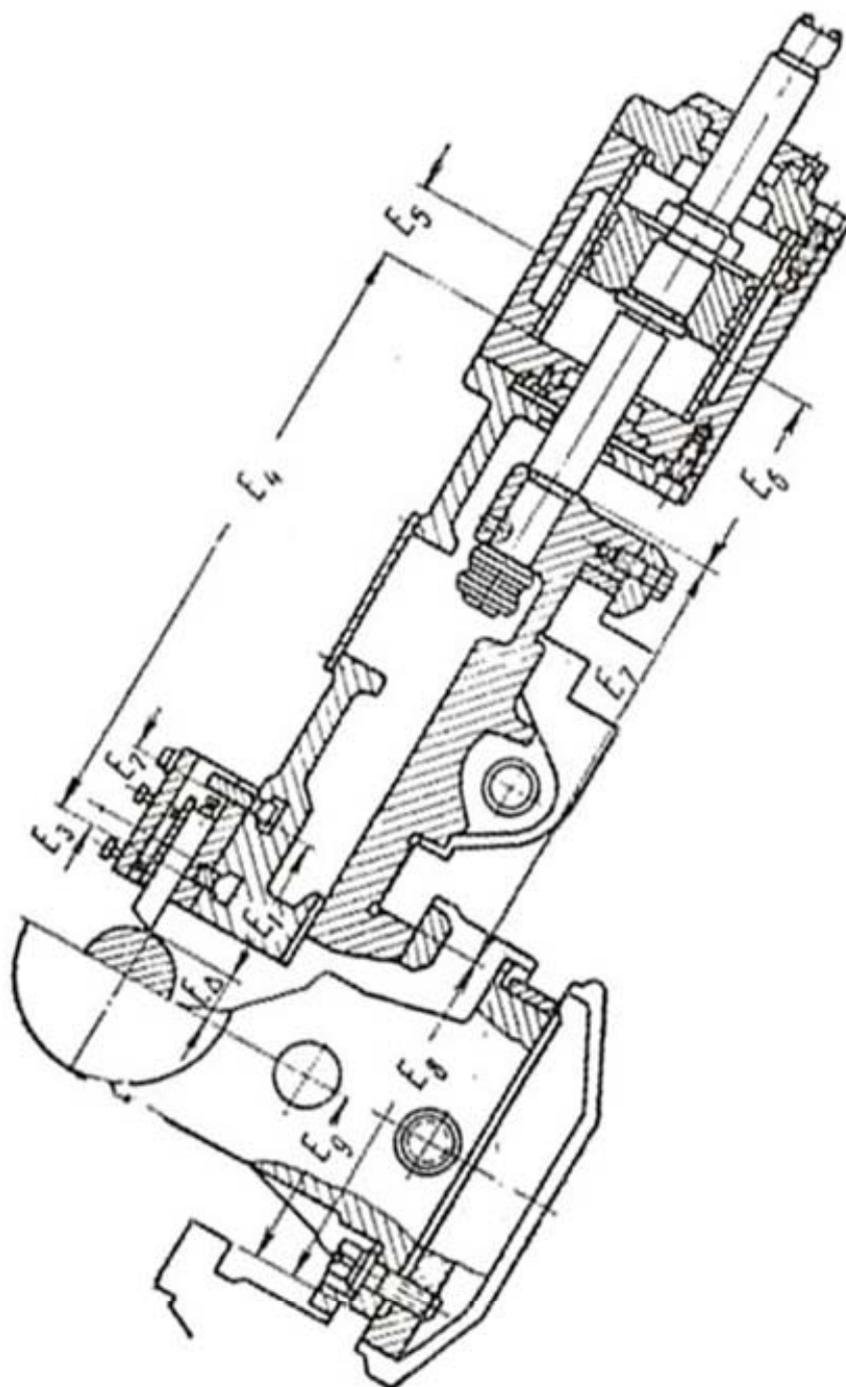


Рис. 8.29. Схема размерной цепи гидрокопировального станка, определяющая получение радиального размера вала

В свою очередь, размер E_1 представляет собой длину резцового блока, на которую происходит его настройка вне станка. Это означает, что установку настроенного резцового блока или замену изношенной твердосплавной трехгранной пластины выполняют по методу взаимозаменяемости, что не требует проведения дополнительной размерной поднастройки станка.

Изготовление валов на станках с ЧПУ токарного типа

Валы на станках с ЧПУ и на многоцелевых станках токарного типа обрабатывают в условиях автоматизированного единичного и серийного производства. Задание траектории перемещения режущего инструмента и режимов обработки в цифровой форме обеспечивает высокую технологическую гибкость, что позволяет быстро перестраивать станок на обработку новых деталей и вносить необходимую коррекцию в управляющую программу.

На токарных станках с ЧПУ выполняют обработку как валов, так и других деталей тел вращения. При этом представляется возможным получать наружные и внутренние поверхности с прямолинейным и криволинейным контурами, а также нарезать наружные и внутренние резьбы. Обработку выполняют с использованием различных резцов и другого режущего инструмента, который автоматически заменяют и выводят в зону обработки для формообразования требуемой поверхности.

Станки с ЧПУ токарного типа обеспечивают высокую точность перемещения по управляемым координатам, которую определяет дискретность задания перемещений. В большинстве случаев она равна 10 мкм, а на станках повышенной точности дискретность составляет 1 мкм.

Для удобства составления управляющих программ и повышения производительности применяют постоянные циклы (стандартные подпрограммы), позволяющие реализовать модульный принцип программирования обработки деталей. На рис. 8.30 приведены схемы задания траектории перемещения режущего инструмента с использованием постоянных циклов точения, обеспечивающих автоматическое разделение снимаемого припуска на проходы. Применяют также постоянные циклы для многопроходного нарезания резьбы, для прорезки кольцевых канавок и другие.

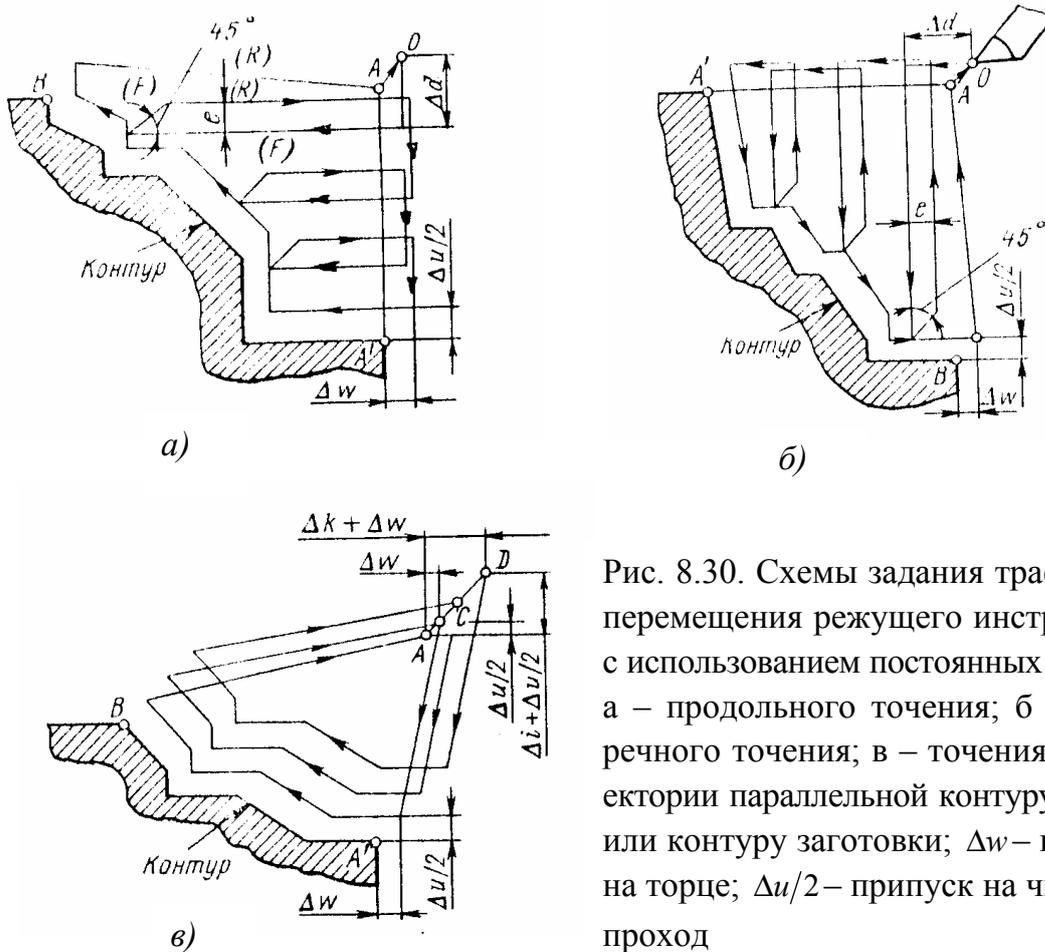


Рис. 8.30. Схемы задания траектории перемещения режущего инструмента с использованием постоянных циклов: а – продольного точения; б – поперечного точения; в – точения по траектории параллельной контуру детали или контуру заготовки; Δw – припуск на торце; $\Delta u/2$ – припуск на чистовой проход

Многоцелевые станки (обрабатывающие центры) токарного типа позволяют выполнить с одной установки комплексную обработку вала. На таких станках проводят не только токарную обработку, но также и другие переходы: фрезерование шпоночных пазов и уступов, сверление и расточку отверстий, нарезание внутренних резьб и др. Это достигается благодаря наличию на станке многопозиционных револьверных головок, на которых располагаются не только резцы, но и фрезы, сверла, зенкеры, имеющие индивидуальный привод вращения. Для осуществления операции точения с обеих сторон вал базируют в центрах (см. рис. 8.6, а) с использованием рифленого переднего центра или торцевого поводка. Для выполнения фрезерных и сверлильных переходов шпиндель останавливают в нужном положении и подводят требуемый инструмент.

Применение одного многоцелевого станка токарного типа позволяет заменить несколько универсальных станков: токарный, фрезерный,

сверлильный. Автоматизация цикла обработки, включая автоматическую замену инструмента и заготовки, позволяет в три и более раз уменьшить затраты вспомогательного времени и повысить производительность обработки.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте служебное назначение и технические требования для валов.
2. Какие заготовки применяют для изготовления валов?
3. Сформулируйте типовой технологический процесс изготовления вала.
4. На каком оборудовании выполняют токарную обработку валов?
5. Какими методами нарезают шпоночные и шлицевые пазы на валах?
6. Какие методы обработки применяют для отделки валов?
7. Когда изготовление валов выполняют на автоматических линиях?
8. При каком производстве валы обрабатывают на станках с ЧПУ?

ГЛАВА 9. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШПИНДЕЛЕЙ

9.1. Служебное назначение шпинделей и технические требования

Шпиндели металлорежущих станков предназначены для базирования обрабатываемых заготовок или режущего инструмента при передаче им требуемого крутящего момента с заданной частотой вращения. Шпиндель – одна из наиболее ответственных деталей станка, от качества изготовления которой в значительной степени зависит точность изготавливаемых на станке деталей. Исполнительными поверхностями шпинделя (рис. 9.1) являются коническое отверстие С, торец и расположенный на торце центрирующий пояс В, которые определяют положение устанавливаемого патрона, режущего инструмента, оправки или центра. Основными базами шпинделей служат две опорные шейки под подшипники К, Ж и расположенные на них торцевые поверхности Д. Вспомогательными базами шпинделя являются ступени со шлицевыми и шпоночными пазами, на которые устанавливают зубчатые колеса.

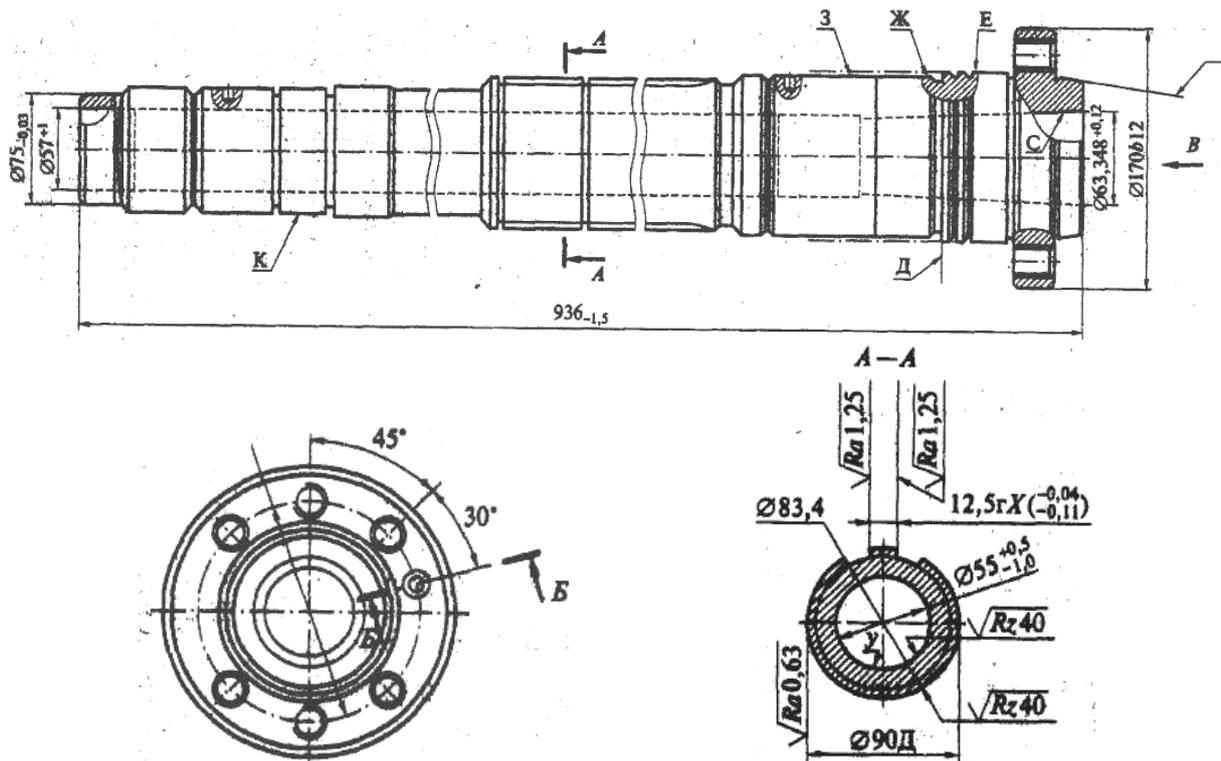


Рис. 9.1. Шпиндель токарно-винторезного станка

В зависимости от назначения шпиндели могут быть:

- полые, т.е. иметь сквозное осевое отверстие, которое на одном или на обоих концах переходит в точное цилиндрическое или конусное;
- без сквозного отверстия, однако на концах может быть точное цилиндрическое или коническое отверстие;
- сплошные без осевого отверстия.

Большинство станков имеют первую группу шпинделей, которые отличаются наибольшей сложностью изготовления.

В соответствии со служебным назначением шпиндели станков должны удовлетворять следующим требованиям:

- точности вращения, которая характеризуется допустимым биением переднего конца шпинделя в осевом и радиальном направлениях;
- виброустойчивости, что особенно важно для скоростных станков;
- жесткости, определяющей точность положения шпинделя при приложении нагрузок;
- износостойкости базовых и исполнительных поверхностей.

В качестве опор шпинделей применяют подшипники качения и подшипники скольжения. При этом в переднюю опору следует уста-

навливать более точные подшипники. Шпиндель, несущий обрабатываемую заготовку или режущий инструмент, своими размерами участвует в технологических размерных цепях станка, которые непосредственно определяют точность изготавливаемой детали. Это прежде всего относится к параметрам точности исполнительных поверхностей шпинделя и его опорных шеек. Обеспечение стабильности положения оси вращения шпинделя в первую очередь зависит от правильности геометрической формы его опорных шеек и перпендикулярности базовых торцев относительно оси, от точности положения (соосности) его исполнительных поверхностей относительно опорных шеек.

По точности изготовления шпиндели, так же как и станки, делятся на пять групп (группы точности Н, П, В, А, С) [8]. Для шпинделей металлорежущих станков нормальной (Н) и повышенной (П) точности с опорами качения применяют обычно подшипники 4-го класса точности по ГОСТ 520–71. Для станков более высокого класса точности (В и А) применяют подшипники 2-го класса точности, в соответствии с этим устанавливают и более высокие требования к геометрической форме опорных шеек. Для особо точных станков (класс С и А), а также для быстроходных шпинделей к точности геометрической формы опорных шеек предъявляют особо высокие требования. Допуски, ограничивающие овальность и конусность для станков нормальной точности, определяют в пределах 50 % допуска на диаметральный размер, для станков повышенной точности – 25 % допуска, а для прецизионных – 5 – 10 % допуска на диаметральный размер опорной шейки.

Основные технические требования на изготовление шпинделей:

- точность диаметральных размеров опорных шеек и исполнительных поверхностей по *IT6*; погрешность геометрической формы указанных поверхностей для обычных станков 0,01 мм, для станков повышенной точности 0,003...0,005 мм, а для прецизионных 0,001...0,003 мм;
- отклонения от соосности опорных шеек и исполнительных поверхностей в пределах 0,006...0,001 мм;
- торцевое биение исполнительных поверхностей (опорных фланцев) 0,01...0,005 мм для обычных станков и 0,003...0,001 мм для прецизионных;
- шероховатость поверхности опорных шеек $Ra = 0,32...0,04$ мкм и исполнительных поверхностей $Ra = 0,63...0,04$ мкм;

- поверхностная твердость исполнительных поверхностей и опорных шеек в пределах *HRC* 55...69.

9.2. Материал и методы получения заготовок

Выбор материала для шпинделя определяется типом станка и условиями работы шпинделя. Шпиндели, работающие на опорах скольжения, должны обладать не только высокими прочностью и жесткостью, но и высокой износостойкостью. В качестве материала для изготовления шпинделей применяют конструкционную сталь 45 с последующей закалкой и высоким отпуском. При повышенных требованиях применяют сталь 40X, 40XH, а также малоуглеродистую сталь типа 20X с последующей цементацией, закалкой и отпуском, что позволяет получить высокую поверхностную твердость исполнительных поверхностей в опорных шейках *HRC* 56...62 [6].

Для нагруженных шпинделей применяют марганцовистые стали типа 50Г2 с последующей нормализацией, закалкой и высоким отпуском. Для шпинделей повышенной точности, работающих на высоких оборотах, применяют сталь 12ХН3 и сталь 35ХМЮА с последующим азотированием.

В ряде случаев для шпинделей токарных станков, работающих в обычных условиях, применяют высокопрочный (магниевоый) чугун, который по прочности не уступает стали. Для изготовления пустотелых шпинделей некоторых тяжелых станков также используют отливки из серого чугуна типа СЧ 15, СЧ 21, а также отливки из модифицированного чугуна.

В зависимости от серийности в качестве заготовок для шпинделей применяют поковки, реже стальные отливки, прутковый материал и трубы. Заготовки чугунных полых шпинделей получают центробежным литьем в металлические формы.

В качестве заготовок в единичном и мелкосерийном производстве применяют прокат или поковки, получаемые свободной ковкой. В этом случае имеют место большие припуски и огранка на обрабатываемых поверхностях, что затрудняет выполнение обработки на настроенных станках. В результате получают низкий коэффициент использования материала (0,3...0,5). Таким методом получают обычно заготовки для стальных шпинделей и для пинолей задних бабок тяжелых станков.

В производстве с более крупными сериями выпуска заготовки стальных шпинделей получают горячей высадкой на горизонтально-ковочных машинах или ковкой на ротационно-ковочных машинах. В первом случае расход металла по сравнению со свободной ковкой сокращается на 20 % и коэффициент использования металла для шпинделя токарного станка составляет 0,5...0,7. Во втором случае коэффициент использования металла повышается до 0,8. При этом значительно снижается трудоемкость механообработки шпинделей.

9.3. Технология изготовления шпинделей

Все заготовки шпинделей, полученные литьем, ковкой или штамповкой, перед механической обработкой подвергают термической обработке (нормализации, улучшению), что обеспечивает выравнивание внутренних напряжений. Этой цели отвечают также создание наиболее технологичной конструкции шпинделя и выбор правильного технологического процесса с разделением обработки на черновую и отделочную, между которыми также предусматривается термическая обработка шпинделя.

До операции обработки центрального отверстия шпиндели обычно обрабатывают так же, как и ступенчатые валы. При этом в качестве технологических баз в заготовках поковках и в заготовках, получаемых из проката, используют создаваемые на первой операции центровые гнезда. В заготовках, получаемых из толстостенных труб, в качестве технологических баз используют два конических пояска, которые создают с обоих концов центрального отверстия. На этих базах осуществляется черновая токарная обработка наружных цилиндрических поверхностей шпинделя.

На последующей операции выполняют обработку центрального отверстия, при этом в качестве технологических баз используют предварительно обработанные опорные шейки шпинделя. После чернового обтачивания и обработки отверстия, при которых происходит удаление основного припуска, шпиндель подвергают термической обработке – нормализации (стабилизирующему отжигу) для снятия внутренних напряжений, улучшения механических свойств и обрабатываемости материала. При невыполнении этой термической операции могут возникнуть значительные деформации шпинделя как после последующей обработки опорных шеек, так и в процессе его эксплуатации. При обработке осевого отверстия происходит удаление центровых гнезд, что означает потерю первоначально созданных технологических баз.

Основными базами шпинделя являются его опорные шейки. Однако использовать их в качестве технологических баз на большинстве операций при обработке поверхностей вращения представляется сложным. Поэтому чистовую и отделочную обработки наружных поверхностей производят при базировании шпинделя на специальных пробках (рис. 9.2), на оправках с центровыми гнездами или на центровых фасках, создаваемых на обоих концах шпинделя.

Пробки вставляют в предварительно обработанные с обеих сторон цилиндрические или конические отверстия шпинделя. Такие базовые отверстия обрабатывают с высокой точностью по *IT7*, *IT6*. По конструкции пробки могут быть разжимные, цилиндрические и конические (конус Морзе).

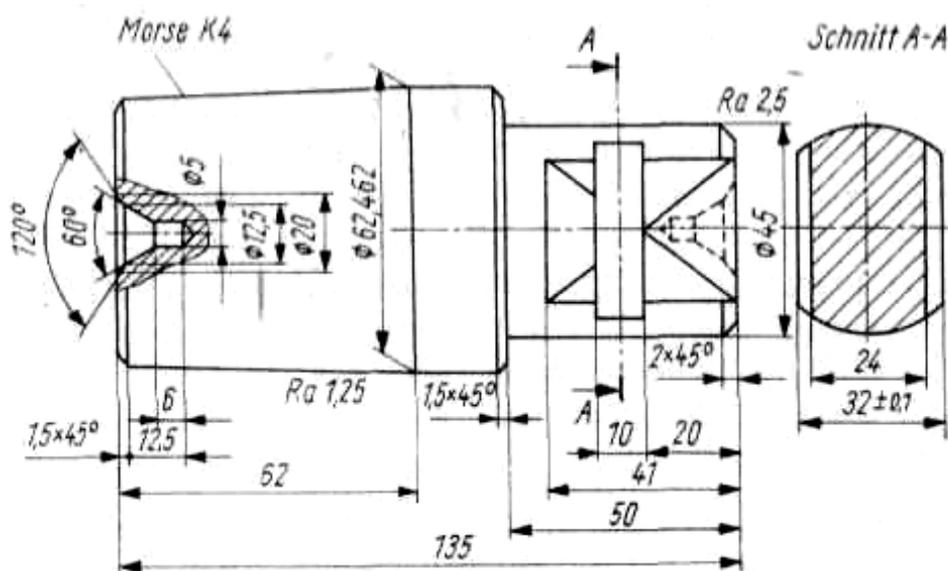


Рис. 9.2. Коническая пробка для обработки шпинделя в центрах

Пробки, входящие дополнительным звеном в технологическую размерную цепь при смене их на различных операциях, могут вносить погрешности, которые повлияют на положение исполнительной поверхности центрального отверстия относительно поверхности опорных шеек. Чтобы уменьшить влияние этих погрешностей на конечную точность шпинделя, чистовые и отделочные операции обработки наружных поверхностей следует выполнять на одних и тех же пробках, вставленных в шпиндель, без их смены. Это потребует большего числа пробок, однако точность обработки повышается. Более высокую точность обработки достигают при использовании цилиндрических и конических пробок. Конические пробки легко устанавливать и снимать с базовых отверстий, одна-

ко их изготовление и обработка соответствующего конического базового отверстия в шпинделе представляют определенные трудности. Технологический маршрут обработки шпинделя токарного станка в условиях серийного производства приведен в таблице.

Технологический маршрут изготовления шпинделя токарного станка

Номер операции	Наименование и содержание операций	Технологические базы	Оборудование
05	Фрезерно – центровая Фрезерование торцев, сверление центровых отверстий	Поверхности шеек и торец	Фрезерно-центровальный станок
010	Токарная. Черновая токарная обработка наружных поверхностей	Поверхности центровых отверстий	Токарный станок
015	Сверлильная. Сверление осевого отверстия	Поверхности опорных шеек	Станок для глубокого сверления
020	Термическая. Стабилизирующий отжиг в вертикальном положении	—	—
025	Токарная. Чистовая токарная обработка переднего и заднего конических отверстий	Поверхности опорных шеек	Токарный станок
030	Токарная. Чистовая токарная обработка по контуру наружных поверхностей, нарезание резьбы	Поверхности центровых гнезд в пробках	Универсальный токарный станок
040	Шпоночно–фрезерная Фрезерование шпоночных пазов	Поверхности центровых гнезд в пробках	Шпоночно–фрезерный станок
045	Шлицефрезерная Фрезерование шлицев	Поверхности центровых гнезд в пробках	Шлицефрезерный станок
050	Сверлильная. Сверление отверстий на фланце, зенкерование фасок, нарезание внутренних резьб	Поверхности опорных шеек и торец	Радиально-сверлильный станок
055	Термическая. Закалка шеек, наружного и внутреннего конусов	—	Установка ТВЧ

Окончание таблицы

Номер операции	Наименование и содержание операций	Технологические базы	Оборудование
060	Шлифовальная. Отделочная обработка опорных шеек, наружных поверхностей	Поверхности центровых гнезд в пробках	Круглошлифовальный станок
065	Внутришлифовальная Отделка исполнительных поверхностей - внутреннего конуса торца	Поверхности опорных шеек	Внутришлифовальный станок
070	Промывка и контроль	—	—

При необходимости в технологический маршрут после термической обработки включают также операцию правки шпинделя. Это делают для шпинделей, изготавливаемых из цементируемых сталей, которые подвергаются длительному нагреву. Однако правка шпинделя нежелательна, так как может привести к концентрации внутренних напряжений.

Сравнительно сложная конфигурация шпинделя с большим числом ступеней, незначительно различающихся по диаметру (см. рис. 9.1), часто не позволяет получить заготовку прогрессивным методом с минимальными припусками по всему профилю. В соответствии с этим снять припуски, составляющие на отдельных участках 15 мм, за одну операцию удается не всегда. Поэтому, как видно из приведенного маршрута, обработку разделяют на черновую, чистовую и отделочную, выполняемую шлифованием.

В зависимости от серийности производства черновую и чистовую обработку наружных поверхностей шеек шпинделя производят на токарных, многолезцовых и гидрокопировальных станках.

Практика показала, что даже при небольших размерах партий экономически целесообразно вести обработку не только на токарных станках с ЧПУ, но и на многолезцовых и гидрокопировальных станках. Многолезцовые станки позволяют применять несколько резцов и сокращать длину рабочих ходов. Гидрокопировальные станки (несмотря на то, что продольное обтачивание производится одним резцом по

копиру) вследствие их быстроходности и большой жесткости позволяют вести обработку на высоких режимах резания, что значительно сокращает машинное и вспомогательное время. Обтачивание ведется твердосплавными резцами Т14К8 и Т15К6 со скоростью резания 150...160 м/мин, при глубине резания 5...15 мм с продольной подачей 0,32 мм/об.

Заготовку устанавливают в центрах, поджимая задним центром ее левый торец к опорному кольцу, от которого осуществляется настройка линейных размеров. Крутящий момент передается поводковым патроном с самозахватывающимися кулачками, которые зажимают заготовку за наружную поверхность, что не позволяет производить точение напроход по всей длине. Поэтому для обработки с другой стороны заготовку необходимо переставлять. Обработка же без переустановки с применением специального торцевого поводкового патрона не всегда возможна, так как при черновой обработке требуется значительная осевая сила со стороны заднего центра, что может вызвать продольный изгиб обрабатываемой заготовки.

Осевые отверстия сверлят на станках для глубокого сверления или на модернизированных токарных станках. Применяют также специальные двухшпиндельные станки типа РТ-54, на которых глубокое сверление одновременно выполняют у двух шпинделей, устанавливаемых в двухместное приспособление. Отверстия диаметром до 80 мм сверлят специальными перовыми сверлами. Охлаждающая жидкость, служащая одновременно для удаления стружки, подается под давлением в зону резания через канал в державке сверла. Применяют также кольцевые резцовые головки, позволяющие при сверлении получить вторичную заготовку в виде стержня меньшего диаметра, что существенно сокращает расход материала. Для обработки полученных в заготовке отверстий применяют многорезцовые расточные головки, которые позволяют получить отверстия большего диаметра.

Глубокое сверление отверстия на токарных станках выполняют за два установка. Сначала осуществляют сверление на определенную глубину с одного конца шпинделя, а затем – напроход с другого конца. В качестве технологических баз используют наружные поверхности предварительно обточенных ступеней шпинделя. По одной ступени заготовка базируется в патрон станка, через который передается крутящий момент, а по другой ступени она закрепляется в неподвижном люнете.

Отверстие шпинделя токарного станка 16К20 диаметром 55 мм обрабатывают сверлом из быстрорежущей стали со скоростью резания $v = 26,6$ м/мин и подачей $s = 0,2$ мм/об. Применение сверл из твердого сплава повышает скорость резания до 60...70 м/мин. Отклонение от концентричности отверстия после сверления не превышает 0,5 мм.

Коническое отверстие в передней и задней частях шпинделя зенкеруют и растачивают на больший диаметр. Полученные конусные отверстия служат затем технологическими базами, в которые вставляют калиброванные пробки с центровыми гнездами для дальнейшей чистовой обработки наружных поверхностей шпинделя.

Резьбы, нарезаемые на шпинделе, имеют различные функции. Повышенные требования предъявляют к точности резьбы, служащей для фиксации зажимных патронов. Эту резьбу либо полностью нарезают на токарном станке, либо обработку разбивают на две операции. Предварительное фрезерование выполняют на резьбофрезерном станке, а окончательное калибрование резцами – на токарном. Если предусматривается закалка рассматриваемой резьбовой поверхности, то после термообработки проводят шлифование резьбы на резьбошлифовальном станке.

Резьбы, используемые для крепления монтируемых на шпинделе деталей кольцевыми гайками, являются мелкими, их выполняют по нормальной точности (не ниже 6g). Такие резьбы в зависимости от вида производства также нарезают на токарном станке резцами или на резьбофрезерных станках дисковыми либо гребенчатыми фрезами.

Шпоночные пазы на поверхности шпинделей фрезеруют на обычных универсально-фрезерных или на шпоночно-фрезерных станках дисковыми или пальцевыми фрезами. Шлицы нарезают на шлицефрезерных станках червячными фрезами по методу обкатки или на универсально-фрезерных станках фасонными фрезами (см. п. 8.6) методом копирования. Если шлицевая поверхность не подвергается закалке, то для шлицев эта операция может быть окончательной. В противном случае на шлицевой поверхности оставляют припуск 0,25...0,4 мм для шлицешлифования, выполняемого после закалки.

Требуемые глубина и параллельность образующих поверхностей шлицев и шпоночных канавок относительно оси шпинделя наилучшим образом обеспечиваются при установке шпинделя в центрах. Поэтому

обработку шлицев и шпоночных пазов обычно осуществляют при базировании в центрах на тех же пробках. Фрезерование шпоночных пазов можно выполнять также при базировании в призмах по опорным или другим ступеням шпинделя. При этом применяется более простая по конструкции технологическая оснастка.

На последней операции, выполняемой перед термической обработкой, производят сверление, развертывание отверстий во фланце и нарезание внутренней резьбы метчиком. В зависимости от серийности выпуска сверление может проводиться на горизонтально-расточных, вертикальных или радиально-сверлильных станках, а также на сверлильно-расточных агрегатных станках. На радиально-сверлильных, расточных и агрегатных станках требуемая точность межосевых расстояний обеспечивается с помощью накладных кондукторов. Сверление на вертикально-сверлильном станке можно выполнять с использованием многошпиндельной головки. В этом случае резьба нарезается на радиально-сверлильном станке как отдельная операция.

Отделка наружных цилиндрических и шлицевых поверхностей шпинделя после закалки осуществляется предварительным и чистовым шлифованием, которое выполняют соответственно на круглошлифовальных и шлицешлифовальных станках при базировании шпинделя по установленным пробкам или на центровых фасках.

Наиболее ответственными операциями, которые непосредственно влияют на конечную точность шпинделя, являются операции отделочной обработки опорных шеек шпинделя, центрирующего конуса для фиксации зажимного патрона и конической поверхности осевого отверстия. Отделку исполнительных поверхностей – конического отверстия и переднего торца – выполняют на специальном внутришлифовальном станке. При этом для максимального сокращения отклонений от соосности исполнительных поверхностей относительно оси опорных шеек базирование шпинделя осуществляют по окончательно обработанным двум опорным шейкам. Шпиндель устанавливают на стол станка в специальное приспособление на две опоры гидростатического люнета. Вкладыши опор тщательно обрабатывают и при установке приспособления на столе станка выверяют. Вращение шпинделю передается с помощью гибкой связи, а шлифовальный круг разворачивают относительно оси шпинделя на требуемый угол конического отверстия.

Уменьшение времени шлифования и повышение производительности обработки достигают путем сокращения продолжительности вспомогательных ходов и уменьшения числа переустановок заготовки на операциях шлифования. С этой целью представляется целесообразным применение шлифовальных станков с ЧПУ, позволяющих снизить общую продолжительность вспомогательного времени в 2...3 раза.

При необходимости достижения на поверхностях опорных шеек высоких требований шероховатости поверхности, например $R_z = 0,1 \dots 0,3$ мкм, после чистового шлифования вводят дополнительную операцию – суперфиниширование поверхности. Сущность этого метода отделки поверхностей заключается в том, что с помощью брусков, полученных из микропорошковых абразивных материалов, с поверхности заготовки удаляют гребешки, оставшиеся после предыдущей операции, и поверхность доводят до зеркального вида [23].

Рабочими движениями при суперфинишировании наружных цилиндрических ступеней являются вращение шпинделя и короткие возвратно-поступательные (осциллирующие) продольные и поперечные движения подпружиненных брусков, установленных в специальной головке. Амплитуда колебания брусков составляет от 1,5 до 5 мм при частоте 400...1200 колебаний в минуту. Обработка осуществляется на низкой скорости резания (5...7 м/мин) при малом постоянном давлении брусков $(0,5 \dots 3) \cdot 10^5$ Н/м² с использованием смазки малой вязкости, составляемой на основе машинного масла. Припуск, оставляемый под суперфиниширование, обычно не превышает 5...7 мкм.

В результате происходит удаление микрогребешков и образование очень гладкой поверхности с характерным сетчатым рельефом. Однако суперфиниширование практически не уменьшает такие погрешности геометрической формы, как волнистость, овальность, конусность.

9.4. Термическая обработка шпинделей

Вид термической обработки и ее режим зависят от выбранной марки стали и требований, предъявляемых к шпинделю. Цель термической обработки – повышение износостойкости исполнительных поверхностей шпинделя, поверхностей опорных шеек и некоторых других поверхностей шпинделя с сохранением «сырой» сердцевины (центральной части ма-

териала). Последнее позволяет значительно уменьшить коробление, обеспечивая сохранение первоначально полученной высокой точности шпинделя в процессе длительного времени его эксплуатации.

Эффективным методом термической обработки шпинделей считается поверхностная закалка. Термическая обработка не должна вызывать заметных деформаций и искривления шпинделя. Указанные выше поверхности подлежат закалке и последующему отпуску для достижения твердости HRC , 46,5...57. Шпиндели, работающие в опорах скольжения, закаливают и до более высокой твердости. После термической обработки поверхности необходимо промыть и очистить от возможной окалины. Поверхностную закалку можно производить несколькими способами.

Поверхностная закалка с нагревом ТВЧ в последнее время получила наибольшее распространение. Преимущество ее заключается в кратковременности нагрева (0,5...20 с) поверхностного слоя металла, который подвергается закалке, в то время как остальная часть металла остается не нагретой, а это почти предотвращает деформирование заготовки. На закаливаемой поверхности почти отсутствует окалина. Это позволяет оставлять на отделочные операции незначительные припуски. Глубина закаливаемого слоя 1...5 мм, а его твердость выше, чем после закалки другими способами. Закаливаемая поверхность нагревается при вращении шпинделя с помощью специальных кольцевых индукторов, охватывающих нагреваемый участок. Затем с помощью распыляемой жидкости охлаждают закаливаемый участок. Продолжительность закалки наружных поверхностей шпинделя при напряжении 11 В и силе тока на аноде 9 А составляет 50 с. Последующий отпуск поверхности шпинделя можно также выполнять на установке ТВЧ или в шахтных печах. В последнем случае шпиндель нагревают и выдерживают в течение 2,5 ч при температуре 180 °С.

Поверхностная закалка азотированием. Этим способом закаливают шпиндели, изготовленные из сталей 38Х2Ю, 38Х2МЮА и других, содержащих алюминий. Азотированию подвергают обычно шпиндели, работающие в опорах скольжения, когда стремятся добиться минимальной деформации при закалке. Так как эта обработка протекает при сравнительно низкой температуре (550...500 °С), при которой не про-

исходят фазовые превращения металла, то заметных деформаций не наблюдается. Твердость же закаленной поверхности достигает HRC_9 , 67...69.

Вследствие незначительной деформации шпинделя, с одной стороны, и трудности обработки азотированного слоя металла – с другой, поверхности, подлежащие азотированию, предварительно шлифуют, оставляя небольшой припуск (0,05...0,06 мм) на последующую отделочную операцию шлифования мелкозернистым абразивным кругом и полирование. Процесс азотирования в целом не представляет сложностей, однако продолжительность его составляет несколько часов.

9.5. Контроль и балансировка шпинделей

Точность изготовления шпинделя контролируют в определенной последовательности. Сначала определяют правильность геометрической формы поверхностей, затем их размеры и потом точность относительного положения поверхностей. Такая последовательность позволяет при измерении исключить влияние одного параметра на другой и с наибольшей точностью оценить измеряемый геометрический параметр шпинделя.

Измерительными базами при контроле шпинделя обычно служат поверхности его опорных шеек, которые будучи его основными базами определяют положение всех остальных поверхностей при работе шпинделя в станке. В соответствии с этим при проверке шпиндель устанавливают опорными шейками на две призмы, расположенные на контрольной плите, с упором в один торец. Одна из применяемых призм обычно регулируется по высоте, что позволяет выставить ось шпинделя по горизонтали. Диаметральные размеры в зависимости от степени точности и их значения проверяют скобами, а также микрометром (цена деления 0,01 мм), пассаметром (цена деления 0,002 мм) или микро-тастом (цена деления 0,001 мм). Правильность геометрической формы, овальность и конусность оценивают путем проверки диаметральных размеров в нескольких сечениях.

Применяют также специальное контрольное приспособление. Схема измерения параметров геометрической точности шпинделя в специальном приспособлении приведена на рис. 9.3. Шпиндель

устанавливают на две ножевидные призмы 3, 4, а в осевом направлении ограничивают одним из торцевых упоров 1, 5. Для материализации оси конического отверстия в него вставляют измерительную оправку.

Отклонение от прямолинейности образующей цилиндрической поверхности проверяют индикатором на стойке, наконечник которого перемещается по образующей поверхности параллельно оси шпинделя. Разность наибольшего и наименьшего показаний индикатора, отнесенная к расстоянию между контролируемыми сечениями, определяет отклонение от параллельности.

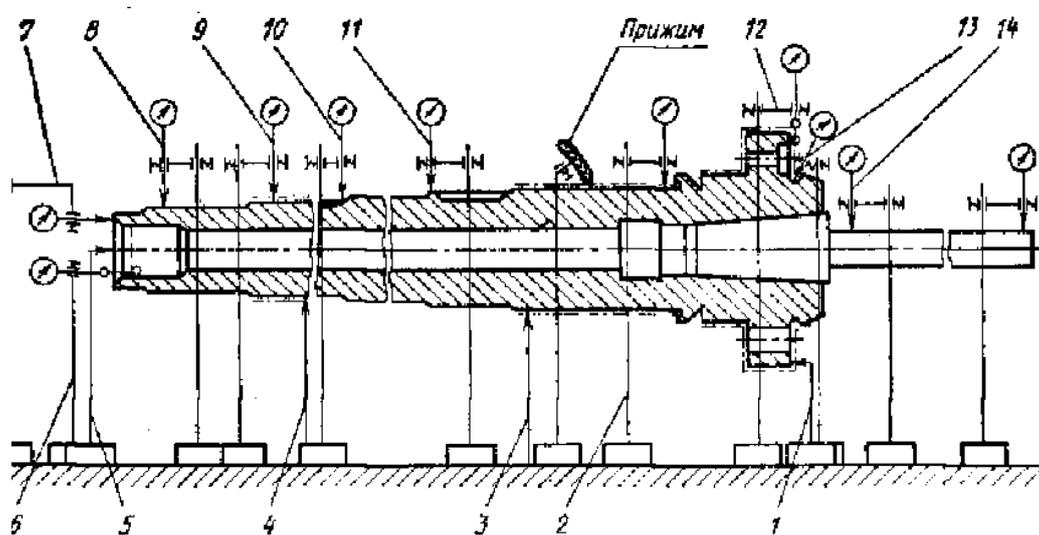


Рис. 9.3. Схема контроля шпинделя

Затем контролируют правильность положения поверхностей относительно оси вращения шпинделя. Отклонение от соосности контролируемой поверхности с осью вращения шпинделя проверяют индикаторами (2, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14), вращая шпиндель вокруг оси. Такую проверку необходимо производить в двух крайних сечениях контролируемой поверхности. Торцевое биение оценивают индикаторами 7, 12.

Особое внимание уделяют контролю соосности исполнительных поверхностей с осью опорных шеек шпинделя. Метод проверки зависит от конструкции шпинделя. У шпинделей с коническим центральным отверстием смещение оси конусной поверхности относительно оси вращения шпинделя контролируют с помощью цилиндрической оправки, вставляемой в проверяемое отверстие точным конусным хвостовиком.

Все шпиндели быстроходных станков проходят статическую и динамическую балансировку в собранном виде. Качество изготавливаемых на станке деталей во многом зависит от стабильности положения шпинделя в станке и плавности его вращения. Погрешности изготовления самого шпинделя и монтируемых на него деталей, а также погрешности сборки шпиндельного узла приводят к дисбалансу и динамической неуравновешенности вращения шпинделя. Это служит причиной возникновения вибрации, которая уменьшает стойкость режущего инструмента, снижает качество обработанной поверхности и вызывает усиленный износ подшипниковых опор шпинделя.

Статическая неуравновешенность, вызывающая появление центробежных сил, возникает при несовпадении центра тяжести деталей с осью вращения шпинделя. Динамическая неуравновешенность возникает, когда действие неуравновешенных масс вызывает появление пары сил и центробежных моментов инерции.

Статическую балансировку обычно применяют для таких деталей, как маховики, диски, зубчатые колеса, у которых отношение L/D мало. Балансировку проводят на оправке, которую заводят в базовое отверстие проверяемой детали. Оправку с установленной на нее деталью устанавливают на два параллельных ножа. При наличии статического момента происходит свободное вращение оправки вдоль параллельно расположенных ножей, что позволяет определить радиальное направление и массу необходимого уравнивающего груза.

У шпинделей станков ($L/D \gg 1$) имеет место два вида неуравновешенности, которую устраняют путем динамической балансировки собранного шпиндельного узла.

Динамическую балансировку выполняют на специальных балансировочных станках. Неуравновешенность шпинделя на балансировочных станках определяется путем измерения амплитуды и фазы колебаний опор. Неуравновешенность устраняют высверливанием определенной массы металла в заданных местах балансируемой детали или узла. Так, например, допускаемый дисбаланс собранного шпиндельного узла токарного станка типа 16К20 составляет $25 \text{ г}\cdot\text{см}$ при частоте вращения шпинделя $33,3 \text{ с}^{-1}$. Для его устранения металл высверливают на торце большого зубчатого колеса и на задней стороне фланца шпинделя.

Контрольные вопросы

1. Дайте формулировку служебного назначения шпинделей.
2. Назовите основные базы и исполнительные поверхности шпинделей.
3. Какие технические требования предъявляют к шпинделям?
4. Какие материалы применяют для изготовления шпинделей?
5. Какими способами получают заготовки для изготовления шпинделей?
6. Назовите типовой технологический маршрут изготовления шпинделей.
7. Какую операцию выполняют для получения в шпинделе сквозного осевого отверстия?
8. Какое оборудование и инструмент применяют на операции сверления сквозного осевого отверстия?
9. Какие технологические мероприятия предусматривают для восстановления потерянных технологических баз шпинделя?
10. Для решения каких технологических задач выполняют термообработку шпинделей?
11. Назовите основные способы термообработки шпинделей.
12. Какой из способов термообработки обеспечивает минимальное коробление шпинделя?
13. Какие операции выполняют для отделки базовых и исполнительных поверхностей шпинделей?
14. Как базируется шпиндель на операции шлифования конического отверстия?
15. Как осуществляется контроль геометрических параметров шпинделя?
16. С какой целью выполняют балансировку шпинделя?
17. Каким способом выводят дисбаланс шпинделя?

ГЛАВА 10. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ХОДОВЫХ ВИНТОВ

10.1. Служебное назначение и технические требования

Ходовые винты станков служат для преобразования вращательного движения вала в поступательное прямолинейное перемещение с заданной точностью суппортов, кареток, ползунов и других деталей.

Ходовой винт непосредственно контактирует с сопрягаемой гайкой, которая неподвижно закрепляется на перемещаемой детали станка.

Ходовой винт является одним из звеньев многозвенной технологической размерной цепи, определяющей точность перемещения узлов станка, а следовательно, и точность изготавливаемой на станке детали. В такой цепи вращающийся ходовой винт участвует постоянно меняющимся линейным размером, определяющим расстояние от точки соприкосновения винта с гайкой до базовой торцевой поверхности, расположенной на опорной шейке винта. Равномерность изменения этого линейного размера оказывает прямое влияние на точность изготавливаемой детали. Она зависит от параметров, определяющих качество изготовления ходового винта, от равномерности его вращения и неизменности относительного положения винта в процессе его работы.

Основными параметрами точности ходовых винтов (рис. 10.1) являются диаметральные размеры винта, точность шага резьбы, точность профиля винтовой поверхности Д, соосность резьбы винта с его опорными шейками А, Б, точность опорных шеек, перпендикулярность опорных буртиков Г к оси ходового винта, толщина нитки резьбы, а также износостойкость рабочих и базовых поверхностей.

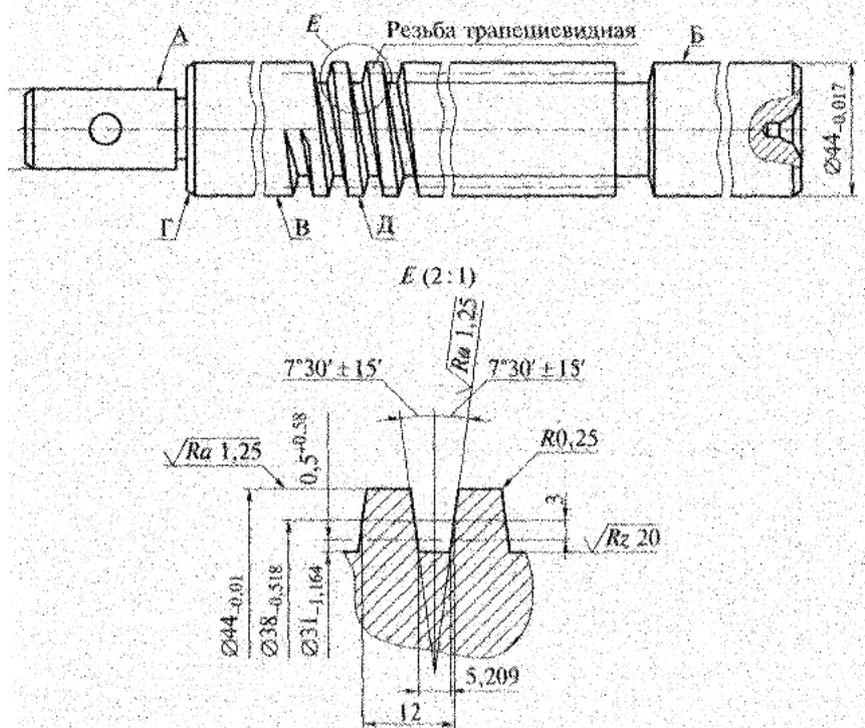


Рис. 10.1. Ходовой винт токарного станка: А, Б – опорные шейки; В – наружная цилиндрическая поверхность; Д – винтовая поверхность; Г – опорный буртик

На ходовых винтах нарезают кинематическую винтовую поверхность, профиль которой может иметь трапециевидную, прямоугольную и треугольную геометрические формы. Наибольшее применение находят ходовые винты с трапецеидальной геометрической формой, которая имеет большую прочность, меньшие потери на трение и повышенную износостойкость, а применение разрезной гайки позволяет регулировать осевые зазоры в соединении. Кроме того, нарезание и шлифование трапецеидальной резьбы значительно проще, чем нарезание и шлифование прямоугольной. Однако отклонения осевых перемещений, обусловленные радиальным биением ходового винта, значительно меньше у винтов с прямоугольным профилем резьбы, чем у винтов с трапецеидальным профилем. Поэтому прямоугольные резьбы чаще применяют на винтах для достижения особо точных перемещений.

Обозначение на чертеже ходового винта геометрических параметров и полей допусков двухзаходной левой LH трапецеидальной резьбы Tr номинального диаметра 40 мм выполняют записью следующего формата [19]:

$$Tr40 \times 4(P2) LH - 7e,$$

где 4 – ход резьбы; $(P2)$ – шаг резьбы; $7e$ – допуск посадки седьмого квалитета. Обозначение размеров и полей допусков на сборочном чертеже с сопрягаемой гайкой имеет вид

$$Tr40 \times 4(P2) LH - 7H/7e,$$

где дробью $7H/7e$ обозначают поля допусков соответственно для гайки и винта.

Ходовые винты в зависимости от достигаемой точности осевого перемещения и группы точности станка делят на пять классов: 0, 1, 2, 3 и 4. В металлорежущих станках в основном применяют ходовые винты 0, 1 и 2-го классов точности [10].

Ходовые винты обладают недостаточной жесткостью, так как их длина во много раз превосходит диаметр, поэтому при их обработке под влиянием сил резания, а также под воздействием собственного веса возникают деформации. Все это создает определенные трудности при изготовлении ходовых винтов и предопределяет выбор для них необходимой марки стали и соответствующее построение технологического процесса.

Основные технические требования на изготовление ходовых винтов соответствующих классов точности приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1. Основные технические требования на изготовление ХОДОВЫХ ВИНТОВ

№ п/п	Вид отклонения	Величина допуска	Пояснения
1	Допустимое отклонение наружного диаметра винта, мкм	6-й квалитет 7-й квалитет 8-й квалитет	Для 0 – 2 классов точности ходового винта Для 3-го класса точности Для 4-го класса точности
2	Погрешность шага резьбы, мкм	±2 ±3 ±6 ±12 ±25	Для 0-го класса точности Для 1-го класса точности Для 2-го класса точности Для 3-го класса точности Для 4-го класса точности
3	Накопленная погрешность шага на всей длине винта, мкм	8 20 40 80 150	Для 0-го класса точности Для 1-го класса точности Для 2-го класса точности Для 3-го класса точности Для 4-го класса точности
4	Отклонение половины угла профиля резьбы при шаге 6...10 мм, мин	10 12 18 25 —	Для 0-го класса точности Для 1-го класса точности Для 2-го класса точности Для 3-го класса точности Для 4-го класса точности
5	Овальность сечения по среднему диаметру резьбы на длине винта 1000...2000 мм, мкм	40 60 100 150 250	Для 0-го класса точности Для 1-го класса точности Для 2-го класса точности Для 3-го класса точности Для 4-го класса точности
6	Шероховатость поверхности резьбы Ra , мкм	0,16...0,08 0,32...0,16 1,25...0,63 2,5...1,25	Для 0-го класса точности Для 1-го класса точности Для 2-го класса точности Для 3, 4-го классов точности
7	Шероховатость опорных шеек Ra , мкм	0,63...0,32	

В станкостроении для станков с ЧПУ в настоящее время широко применяют винтовые пары качения, состоящие из ходового винта и гайки, сопряжение между которыми создается с помощью шариков.

Такая винтовая пара не является самотормозящейся и может применяться как для преобразования вращательного движения в поступательное, так и наоборот. Профиль винтовых канавок и гаек в таких парах может быть полукруглый и арочный. В первом случае профиль винтовой поверхности аналогичен профилю беговой дорожки шарикоподшипников и при работе в паре с гайкой создает двухточечный контакт шариков. Недостаток такого профиля – неопределенность угла контакта. Арочный профиль создает четырехточечный контакт шариков, что обеспечивает постоянство угла контакта [10].

Технические требования к ходовым винтам пар качения в основном те же, что и к ходовым винтам скольжения. Например, наибольшая накопленная погрешность шага резьбы винта не должна превышать 6 мкм для винтов 1-го класса точности на длине 100 мм.

10.2. Материал и методы получения заготовок

К материалу для ходовых винтов предъявляются требования высокой износостойкости, хорошей обрабатываемости и состояния стабильного равновесия внутренних напряжений после механообработки, что позволяет избежать деформирования винта в процессе эксплуатации. Винты бывают закаленными и незакаленными. Термическое упрочнение винтов повышает их износостойкость и способствует сохранению точности в течение длительного времени. Из рекомендуемых для ходовых винтов сталей подобрать сталь, полностью отвечающую указанным выше требованиям, представляется трудным.

Для ходовых винтов крайне нежелательно деформирование, которое может проявляться как в процессе обработки, так и в процессе эксплуатации. Появлению деформаций способствуют остаточные напряжения в самих заготовках и напряжения, возникающие при механической обработке. При поперечном прорезании продольных волокон прутковой заготовки напряжения могут достигать $(294 \dots 392)10^6$ Па. Это в первую очередь имеет место у ходовых винтов, изготавливаемых из заготовок, у которых предварительно не были сняты остаточные напряжения. Уменьшить влияние указанных факторов на точность ходовых винтов можно путем правильного построения технологического процесса их изготовления.

Ходовые винты скольжения 0 – 2-го классов точности без термического упрочнения изготавливают обычно из сталей А40Г и У10А. Ходовые винты скольжения 0 – 2-го классов точности с упрочняющей объемной закалкой, применяемой в основном для прецизионных станков, изготавливают из сталей ХВГ, 7ХГ2ВМ, 40ХФА и др. При закалке путем азотирования ходовые винты менее склонны к деформированию.

Стали У10А и У12А хорошо обрабатываются, отличаются высокой износостойкостью и при известных условиях термической обработки не дают значительных остаточных деформаций. Заготовки подвергают отжигу до получения структуры зернистого перлита и твердости НВ 170 ... 187. Ходовые винты пар качения изготавливают из легированной стали ХВГ или азотируемой стали 30Х3ВА и подвергают термической обработке до *HRC* 59 ... 63.

В качестве заготовок для ходовых винтов используют обычно прутки, отрезанный от сортового материала, диаметр которого максимально приближается к рассчитанному диаметру заготовок с минимальным припуском. Минимальный припуск определяется погрешностями установки и дефектным слоем, однако по ряду причин припуск назначают значительно выше минимального расчетного значения.

Основные базы ходового винта – его опорные шейки и опорные буртики, а исполнительная – винтовая поверхность резьбы. Необходимо обеспечить требуемую точность расположения исполнительной поверхности относительно основных баз.

Так как технологическими базами при изготовлении ходовых винтов служат центровые отверстия по оси винта, то во избежание деформаций, возникающих под влиянием сил резания и собственного веса, создается дополнительная двойная направляющая технологическая база, которой является наружная поверхность винта. Это обстоятельство требует обработки ее с высокой точностью, что влияет на построение технологического маршрута.

10.3. Технология изготовления ходовых винтов

Заготовки для изготовления ходовых винтов получают в заготовительном цехе. Отрезку заготовки от прутка соответствующего диа-

метра выполняют на отрезном станке дисковой фрезой или пилами. При этом с обеих сторон заготовки оставляют припуск на последующую подрезку двух торцов для обеспечения их перпендикулярности относительно оси винта и получения требуемой длины ходового винта.

Перед операциями механической обработки для длинных винтов невысокой точности с целью уменьшения кривизны прутка до 0,5...1 мм предусматривают правку (рихтовку). При большей кривизне их правят путем поперечного изгиба и последующего стабилизирующего отжига.

Уменьшение кривизны заготовки механической правкой может привести к концентрации внутренних напряжений, в результате которых возникают деформации и потеря прямолинейности готового винта. Поэтому для ответственных ходовых винтов повышенной точности операция правки не рекомендуется. Уменьшения кривизны винтов высокой точности достигают путем перецентровки вала, для чего с обоих концов оставляют по длине дополнительный припуск. С этой же целью в технологическом процессе предусматривают также выполнение термических операций (искусственного старения), обеспечивающих выравнивание внутренних напряжений.

На первой операции при подрезке торцов и зацентровке, выполняемой на токарном или торцецентрировальном станках, в качестве технологических баз используют наружную поверхность прутка (двойная направляющая база) и торец (опорная база). На последующих операциях при обработке наружных поверхностей технологическими базами служат поверхности полученных центровых отверстий. Однако ходовые винты и их заготовки в поперечном сечении не обладают достаточной жесткостью. Поэтому при изготовлении ходовых винтов с целью повышения жесткости используют дополнительную технологическую базу – наружную цилиндрическую поверхность винта, по которой происходит опора на подвижный или неподвижный люнет. С этой целью наружную цилиндрическую поверхность предварительно обрабатывают до достижения точности по $h6$ для винтов 0,1 и 2-го классов и по $f7, f8$ для винтов 3 и 4-го классов точности.

Недостаточная жесткость ходовых винтов, связанная с особенностью их формы, может приводить к значительным деформациям

при их обработке. Поэтому помимо особенностей в базировании имеется также ряд отличий в построении самого маршрута обработки. Технологический маршрут изготовления ходового винта токарного станка в условиях серийного производства приведен в табл. 10.2.

Таблица. 10.2. Технологический маршрут изготовления ходового винта

Номер операции	Наименование и содержание операции	Технологические базы	Оборудование, технологическая оснастка
05	Токарная. Обработка торцевых поверхностей и зацентровка с двух сторон (обработка за два установа)	Наружная поверхность и торец	Токарный станок
010	Токарная. Черновое точение наружных поверхностей	Поверхности центровых гнезд и наружная цилиндрическая поверхность	Токарный станок, люнет
015	Термическая. Искусственное старение – низкотемпературный отжиг	—	Электрическая печь
020	Токарная. Перецентровка центровых гнезд для уменьшения кривизны или правка для обычных винтов	Наружная поверхность	Токарный станок
025	Токарная. Чистовая токарная обработка наружных поверхностей, прорезка канавок	Поверхности центровых гнезд и наружная цилиндрическая поверхность	Токарный станок, люнет
030	Сверлильная. Сверление отверстия под конический штифт	Наружная поверхность и торец	Сверлильный станок
035	Шлифовальная. Предварительное шлифование наружной цилиндрической поверхности	Поверхность центровых отверстий и наружная цилиндрическая поверхность	Круглошлифовальный станок, люнет
040	Резьбофрезерная. Предварительное нарезание винтовой поверхности	Поверхности центровых гнезд и наружная цилиндрическая поверхность	Резьбофрезерный станок, люнет

Окончание табл. 10.2

Номер операции	Наименование и содержание операции	Технологические базы	Оборудование, технологическая оснастка
045	Термическая. Искусственное старение – низкотемпературный отжиг	—	Электрическая печь
050	Шлифовальная. Шлифование наружной цилиндрической поверхности	Поверхности центровых гнезд и наружная цилиндрическая поверхность	Круглошлифовальный станок, люнет
055	Токарная. Чистовое нарезание винтовой поверхности	Поверхность центровых отверстий и наружная поверхность	Токарно-винторезный станок, люнет
060	Термическая. Закалка винтовой поверхности	Поверхность центровых отверстий и наружная поверхность	Установка ТВЧ
065	Шлифовальная. Чистовое шлифование наружных поверхностей	Поверхности центровых отверстий и наружная поверхность	Круглошлифовальный станок, люнет
070	Шлифовальная. Шлифование винтовой поверхности	Поверхности центровых отверстий и наружная поверхность	Резьбошлифовальный станок, люнет
075	Промывка и контроль	Поверхности центровых отверстий	Стенд для контроля

Заготовки под винты большой длины зацентрируют на токарных станках типа 16К20 сначала с одного торца, а затем после поворота на 180° с другого. Для создания дополнительной технологической базы – наружной поверхности ходового винта – заготовки шлифуют на бесцентровошлифовальных или на круглошлифовальных станках при базировании в центрах. В первом случае шлифование выполняют до сверления центровых гнезд, которые получают на последующей операции при базировании по обработанной наружной поверхности винта. Для винтов 0 – 2-го классов точности обычно применяют шлифование в центрах.

Для уменьшения остаточных деформаций, вызванных снятием основного припуска при черновой обработке, винты подвергают термиче-

ской обработке – искусственному старению, которое более эффективно, чем естественное. Если при естественном старении за время пролёживания заготовок в течение нескольких месяцев снимается порядка 30 – 40 % внутренних напряжений, то при искусственном старении в течение 20 – 25 ч снимается до 80 % внутренних напряжений. Старение ходовых винтов обычно выполняют в электрических печах шахтного типа перед чистой обработкой опорных шеек и чистовым нарезанием винтовой поверхности. Для винтов, изготавливаемых из сталей А40Г и У10А, в процессе их производства предусматривается также стабилизирующий отжиг. Режим искусственного старения для винтов из стали А40Г предполагает нагрев в масляной ванне до температуры 180...200 °С в течение 20 ч и последующее постепенное охлаждение до температуры 50 °С.

Обработка ходовых винтов повышенной точности требует специальных технологических решений. Для них в зависимости от класса точности предусматривают многократную термическую обработку, обеспечивающую снятие внутренних напряжений. При этом постоянно контролируют деформации, обусловленные перераспределением внутренних напряжений, проверяют базовые центровые гнезда и при необходимости их дополнительно обрабатывают шлифованием с помощью абразивных конусов. Исправляют поверхность центровых отверстий до $Ra = 0,16...1,25$ мкм шлифованием на центрошлифовальных станках типа МВ-119 с планетарным и осциллирующим движениями режущего инструмента, которые обеспечивают соосность и геометрическую точность центровых фасок.

Термическое упрочнение винтов до твердости $HRC\ 57...60$ обеспечивается объемной закалкой, которая может осуществляться несколькими способами. Один из них заключается в нагреве ходового винта в шахтной соляной ванне в вертикальном положении сначала до температуры 550...600 °С с выдержкой в течение 1 ч, затем температуру постепенно повышают до 840...850 °С. Закалку производят в масле, подогретом до 50 °С, также при вертикальном положении винта. После закалки предусматривается двойной отпуск. При таком способе закалки могут возникнуть значительные деформации винта, искривляющие его ось, поэтому применяют и другие методы упрочнения – азотирование и закалку с нагревом ТВЧ.

Межоперационное хранение винтов рекомендуется выполнять на подвесе в вертикальном положении, а отделочные операции проводят в термоконстантных помещениях.

10.4. Методы нарезания винтовых поверхностей

Нарезание винтовой поверхности на ходовых винтах можно выполнить различными методами:

- на токарных и резьбонарезных станках прорезными и профильными резцами;
- на резьбофрезерных станках дисковыми или пальцевыми фрезами;
- на специальных станках вихревым нарезанием с помощью кольцевых резцовых головок.

Второй и третий методы – наиболее производительны, однако их применяют в основном для предварительного нарезания. Ходовые винты нарезают на токарных и резьбонарезных станках различными прорезными и профильными резцами. При этом существуют два способа установки плоскости профиля резца относительно оси нарезаемого ходового винта.

Нарезание винтовой поверхности резцами

Нарезание винтовой поверхности на ходовых винтах обеспечивает создание глубокого трапецеидального, прямоугольного или иного профиля. Поэтому вначале выполняют последовательное многопроходное предварительное точение несколькими прорезными резцами соответствующего профиля. В результате происходит удаление с винтовой канавки основного припуска. Окончательное чистовое точение выполняют чистовым резцом, профиль которого соответствует заданному профилю резьбы. При этом возможны две схемы установки профильного резца (рис. 10.2).

Согласно первой схеме (рис. 10.2, а) плоскость профиля резца совмещается с плоскостью, проходящей через ось ходового винта. Для точного профилирования витка резец в этом случае должен иметь прямолинейные режущие кромки, что упрощает заточку инструмента и повышает точность геометрического профиля резьбы. Однако углы резания по боковым режущим кромкам α_1 и α_2 не равны. У одной кромки резца образуется тупой угол резания, вследствие чего она скоблит, а у другой кромки – острый угол, что ослабляет режущую кромку. Это особенно проявляется при большом угле подъема винтовой линии. Кроме того, возникает опасность врезания резца в металл под влиянием сил, возникающих вследствие трения одной из граней резца о стенку канавки. В этом заключается недостаток этой схемы установки резца. Пер-

вую схему установки резцов применяют для чистового нарезания ходовых винтов с небольшим углом подъема резьбы.

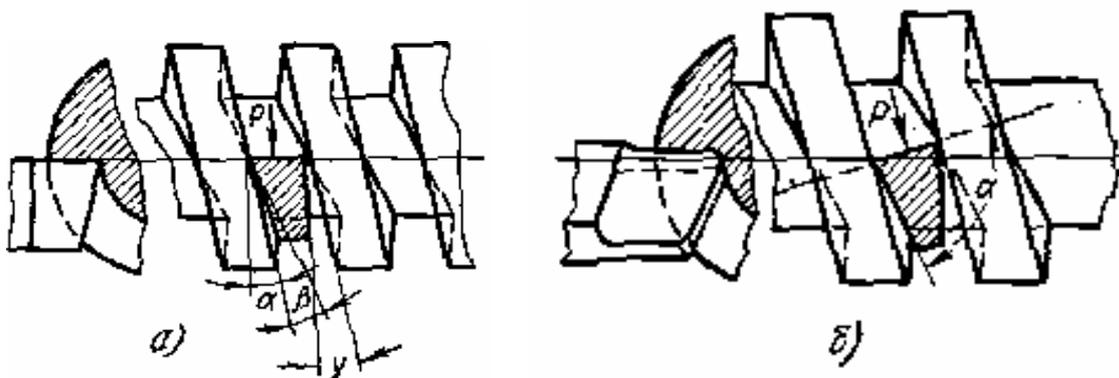


Рис. 10.2. Схемы установки профильного резца при нарезании трапецеидальной резьбы

Согласно второй схеме (рис.10.2, б) резец устанавливают так, что его режущая кромка располагается по перпендикуляру к винтовой линии или углом β (углом подъема витка) относительно оси ходового винта. В этом случае плоскость режущей кромки не проходит через ось ходового винта, а углы по боковым режущим кромкам одинаковы $\alpha_1 = \alpha_2$ и составляющая силы резания направлена перпендикулярно к плоскости профиля резца. В результате недостатки, свойственные первому способу, отсутствуют, что позволяет выполнять точение с более высокими режимами. Однако для точного профилирования витка все три режущие кромки резца должны иметь криволинейный профиль, создаваемый с помощью шаблона. На практике второй способ применяют для предварительного нарезания витка. При этом используют резец с прямолинейным профилем, а возникающую погрешность профиля витка выводят при чистовом точении, когда используют первую схему установки и резец с прямолинейными режущими кромками.

Чистовое нарезание ходовых винтов с большим углом подъема резьбы рекомендуется выполнять тремя отдельными резцами, при этом их режущие кромки делают прямолинейными и плоскость профиля резца устанавливают в плоскости, проходящей через ось ходового винта.

При нарезании резьбы у ходовых винтов большой длины, когда в качестве технологических баз используют центровые отверстия и дополнительно шлифованную наружную поверхность, на последнюю надевают две втулки специального люнета, закрепляемого на суппорте стан-

ка. Две установленные втулки являются опорами, между которыми осуществляется процесс резания, что значительно повышает жесткость технологической системы.

Нарезание винтовой поверхности на резьбофрезерных станках

Дисковые и пальцевые фрезы применяют на резьбофрезерных станках для предварительного нарезания на ходовых винтах крупнопрофильных трапецеидальных, прямоугольных и других винтовых поверхностей. Ходовой винт базируется в центрах по горизонтали, вращается n_3 и перемещается с осевой подачей s_{np} (рис. 10.3). Дисковая резьбовая фреза вращается v и устанавливается так, что ее ось вращения располагается относительно оси заготовки под углом подъема винтовой линии β . Для уменьшения прогиба ходового винта применяют подвижные люнеты, в которых винт имеет дополнительную опору по наружной цилиндрической поверхности, которую предварительно шлифуют с достижением точности по $h\ 6, h7$.

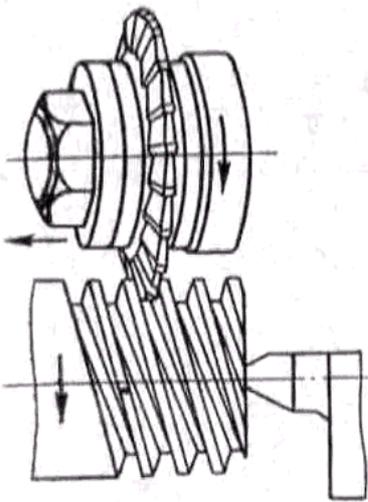


Рис. 10.3. Нарезание винтовой поверхности дисковой фрезой

Дисковую фрезу устанавливают так же, как резец по второму способу, т.е. так, что ось ее вращения располагается на высоте центров перпендикулярно к средней винтовой линии резьбы винта. Такая установка фрезы с прямолинейной режущей кромкой приводит к искажению профиля нарезаемой резьбы, поэтому его обычно исправляют на последующих операциях калибровкой резцами. Другим недостатком фрезерования резьбы считается неравномерность резания, что ухудшает шероховатость обрабатываемой поверхности и ускоряет затупление фрезы. При фрезеровании следует стремиться к тому, чтобы в контакте с заготовкой, на которой нарезается резьба, находилось не менее двух зубьев фрезы.

Резьбофрезерные станки работают в полуавтоматическом цикле. При нарезании с применением фрез из быстрорежущей стали скорость резания составляет 40 ... 50 м/мин и подача 0,4 ... 0,6 мм/зуб. Скорость резания при использовании твердосплавных фрез 120...200 м/мин. Все это

обеспечивает высокую производительность. Нарезание винтовой поверхности на резьбофрезерных полуавтоматах особенно эффективно для длинных валов. Участие рабочего в этом случае сводится к установке заготовки, пуску станка и снятию готовой детали, что позволяет осуществить многостаночное обслуживание.

Вихревое нарезание охватывающими резцовыми головками

Вихревое нарезание выполняют специальными охватывающими резцовыми головками, представляющими собой дисковую фрезу внутреннего касания с установленными в нее двумя, четырьмя или шестью резцами, профиль которых соответствует профилю нарезаемой резьбы. Количество применяемых резцов должно быть кратно двум. Нарезание осуществляют на специальных или модернизированных токарных станках. Ходовой винт, установленный в центрах по горизонтали, вращается n_3 (рис. 10.4), а охватывающая резцовая головка вращается v и перемещается вдоль ходового винта с осевой подачей s_{np} . Вершины резцов устанавливают в головке по окружности D_P большей, чем наружный диаметр нарезаемой резьбы d_H . При этом центр резцовой головки смещен относительно центра заготовки на величину e

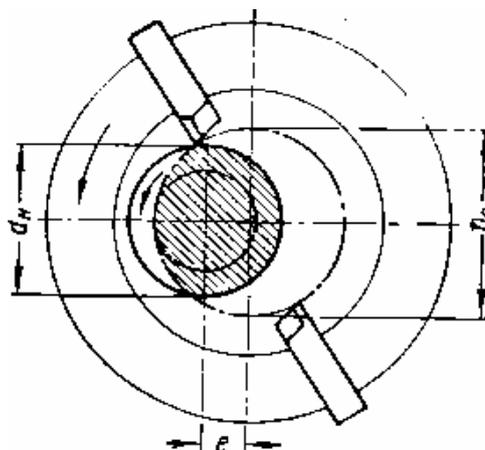


Рис. 10.4. Нарезание винтовой поверхности охватывающей резцовой головкой

$$e = (D_P - d_H) / 2 + t,$$

где t – глубина профиля резьбы.

Принимают: $D_P = d_H + (6 \div 8)$ мм при $d_H = 30 \dots 40$ мм;

$D_P = d_H + (8 \div 10)$ мм при $d_H = 41 \dots 60$ мм.

Так как ось резцовой головки смещена параллельно оси обрабатываемой заготовки на величину e , то процесс нарезания получается прерывистым. При вихревом нарезании режущие кромки каждого резца находятся в контакте с обрабатываемой поверхностью заготовки только на некоторой части окружности. По остальной, большей части окружности, резцы проходят по воздуху и охлаждаются, что повышает стойкость инструмента. Процесс нарезания происходит при обильном охлаждении с помощью СОЖ.

Это наиболее производительный метод нарезания винтовой поверхности на ходовых винтах. Скорость резания при использовании твердосплавных резцов $v = 250 \dots 300$ м/мин, круговая подача $s_{кр} = 0,2 \dots 0,5$ мм/об. резца.

Применение более высоких режимов резания может привести к деформированию винта вследствие его нагрева. Так, нагрев ходового винта длиной 300 мм выше $40 \dots 50$ °С вызывает его удлинение на 0,01 мм.

По сравнению с фрезерованием резьбы вихревое нарезание резцами с пластинами из твердого сплава с применением охлаждения более производительно, оно обеспечивает малую шероховатость поверхности и снижает деформации резьбы. Уменьшение шероховатости и повышение точности резьбы достигают увеличением числа резцов в инструментальной головке и соответствующим распределением между ними обрабатываемых поверхностей резьбы. Так, при применении головки из четырех резцов два противоположно расположенных резца обрабатывают поверхность по внутреннему диаметру, третий профилирует резьбу, а четвертый зачищает и снимает заусенцы.

Применение при вихревом нарезании инструментальных головок с тангенциальным расположением резцов обеспечивает дальнейшее повышение эффективности этого процесса. Вихревое нарезание применяют для нарезания винтов 3-го и 4-го классов точности и для предварительного нарезания винтов более высоких классов точности.

Отделочную обработку винтовой поверхности выполняют на прецизионных резьбонарезных станках или на резьбошлифовальных. Под отделку точением оставляют малые припуски $0,05 \dots 0,1$ мм. Отделку точением выполняют резцами Т15К6 с доведенными режущими кромками. При этом необходимо как можно точнее установить плоскость профиля резца для достижения требуемого профиля резьбы. Скорость резания при отделке точением ~ 5 м/мин.

Отделку шлифованием на резьбошлифовальных станках выполняют после закалки винтовой поверхности с применением конических шлифовальных кругов, чашечных шлифовальных кругов или дисковых шлифовальных кругов, которые устанавливают аналогично дисковым модульным фрезам. Резьбошлифование осуществляют за три перехода – черновое, чистовое и отделочное. Припуск на диаметр под шлифование составляет $0,3 \dots 0,4$ мм, при этом за один проход снимается $0,02 \dots 0,03$ мм.

При обработке азотируемых винтов (сталь 30ХЗВА) необходимо иметь в виду, что глубина азотируемого слоя невелика (0,4 ... 0,45 мм), поэтому особое внимание следует уделять деформациям винта при его механической обработке. В соответствии с этим процесс нарезания резьбы предусматривает четыре операции: две первые – черновую и чистовую токарную обработку – выполняют резцом, а остальные две шлифовальным кругом – до азотирования и после него.

Для уменьшения погрешностей, возникающих в процессе чистовой и отделочной обработки резьбы, в конструкции прецизионных станков, применяемых для отделки резьбы, предусматривают специальные коррекционные устройства, обеспечивающие компенсацию отклонений шага собственного ходового винта. Во время работы эти устройства создают на различных участках нарезаемой резьбы дополнительные малые осевые перемещения режущего инструмента, компенсируя таким образом погрешности шага ходового винта станка. Точность ходовых винтов, достигаемая при различных методах нарезания винтовой поверхности, приведена в табл. 10.3.

Таблица 10.3. Точность нарезания винтовой поверхности*

Методы нарезания винтовой поверхности	Шероховатость поверхности Ra , мкм	Квалитеты точности
Точение резцом	3,2...6,3 (1,6)	6...8, (4 – 6)
Фрезерование модульными фрезами	3,2...12,5	6...8
Вихревое нарезание	0,8...6,3	6...8
Шлифование резьбы	1,6...3,2	4...5

* В скобках указаны параметры точности резьбы, достигаемые при определенных условиях обработки.

Особенности изготовления прецизионных ходовых винтов

Прецизионными называют ходовые винты 0-го и 1-го классов точности. Высокая точность прецизионных винтов обуславливает и особые требования к выбору материала и технологическому процессу их изготовления. У сталей, из которых изготавливают прецизионные винты, проверяют химический состав и микроструктуру. Правка заготовки прецизионного ходового винта в процессе его изготовления не допускается, по-

этому еще до обработки проверяют прямолинейность оси заготовки. Допустимая кривизна заготовок не должна превышать 1 мм на метр длины заготовки.

Прецизионные винты подвергают неоднократной термической обработке: стабилизирующему отжигу, закалке, высокотемпературному отпуску, стабилизирующему отпуску. После черновых токарных операций проводят высокотемпературный отпуск, старение и стабилизацию заготовок. Так, винты из стали ХВГ диаметром 40...80 мм подвергают искусственному старению в масляной ванне в течение 30 ч при температуре 140...150 °С или высокотемпературному отпуску с нагревом в шахтной печи до температуры 650 ... 630 °С с выдержкой в течение 10 ч и остыванием вместе с печью до 400 °С с последующим охлаждением на воздухе.

Нарезание винтовой поверхности выполняют за несколько операций. Шлифование винтовой поверхности также делится на получистовое и чистовое. На чистовое шлифование трапецеидальной резьбы на резьбошлифовальных станках высокой и особо высокой точности оставляют припуск (0,05 ... 0,06) мм на толщину витка для винтов высокой жесткости и (0,08 ... 0,12) мм для винтов средней и малой жесткости. Обработка ведется шлифовальными кругами из монокорунда или кругами из эльбора при установке винта в центрах с поддерживающим люнетом и обильным охлаждением.

Выбор характеристики круга зависит от шага и длины резьбы и характера шлифования. С помощью мелкозернистых кругов получают поверхность резьбы с меньшей шероховатостью. Однако этот процесс шлифования менее производительный, чем при использовании крупнозернистых кругов. Кроме того, при повышенных режимах резания могут возникать прижоги. Твердый круг обычно быстро засаливается, а слишком мягкий – быстро изнашивается, что влияет на точность изготовления винта. В связи с этим в процессе шлифования резьбы круги периодически правят с определенным режимом. Правку кругов из эльбора рекомендуется проводить алмазным карандашом Н2 при скорости вращения круга 30...35 м/с и продольной подаче карандаша 0,03 ... 0,05 м/мин на глубину 0,005 ... 0,01 мм/ход.

Шлифование выполняют при обильном охлаждении. Применение СОЖ снижает трение, исключает прижоги и препятствует прилипанию стружки к шлифовальному кругу, что сохраняет его режущие свойства и

способствует отводу тепла и образующейся стружки с обрабатываемой поверхности. Все это способствует достижению высокой точности обрабатываемых винтов. Применяемую СОЖ очищают магнитными сепараторами в центрифугах или другим способом до размера взвешенных частиц не более 2 мкм (тонкая очистка). Выбор СОЖ в каждом конкретном случае зависит от обрабатываемого материала и требования к качеству обрабатываемых поверхностей.

Технология изготовления ходовых винтов пар качения во многом аналогична изготовлению прецизионных винтов скольжения с упрочняемой объемной закалкой. Винты, изготавливаемые из сталей ХВГ и других, подвергают в процессе изготовления неоднократной термической обработке для придания винту необходимой твердости (не менее $HRC\ 60 \dots 62$), износостойкости и способности длительного сохранения точности.

Так как при объемной закалке винт значительно деформируется, то под резьбошлифование необходимо устанавливать большой припуск, что делает эту операцию малоэффективной, трудоемкой. Для сокращения трудоемкости нарезания резьбы после закалки вместо операции резьбошлифования предусмотрено чистовое точение, которое выполняют на токарно-винторезных станках высокой точности с применением резцов, оснащенных пластинами из твердого сплава ВК6М или ВК3М с профилем, соответствующим профилю винтовой канавки. Основные геометрические параметры резца $\gamma = -5^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $\alpha = 10^\circ$. Обработку проводят при скорости резания 20 м/мин и глубине резания 0,1 мм при подаче, равной шагу резьбы. При этом способе нарезания предотвращается появление трещин и значительно повышается производительность обработки.

Для получения на последующих операциях резьбошлифования полукруглого и арочного профиля абразивные круги правят с помощью специальных приспособлений.

Особенности изготовления длинных ходовых винтов

Ходовые винты большой длины, применяемые в основном для тяжелых станков, изготавливают не цельными, а составными. Это усложняет их конструкцию, однако существенно снижает трудоемкость изготовления. Соединение секций винта должно обеспечить необходимую точность и жесткость винта в целом. Основная трудность при этом заключается в обеспечении технических требований составного винта, собранно-

го из отдельно изготовленных секций. В большинстве случаев такие ходовые винты изготавливают по 3-му классу точности, а опорные шейки обрабатывают по 7...6-му квалитетам.

Составные ходовые винты собирают из предварительно обработанных секций (рис. 10.5). Секции 1 и 4 соединяют с помощью проставки 2, устанавливаемой в отверстия, расположенные на торцах двух секций, и фиксируют двумя коническими штифтами 3. Посадочные отверстия под замок в секции винта растачивают и развертывают, допустимое отклонение от концентричности 0,01...0,02 мм. В связи с этим наружную поверхность винта шлифуют. По этой поверхности, как по технологической базе, выставляют винт на операции обработки отверстия под замок.

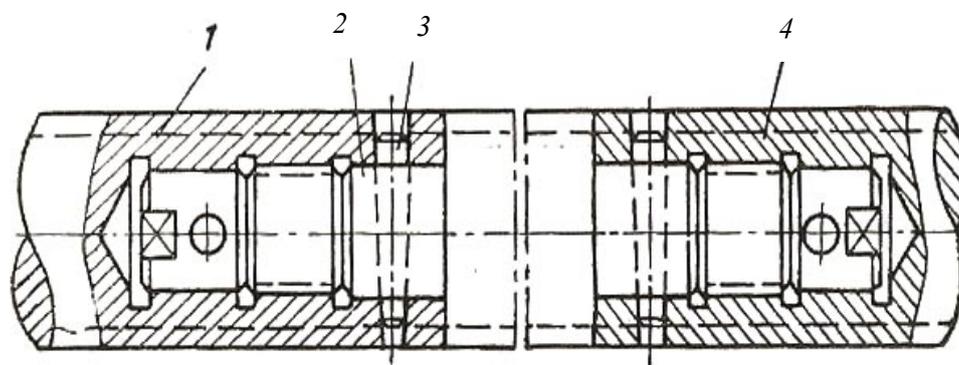


Рис. 10.5. Схема соединения секций составного ходового винта: 1, 4 – соединяемые секции; 2 – проставка; 3 – два штифта

Предварительно нарезанные секции винта собирают с проставками, при этом опорные торцы должны плотно прилегать (проверка щупом 0,02 мм), их положение фиксируется коническими штифтами. На торцах секции винта и соединительной проставки ставят клеймо одного номера.

Секцию винта с проставкой устанавливают на резбонарезной станок с базированием в центрах и в люнете, а затем окончательно нарезают резьбу на секции и проставке с поворотом винта на 180°.

Затем проставку снимают и соединяют с другой секцией винта. Чистовую обработку винтовой поверхности смежной секции винта выполняют аналогично. При этом окончательно обработанная винтовая поверхность проставки служит эталоном, по которому устанавливают резец для чистового нарезания резьбы на смежной секции вала.

На практике находят применение и другие конструктивные схемы соединения отдельных секций составных винтов. Выбор того или

иногo соединения зависит от размеров ходового винта и количества стыкуемых секций.

10.5. Контроль ходовых винтов

Параметры точности ходовых винтов – наружный, средний и внутренний диаметры, отклонение от круглости в поперечном и от цилиндричности в продольном сечениях, а также угол профиля и шаг резьбы контролируют в зависимости от класса точности ходовых винтов различными измерительными средствами. Дифференцированный метод контроля предусматривает отдельное измерение каждого из указанных параметров точности резьбы. Этот трудоемкий метод контроля применяют для оценки качества точных ходовых винтов.

Комплексный метод контроля предусматривает выявление степени соответствия действительного контура резьбы предельному. Для выполнения этого менее трудоемкого метода контроля применяют предельные резьбовые калибры, профильные шаблоны с предельными контурами и оптические проекторы. Рабочие резьбовые проходные (ПР) и непроходные калибры (НЕ) применяют для контроля винтов непосредственно на рабочем месте. Контроль с помощью резьбовых калибров заключается в установлении возможности свинчивания калибра с проверяемой резьбой. Если проходной калибр свинчивается с проверяемой резьбой, то это означает, что приведенный средний диаметр и наименьший внутренний диаметр не выходят за пределы поля допуска. В случае годности резьбы непроходные резьбовые калибры, которыми проверяют только собственно средний диаметр, не должны свинчиваться с резьбой более чем на два витка. Таким образом, с помощью резьбовых калибров одновременно осуществляют комплексный контроль пяти параметров точности резьбы: средний, наружный и внутренний диаметры, шаг и угол профиля.

При дифференцированном методе контроля используют универсальные средства измерения:

- микрометры, инструментальные микроскопы, горизонтальные оптиметры, проекторы и шагомеры для измерения наружных и внутренних диаметров, шага и угла профиля резьбы;
- микрометры с тремя калиброванными проволочками или с резьбовыми вставками – для измерения среднего диаметра резьбы.

Шаг у винтов невысокого (4-го) класса точности измеряют с помощью шагомеров довольно простой конструкции. Контроль выполняют по одной стороне профиля на отдельных его участках длиной 50...300 мм. Для винтов более высокой точности шаг измеряют на специальных измерительных устройствах с использованием образцовых винтов. Контроль профиля резьбы выполняют также с помощью специального оптического компаратора.

С целью уменьшения погрешности обычно проводят повторные измерения контролируемого параметра.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте служебное назначение ходовых винтов.
2. Назовите основные базы и исполнительные поверхности.
3. Какой геометрический профиль может иметь винтовая поверхность ходового винта?
4. Назовите технические требования, предъявляемые к ходовым винтам.
5. Какие материалы применяют для изготовления ходовых винтов?
6. Какие заготовки применяют для изготовления ходовых винтов?
7. Назовите типовой технологический маршрут изготовления ходовых винтов.
8. Какая поверхность ходового винта выполняет роль дополнительной технологической базы, обеспечивающей повышение жесткости на операциях механообработки?
9. Каким образом обеспечивают повышение жесткости при обработке ходовых винтов?
10. Назовите методы обработки и режущий инструмент, применяемый для нарезания винтовых поверхностей.
11. Объясните сущность двух способов установки резцов для нарезания винтовых поверхностей на ходовых винтах.
12. Расскажите, в чем заключается сущность вихревого нарезания винтовых поверхностей?
13. Как устанавливается модульная фреза относительно оси ходового винта при нарезании винтовой поверхности на резьбофрезерных станках?
14. Каким методом выполняют отделку винтовой поверхности закаленных ходовых винтов?

15. Объясните особенность изготовления прецизионных ходовых винтов.
16. Какие технологические мероприятия применяют для изготовления составных ходовых винтов?
17. Как осуществляется контроль параметров точности ходовых винтов?

ГЛАВА 11. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФЛАНЦЕВ

11.1. Служебное назначение и технические требования

Фланец (крышка) – ответственная деталь, основным служебным назначением которой является ограничение осевого перемещения вала, установленного на подшипниковых опорах. Исполнительной поверхностью фланца (см. рис. 6.1, поз. 6) служит торец центрирующего пояска, который выполняет роль установочной базы, определяющей осевое положение наружного кольца подшипника, установленного в отверстие корпуса $\Phi 110H7/h6$. В результате в подшипниковой опоре создается требуемый натяг или необходимый осевой зазор, измеряемый между торцом центрирующего пояска фланца и торцом наружного кольца подшипника. Кроме того, фланцы выполняют также роль крышек в отверстиях под валы, обеспечивающих создание необходимого уплотнения и герметичности внутренней полости редуктора.

Большинство фланцев имеют одинаковое конструктивное исполнение. Они базируются в корпусной детали по торцу, выполняющему роль установочной базы, и центрирующему пояску, который входит в отверстие корпуса, выполняя роль двойной опорной базы. Таким образом, базирование фланцев (крышек) осуществляется с использованием двойной опорной базы, а их закрепление на корпусе – несколькими винтами с утопленными головками.

Типовая конструкция фланца и основные технические требования на его изготовление приведены на рис. 11.1. Согласно техническим требованиям точность цилиндрической поверхности центрирующего пояска выполняется не ниже чем по 7-му качеству, а параметр шероховатости поверхности $Ra = 1,25...2,5$ мкм. Для обеспечения точности положения наружного кольца подшипника, при котором исключается перекося беговой дорожки и создается одинаковый зазор между

телами качения и кольцами, устанавливают требование параллельности торца центрирующего пояска относительно базового торца крышки. Допустимое отклонение от параллельности составляет 0,01...0,02 мм. Отклонение от плоскостности торца центрирующего пояска должно быть в пределах 0,01 мм, а ось центрирующего пояска должна быть перпендикулярна к базовому торцу крышки. При выполнении этих требований достигается перпендикулярность торца центрирующего пояска относительно оси отверстия корпуса, что обеспечивает качественную установку подшипника в опоре.

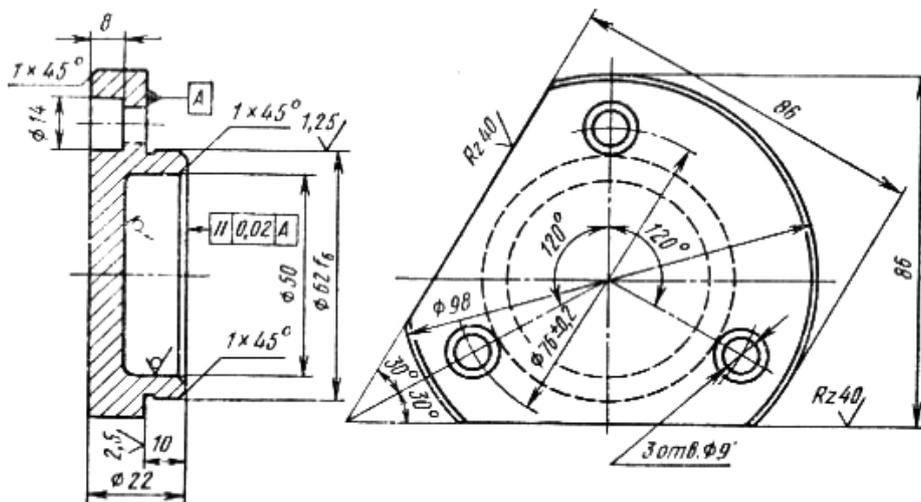


Рис. 11.1. Конструкция фланца

Для исключения перекоса подшипника в процессе установки фланца затяжку винтов крепления следует выполнять равномерно (см. п. 4.1) с одинаковым усилием.

В отдельных случаях, как, например, на фланце, представленном на рис. 6.1, поз. 5, в конструкции фланца предусматривается полный комплект базовых поверхностей (базовый торец и базовое отверстие $\Phi 110H7/J_6$), обеспечивающий определенность базирования подшипника в одной детали. В этом случае на изготовление фланца формулируют дополнительные технические требования, определяющие соосность отверстия под подшипник с осью центрирующего пояска, сопрягаемого с корпусом по посадке $\Phi 110H7/h6$.

В конструкциях ряда машин применяют также специальные стаканы, в которые монтируют подшипники, являющиеся опорами валов. Стаканы во многом по конструкции напоминают фланцы, однако к

ним предъявляются более жесткие технические требования (рис. 11.2) и технологический процесс их изготовления более сложен.

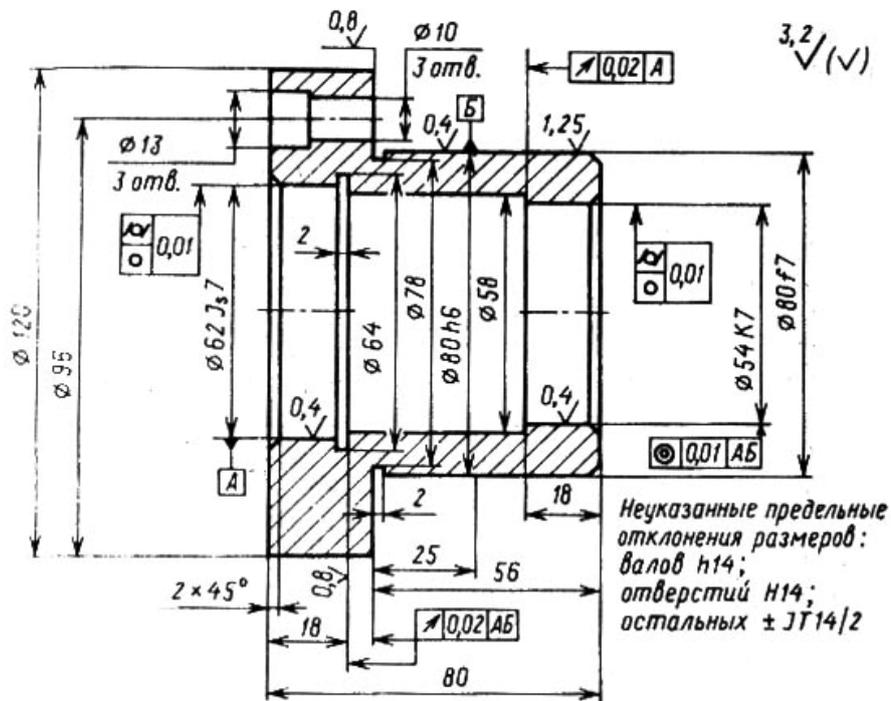


Рис. 11.2. Конструкция стакана

11.2. Материал и методы получения заготовок

Фланцы изготавливают из конструкционных сталей 30, 45 и других, а также из чугунов СЧ 15, СЧ 21. В зависимости от серийности производства в качестве заготовок для изготовления фланцев применяют отливки (чугунные или стальные), штампованные заготовки, а также диски, отрезаемые от сортового круглого проката. Заготовки отливки и штамповки, применяемые в крупносерийном и массовом производстве, имеют геометрию, которая наиболее точно соответствует форме готовой детали. Поэтому такие заготовки имеют более высокий коэффициент использования материала.

В мелкосерийном производстве в качестве заготовок применяют диски, получаемые из круглого проката на разрезных станках. У таких заготовок на торцевых поверхностях оставляют припуск порядка 3..5 мм. Заготовки типа дисков для фланцев диаметром до 80 мм могут быть получены также путем разрезки проката и на универсально-токарных станках.

При достаточно большой серийности заготовки-отливки получают литьем по выплавляемым моделям. Такие заготовки имеют минимальные припуски на обрабатываемых поверхностях, а некоторые из поверхностей, например, поверхности отверстий под крепежные винты могут вообще не подвергаться дальнейшей механической обработке.

Заготовки отливки и штамповки перед механической обработкой подвергают термической обработке – отжигу. Режим термической обработки выбирают с учетом вида заготовки и ее материала. В результате отжига достигают уменьшения внутренних напряжений, что способствует сохранению достигнутой при механообработке геометрической точности детали.

11.3. Технология изготовления фланцев

Технологический процесс механической обработки и выбор необходимого оборудования во многом зависят от серийности производства. Известно, что в качестве технологических баз при обработке большинства поверхностей заготовки целесообразно выбирать основные конструкторские базы детали. Это позволяет обеспечить достижение требуемой точности детали наиболее коротким путем. Другие поверхности для технологических баз рекомендуется выбирать в тех случаях, когда основные базы по разным причинам не могут быть технологическими базами, например, трудность установки и закрепления, малые габариты и прочее.

Как было показано выше, основными конструкторскими базами фланца (см. рис 11.1) являются поверхности центрирующего пояска $\Phi 62f_6$ и торец A , по которому фланец базируется на корпусе. В соответствии с этим при изготовлении фланца на первой операции обрабатывают поверхность базового торца A , цилиндрическую поверхность центрирующего пояска и его торец. При этом в качестве технологических баз на первой операции используют наружную цилиндрическую поверхность и противоположный торец фланца. Обработанный торец фланца и центрирующий поясок используют в качестве технологических баз на последующих операциях при обработке группы крепежных отверстий и других поверхностей фланца. Это позволяет обеспечить требуемую перпендикулярность крепежных отверстий к

базовому торцу и точность их положения (концентричность) относительно центрирующего пояска.

Типовой технологический маршрут изготовления фланца, представленного на рис.11.1, приведен в таблице.

Номер операции	Содержание технологической операции	Технологические базы	Оборудование
005.Токарная	Проточка торца <i>A</i> , центрирующего пояска $\Phi 62_{f6}$ и его торца в размер 10; прорезка канавки, снятие фаски $1 \times 45^\circ$	Наружная цилиндрическая поверхность и торец	Токарно-револьверный полуавтомат с ЧПУ
010.Токарная	Проточка по наружному диаметру $\Phi 96$, снятие фаски $1 \times 45^\circ$	Полученная поверхность центрирующего пояска и его торец	Токарно-револьверный полуавтомат с ЧПУ
015.Сверлильная	Сверление и цековка трех отверстий $\Phi 9$, $\Phi 14$	Поверхность центрирующего пояска и торец <i>A</i>	Вертикально-сверлильный станок с ЧПУ
020. Фрезерная	Фрезеровать скосы в размер 86	Поверхность центрирующего пояска и торец <i>A</i>	Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ
025. Шлифовальная	Шлифовать торец <i>A</i> , центрирующий поясок $\Phi 62_{f6}$ и его торец	Наружная цилиндрическая поверхность и торец	Круглошлифовальный станок
030.Слесарная	Снятие заусенцев	—	Слесарный верстак
035.Контрольная	Промывка и контроль	—	Моечная ванна

В условиях единичного производства токарную, фрезерную и сверлильную обработку выполняют на универсальных станках – токарно-револьверных, фрезерных, вертикально-сверлильных. При этом для обработки группы крепежных отверстий применяют накладные или скальчатые кондукторы, позволяющие обеспечить требуемую точность межцентровых расстояний и точность положения отверстий относительно базового центрирующего пояска.

В автоматизированном серийном производстве токарную обработку осуществляют на токарно-револьверных станках с ЧПУ или на обрабатывающих центрах токарного типа.

Обработку крепежных отверстий также выполняют на станках с ЧПУ сверлильно-расточного типа. Такие станки обычно имеют автоматическую револьверную головку на 5...6 установленных инструментов, что позволяет выполнять все необходимые переходы (сверление, зенкерование, цековку и др.), необходимые для обработки крепежных отверстий фланца.

Схема обработки крепежных отверстий фланца на станке с ЧПУ приведена на рис. 11.3. При обработке отверстий на вертикально-сверлильных станках с ЧПУ инструмент работает без направляющих втулок с выводом и индексацией стола на заданную координату по управляющей программе. Поэтому в целях предотвращения увода сверла рекомендуется перед сверлением выполнять предварительную зацентровку отверстий. Это особенно необходимо в тех случаях, когда обрабатывается заготовка отливки или штамповки, внешний торец которой остается необработанным.

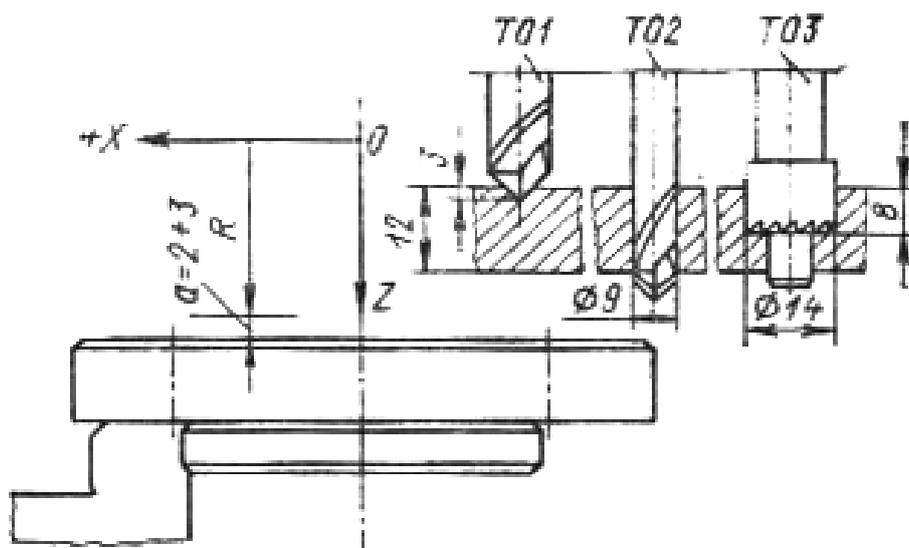


Рис. 11.3. Схема обработки отверстий фланца на станке с ЧПУ

Согласно приведенной схеме (см. рис. 11.3) обработку отверстия выполняют за три перехода:

- 1-й переход – зацентровка на глубину 3 мм (инструмент Т 01);
- 2-й переход – сверление отверстия $\Phi 9$ на проход (инструмент Т 02);
- 3-й переход – цековка отверстия $\Phi 14$ на глубину 8 мм (инструмент Т 03);

В автоматизированном производстве фрезерование скосов под заданные углы 30° с обеспечением требуемой точности линейных раз-

меров 86 мм выполняют концевой фрезой за одну установку на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ. Однако эту операцию можно выполнить также и на станке с ЧПУ сверлильно-расточного типа, используемого для обработки крепежных отверстий. В этом случае имеет место уменьшение количества операций, а следовательно, и повышение производительности обработки фланцев.

В крупносерийном и массовом производстве токарную обработку фланцев выполняют на многошпиндельных токарных полуавтоматах и автоматах кулачкового типа вертикальной или горизонтальной компоновки. Такие станки имеют 4...6 рабочих позиций, на которых осуществляется параллельно-последовательная обработка нескольких заготовок. На одном таком станке за два установка заготовки можно выполнить полную токарную обработку всех поверхностей фланца. Для этого после обработки заготовки с одной стороны ее переставляют на смежную позицию и выполняют токарную обработку с противоположной стороны. В результате за каждый цикл поворота стола получают обработанный фланец.

В крупносерийном производстве крепежные отверстия могут обрабатываться на вертикально-сверлильном станке с применением специальной многошпиндельной головки или на агрегатно-сверлильном станке. Количество шпинделей в специальной головке соответствует числу крепежных отверстий на фланце. Таким образом, в этом случае также имеет место высокопроизводительная одновременная обработка всех отверстий фланца.

В соответствии с техническими требованиями на изготовление фланца в технологический процесс его изготовления включают также финишную операцию отделки шлифованием центрирующего пояса и двух базовых торцев. Операцию выполняют за одну установку заготовки на круглошлифовальном или внутришлифовальном станке.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте служебное назначение фланцев (крышек).
2. Назовите основные базы и исполнительные поверхности фланцев.
3. Назовите основные технические требования, предъявляемые к фланцам.

4. Каким образом фланцы оказывают влияние на качество работы подшипников?
5. Какие материалы применяют для изготовления фланцев?
6. Какие заготовки применяют для изготовления фланцев?
7. Приведите типовой технологический маршрут изготовления фланцев.
8. В какой последовательности выполняют обработку фланцев?
9. Какие поверхности выбирают в качестве технологических баз при изготовлении фланцев?
10. Какое оборудование применяют для изготовления фланцев в мелко-серийном производстве?
11. Какое оборудование применяют для изготовления фланцев в автоматизированном серийном и массовом производстве?

РАЗДЕЛ 4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Зубчатые передачи широко распространены в промышленности. Их применяют для передачи вращения и крутящего момента между параллельными, пересекающимися и скрещивающимися осями валов, а также для преобразования вращательного движения в поступательное.

Сопряженная зубчатая пара состоит из ведомого и ведущего колеса. Обычно зубчатое колесо, которое сообщает движение второму зубчатому колесу называют ведущим, а колесо, которому сообщают движение, называют ведомым. В соответствии со служебным назначением различают силовые зубчатые передачи, служащие для передачи больших крутящих моментов с изменением частоты вращения валов; кинематические передачи, служащие для точной передачи вращательного движения между валами при относительно небольших значениях крутящего момента.

ГЛАВА 12. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЁС

12.1. Служебное назначение и технические требования

Цилиндрические зубчатые колёса с прямым и косым зубом служат для передачи $M_{кр}$ с заданной частотой от одного параллельно расположенного вала к другому. Косозубые цилиндрические зубчатые колёса обеспечивают большую плавность передачи, а для уменьшения габаритов при передаче больших $M_{кр}$ применяют шевронные колёса.

Основные узлы, в которых применяют цилиндрические зубчатые колеса, – коробки передач автомобилей и тракторов, различные редукторы, коробки скоростей и передач станков, передаточные механизмы и др.

Согласно ГОСТ 1643-81 цилиндрические зубчатые колеса изготавливают с модулем от m (0,1...0,2) мм до m 50 мм.

Конструкция колес непосредственно определяется их служебным назначением. Они могут иметь точное базовое отверстие для установ-

ки их на вал или могут быть изготовлены совместно с валом как одна целая деталь (колесо-вал). Цилиндрические колеса могут иметь один, два или три зубчатых венца. Одновенцовые колеса обычно располагаются на валу неподвижно. Многовенцовые колеса представляют собой зубчатые блоки, которые при необходимости изменения передаточного отношения кинематической цепи перемещают в осевом направлении и вводят в зацепление с соответствующим неподвижным колесом. Для этого по всему периметру торца зубчатого венца предусматривают небольшой заходный конус с закруглением, что обеспечивает свободный вход в зацепление соединяемых колес.

Базирование зубчатых колес в изделии осуществляется по базовому отверстию и торцу. Базовые отверстия могут быть гладкими со шпоночным пазом или со шлицевыми пазами. При этом в зависимости от соотношения длины базового отверстия L и его диаметра D имеют место две схемы базирования.

1. Базирование с использованием двойной опорной базы, когда $L/D < 1$. По такой схеме базируются колеса типа дисков, у которых торцевая поверхность выполняет роль установочной базы, а короткая по длине базовое отверстие является двойной опорной базой. В соответствии с принципом единства баз такие колеса на большинстве операций механической обработки базируются по той же схеме с применением оправок (рис. 12.1).

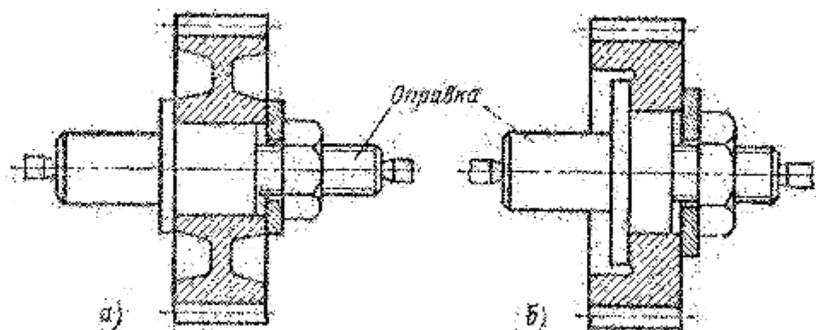


Рис. 12.1. Базирование зубчатых колес на операциях механообработки с использованием двойной опорной базы: а – базирование насадного колеса; б – базирование венцового колеса

2. Базирование с использованием двойной направляющей базы, когда $L/D > 1$. По такой схеме базируются колеса типа втулок с удли-

ненной ступицей, у которых отверстие выполняет роль двойной направляющей базы, а торец является опорной базой. На большинстве операций механической обработки такие колеса базируются по той же схеме на оправках или на двух конусах (рис. 12.2).

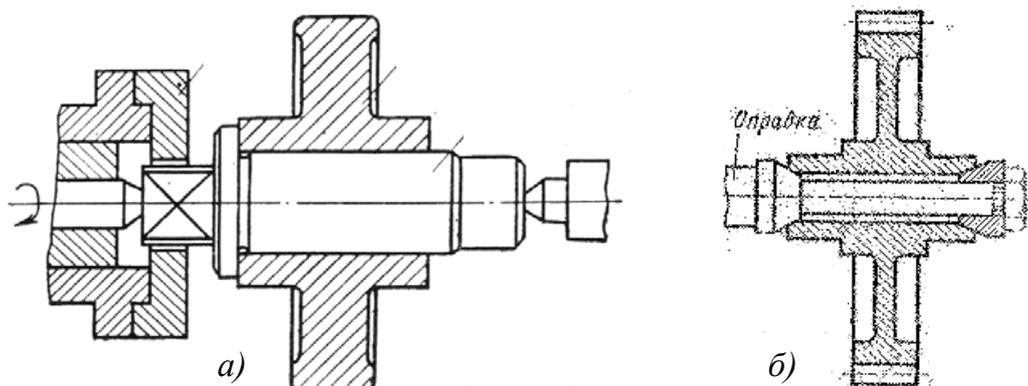


Рис. 12.2. Базирование зубчатых колес на операциях механообработки с использованием двойной направляющей базы: а – базирование на оправке; б – базирование в двух конусах

В отдельных конструкциях зубчатое колесо выполняют за одно целое с валом (колесо-вал). Такие колеса устанавливаются в изделии с использованием двойной направляющей базы, роль которой выполняют две опорные шейки под подшипники. Опорной базой в осевом направлении будет торец, расположенный на буртике вала. На большинстве операций механической обработки колеса-валы базируют в центрах или по опорной шейке и центру, как показано на рис. 12.3.

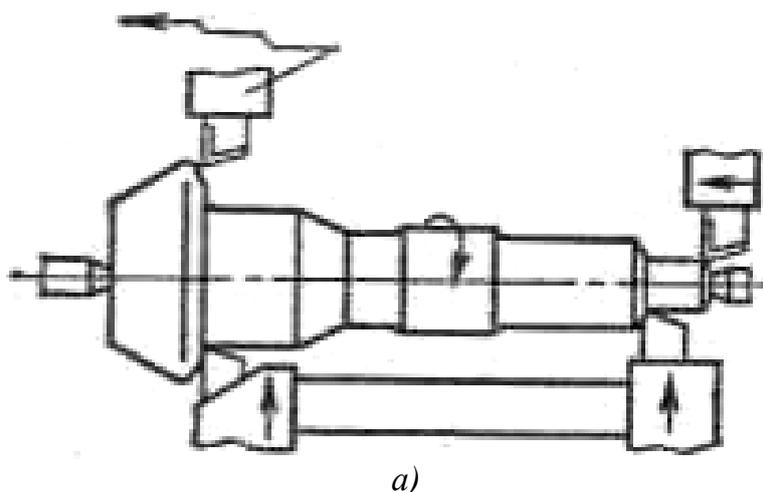
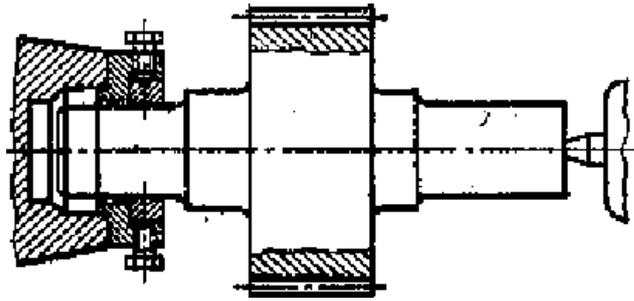


Рис. 12.3. Базирование колеса-вала на операциях механообработки: а – базирование в двух центрах; б – базирование по опорной шейке и центру (см. также с. 352)



б)

Рис. 12.3. Окончание

Для зубчатых колес установлено 12 степеней точности (в порядке убывания точности): 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 и шесть видов сопряжения *A, B, C, D, E, H*, определяющих величину бокового зазора. При этом для 1-й и 2-й степеней точности допуски и предельные отклонения не приводятся. Выбор степеней точности колеса зависит от окружной скорости передачи (табл. 12.1).

Таблица 12.1. Выбор степени точности цилиндрических зубчатых колес

Окружная скорость V , м/с	До 2,5	2,5...6	6...16	16...40
Степень точности	8-я	7-я	6-я	5 – 6-я

Между видом сопряжения зубчатых колес и степенью точности по плавности работы передачи имеет место связь (табл. 12.2).

Таблица 12.2. Связь вида сопряжения колеса и норм плавности работы

Вид сопряжения	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>H</i>
Степень точности	4...12-я	4...11-я	4...9-я	4...8-я	4...7-я	4...7-я

Предельные отклонения относительных размеров пятна контакта по длине и высоте зуба в процентном выражении составляют для 4...7-й степени точности $\pm 10\%$, и для 8...12-й степеней $\pm 15\%$.

Технические требования на изготовление цилиндрических зубчатых колёс определяются исходя из их служебного назначения и требований точности колеса согласно ГОСТ 1643-81.

Согласно ГОСТ 1643-81 точность изготовления зубчатых колёс задается соответствующей степенью по нормам кинематической точности, плавности работы и контакту зубьев в передаче, а требования к боковому зазору – видом сопряжения и видом допуска бокового зазора. Так, например, зубчатая передача 8 – 7 – 6 – *Va* ГОСТ 1643-81 имеет 8-ю степень кинематической точности, 7-ю по нормам плавности, 6-ю степень по нормам контакта зубьев, вид сопряжения *V* и вид допуска на боковой зазор *a*.

Технические требования на изготовление цилиндрических зубчатых колёс включают обеспечение:

- 1) точности профиля зуба;
- 2) точности шага как между зубьями, так и накопленную за оборот;
- 3) правильности расположения оси зуба относительно оси шестерни;
- 4) соосности начальной и делительной окружностей с базовой поверхностью;
- 5) требуемой перпендикулярности базового торца относительно базового отверстия;
- 6) требуемой шероховатости и поверхностной твёрдости эвольвентных поверхностей зубьев и основных баз колеса.

Ряд технических требований, устанавливаемых к поверхностям зубчатого колеса, в соответствии с заданной степенью точности его изготовления приведены в табл. 12.3.

Допуск на длину общей нормали задают в зависимости от вида сопряжения, вида допуска на боковой зазор и величины допуска на радиальное биение зубчатого венца [18]. Например, для вида сопряжения *D* и вида допуска на боковой зазор *d* при $m \geq 1$ при радиальном биении 32...40 мкм допуск на длину общей нормали $T_W = 40$ мкм.

Качество работы зубчатых передач, кроме норм кинематической точности, характеризуется нормами плавности работы (постоянством передаточного отношения в пределах оборота и на один зуб) и нормами контакта зубьев для различных степеней точности.

Таблица 12.3. Технические требования на изготовление зубчатых колес

№ п/п	Вид допуска	Величина допуска		
1	Отклонение диаметра наружного цилиндра	$h14...h17$ или $(0,1...0,2)m$ m – модуль колеса		
2	Допуск на радиальное биение вершин зубьев F_{da} , мкм	$F_{da} = 0,5 T_n$ T_n – допуск на смещение исходного контура		
3	Допуск на ширину зубчатого венца	$h14...h17$		
4	Допуск на биение базового торца F_T , мкм	Степень точности по нормам контакта	Ширина зубчатого колеса	
			До 40	Св. 40 до 100
			Допуск – F_T [мкм] при $d = 100$ мм,	
		6-я	20	10
		7-я	24	12
8-я	40	20		
5	Допуск на накопленную погрешность шага F_p , мкм	Степень точности	Диаметр делительной окружности 80...125 мм. Модуль $m = 1...6$ мм	
		5-я	22	
		6-я	34	
		7-я	48	
		8-я	67	
6	Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r , мкм	Степень точности	Диаметр делительной окружности 50...125 мм. Модуль 3...6 мм	
		5-я	19	
		6-я	30	
		7-я	42	
		8-я	53	

Нормы плавности для зубчатых колес 5...6-й степеней точности включают: допуски на циклическую погрешность, на погрешность профиля зуба, на местную кинематическую погрешность, предельное отклонение шага зацепления, предельное отклонение шага, допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за один оборот зубчатого колеса и на одном зубе. Для колес 7-й и 8-й степеней точности допуск на циклическую погрешность не включен в нормы, но добавлен допуск на разность окружных шагов.

Нормы контакта зубьев в передаче включают нормы по пятну контакта. Размер пятна контакта определяют в процентном отношении по высоте и длине (см. п. 3.1).

Чтобы обеспечить в прямозубых быстроходных колесах расположение пятна контакта в середине на 60...80 % длины зуба, профиль зуба делают бочкообразным (рис. 12.4), что в определенной степени компенсирует отклонение расположения осей валов коробок передач и направления зубьев колеса. На вершине делают срез шириной $a_c \cdot m$, где a_c – коэффициент, m – модуль. Для колеса с $m = 2 \dots 7$ мм $a_c \cdot m = 0,03 \dots 0,063$ мм.

Технические требования на обработку базовых отверстий определяются в соответствии с принятыми посадками колеса на вал (табл. 12.4). Посадки с натягом типа $H8/s7$; $H7/s6$; $H7/p6$; $H7/p6$ и другие применяют для неподвижных нагруженных колес. Переходные посадки как, например, $H7/k6$; $H8/k7$; $H7/j_5,6$ применяют для сменных колес, а посадки с зазором $H7/g6$; $H7/f7$; $H8/f9$ – для подвижных колес. Таким образом, точность диаметров базового отверстия зубчатых колес определяется допусками $H6$; $H7$; $H8$; $H9$.

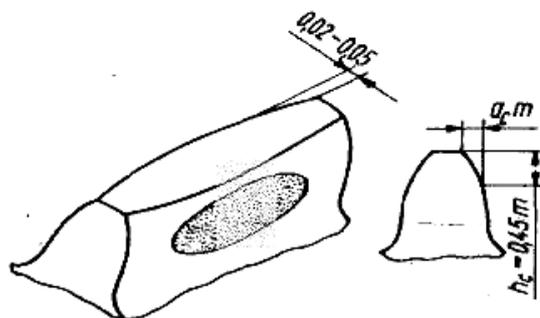


Рис. 12.4. Формирование бочкообразной формы зуба

В свою очередь, точность ширины шпоночного паза определяется допусками: при свободном соединении – $D 10$; при нормальном соединении – $J_5,9$ и при плотном соединении – $P9$.

Допуски, определяющие точность диаметральных размеров и ширину пазов в шлицевых отверстиях, даны в табл. 12.4.

Для колёс до 5-й степени точности базовое отверстие обрабатывают по качеству $IT6$, а для колёс 6, 7, 8-й степеней точности – по $IT7$.

Таблица 12.4. Требования к точности обработки шлицевых отверстий

Размеры в шлицевом соединении	Допуск размера	Способ центрирования колеса
Наружный диаметр шлицевого отверстия D	$H7; H8$	Центрирование по наружному диаметру D отверстия
Ширина шлицевого паза b	$F8; D9; F10; J_s10$	
Внутренний диаметр шлицевого отверстия d	$H6; H7; H8$	Центрирование по внутреннему диаметру вала d
Ширина шлицевого паза b	$F8; D9; D10; F10; J_s10$	

Шероховатость поверхности прямозубых, косозубых и шевронных, а также червячных колес назначают в зависимости от степени точности колеса: профиль зубьев для 7-й степени точности должен иметь шероховатость Ra 0,4...0,8; для 8-й степени точности – Ra 1,6; для 9-й степени точности – Ra 3,2. Шероховатость поверхностей выступов для 7 – 9-й степеней точности должна быть Ra 3,2...12,5. Нерабочие торцевые поверхности зубчатых колес должны иметь шероховатость Ra 3,2...12,5.

Качество изготовления зубчатых колес, а также погрешности, допущенные при их сборке, определяют уровень шума (уровень звукового давления) в процессе работы передачи (табл. 12.5). Повышенный шум всегда считается следствием серьезных отклонений, допущенных при изготовлении или сборке.

Таблица 12.5. Характеристика интенсивности шума зубчатой передачи

Окружная скорость на венцах зубчатых колес, м/с	Показатели интенсивности шума		Окружная скорость на венцах зубчатых колес, м/с	Показатели интенсивности шума	
	дБ	Оценка		дБ	Оценка
5...6,5	80...85	Отлично	8,1...95	80...85	Отлично
	86...90	Хорошо		86...90	Хорошо
91...95	Удовлетворительно	91...95		Удовлетворительно	
6,6...8	80...85	Отлично		91...95	Удовлетворительно
	86...90	Хорошо			
	91...95	Удовлетворительно			

12.2. Материал и методы получения заготовок

В зависимости от служебного назначения зубчатые колеса изготавливают из углеродистых, легированных сталей типа 40, 45, 40Х, 40ХГ, 20Х, из чугуна СЧ15, СЧ21, из цветных сплавов, а в ряде случаев – из неметаллических материалов (пластмасс, текстолита) и др. Для ответственных колёс применяют легированные стали 40ХН, 40ХНМА, 35ХГСА, которые после закалки имеют твердость зуба 52...58 НРС. Азотированные зубчатые колеса изготавливают из стали 38Х2МЮА, их деформации после термообработки незначительны, поэтому в ряде случаев отпадает необходимость шлифования зубьев. Применяют также низкоуглеродистые цементированные стали (Ст. 10, Ст. 15), которые хорошо шлифуются после закалки и менее склонны к короблению.

Чугуны применяют для неответственных колёс, работающих при малых окружных скоростях. Крупногабаритные колеса, заготовки которых получают литьем, изготавливают из чугуна или литейных сталей 35Л...55Л, 40ХЛ.

Зубчатые колёса из пластмасс бесшумно работают даже при повышенных скоростях до 50 м/с. Однако они не выдерживают больших контактных напряжений, их термически не обрабатывают. Такие колеса не шлифуют, а отделывают шевингованием. Их часто используют в сопряжении с чугунными или стальными колёсами.

Материал зубчатых колес должен обладать однородной структурой, которая способствует стабильности размеров после термической обработки, особенно размеров отверстия и шага колес. Материал также оказывает влияние на изменение микротвердости и степени отпуска при зубошлифовании. Если зубья колес шлифуют, рекомендуется выбирать сталь более теплостойкую, менее склонную к прижогам и дающую меньшие изменения микротвердости и степени отпуска.

Например, цилиндрические зубчатые колеса 5...6-й степеней точности, использующиеся в силовых и точных кинематических передачах станков, обычно изготавливают в зависимости от условий эксплуатации, в том числе нагружения, из сталей 12ХНЗА, 20Х, 25ХГТ (для нитроцементации), 18ХГТ (для цементации), 40Х и 40ХФА для закалки. Сталь 25ХГТ обладает повышенной прочностью по сравнению со сталью 18ХГТ.

В качестве заготовок в единичном и серийном производстве используют горячекатаный прокат, который поштучно разрезают на пилах и получают диски.

При большой разности диаметральных размеров колеса и ступицы изготовление заготовок из прутка становится неэкономичным из-за увеличения стоимости отходов металла в стружку. В этом случае заготовку зубчатого колеса получают обработкой давлением – штамповкой или свободной ковкой. При горячей обработке давлением выполняют такие переходы, как осадка, высадка ступицы колеса, прошивка отверстия.

В крупносерийном и массовом производстве в качестве заготовки применяют штамповку. Это наиболее точная заготовка, у которой возможна также прошивка отверстий. Штамповка заготовок в закрепленных штампах на штамповочных молотах и ковочных прессах осуществляется в открытых и закрытых штампах. В первом случае на заготовке получается облой, который устраняют при последующей горячей или холодной калибровке заготовок на прессах. Производительность штамповки на прессах выше, чем на молотах в 1,5...2 раза, работа происходит более плавно без ударов.

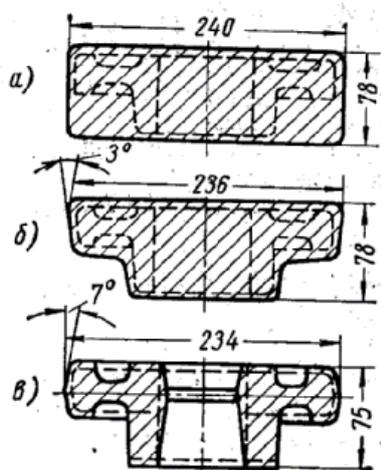


Рис. 12.5. Заготовки зубчатого колеса со ступицей, полученные: а – свободной ковкой; б – штамповкой в подкладных штампах; в – штамповкой в закрытых штампах

примера на рис. 12.5 показаны заготовки зубчатого колеса со ступи-

В мелкосерийном и серийном производстве применяют менее точную заготовку – поковку, получаемую в подкладных штампах. Штамповка в подкладных штампах производится на ковочных молотах, на фрикционных и гидравлических прессах, а также на механических ковочных прессах. Исходную заготовку, отрезанную от прутка, нагревают до температуры горячего пластического деформирования 950 ... 1100 °С.

Для колёс больших диаметров применяют заготовки, получаемые свободной ковкой на молотах. Такие заготовки имеют большие припуски, для них характерно наличие огранки на наружной поверхности. Однако структура металла благодаря ковке улучшается по сравнению со структурой металла у заготовки, отрезанной от прутка. В качестве

цей, получаемые свободной ковкой, штамповкой в подкладных штампах и штамповкой в закрытых штампах.

В условиях серийного производства заготовки зубчатых колес изготавливают также штамповкой на горизонтально-ковочных машинах. Последовательность переходов, выполняемых на горизонтально-ковочной машине при получении заготовки с отверстием для двухвенцового зубчатого колеса, показана на рис. 12.6. Заготовки из чугуна, а также заготовки для колес большого диаметра получают литьём. При этом заготовки для колес диаметром более 2 м и большом модуле могут быть отлиты по секторам с профилем зубчатого венца.

Заготовки для зубчатых колес могут быть получены также методом порошковой металлургии (прессованием порошка с последующим его спеканием). При этом получают точные заготовки с готовым зубчатым венцом, большая часть поверхности которых не требует механообработки. Точность заготовок зубчатых колес, достигаемая при различных методах их получения, представлена в табл. 12.6.

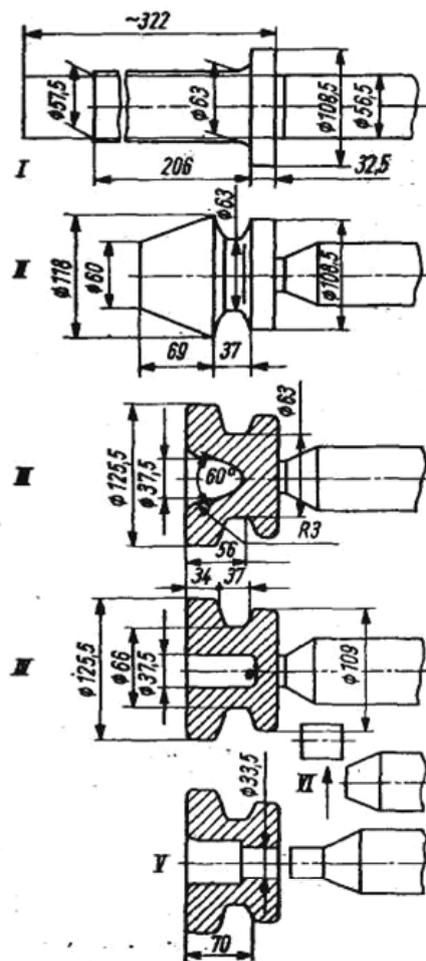


Рис. 12.6. Переходы, выполняемые на горизонтально-ковочной машине при получении заготовки двухвенцового зубчатого колеса

Таблица 12.6. Параметры точности заготовок зубчатых колес

Способы получения заготовок	Квалитет точности размеров <i>IT</i>	Шероховатость поверхности <i>Ra</i> , мкм
Свободная ковка	18...19	30...60
Штамповка в открытых штампах	16...17	6...12
Штамповка с горячей калибровкой	13...16	1...2.5
Штамповка в закрытых штампах	12...15	2.5...5

Способы получения заготовок	Квалитет точности размеров IT	Шероховатость поверхности Ra, мкм
Штамповка в подкладных штампах	16...17	8...12
Штамповка на ГКМ	13...15	2.5...5
Холодная объемная штамповка выдавливанием	8...11	0,8...1,6
Литье в песчано-глинистые формы	15...19	10...20
Литье в кокиль	14...17	5...10

12.3. Выбор технологических баз и последовательности обработки зубчатых колёс

Общие принципы построения технологических процессов изготовления зубчатых колес отражают приводимые ниже типовые технологические маршруты на зубчатые колеса различных типов. В соответствии с технологическим маршрутом основная определяющая операция нарезания зубчатого венца выполняется после чистовой обработки колеса по всему контуру. Базирование колеса на операции зубонарезания осуществляется по окончательно обработанным основным конструкторским базам зубчатого колеса. Колеса типа дисков базируются по торцу, который выполняет роль установочной базы, и отверстию, выполняющему роль двойной опорной базы (см. рис. 12.1). Колеса типа втулок (см. рис. 12.2) устанавливаются по базовому отверстию и торцу, при этом базовое отверстие выполняет роль двойной опорной базы. Колеса-валы фиксируются в центрах, которые выполняют роль двойной опорной базы (см. рис. 12.3).

На первых технологических операциях при базировании по черным поверхностям подготавливают технологические базы для последующей обработки контура зубчатого колеса. Изготовление плоских зубчатых колес типа диска или венцовых, у которых имеют место большая площадь торцевой поверхности и малая ширина зубчатого венца, начинается с обработки базового торца (установочная база) и отверстия (двойная опорная база), которые в дальнейшем используются в качестве технологических баз на большинстве операций.

Изготовление зубчатых колес типа втулок, имеющих ступицу с достаточными диаметром и глубиной отверстия, начинается с обра-

ботки отверстия (двойная направляющая база) и базового торца (опорная база), а затем на их базе осуществляется большинство операций: токарных, зубонарезных и зубошлифовальных.

Изготовление зубчатых колес типа вал начинается с обработки торцов и сверления центровочных отверстий, которые используются в качестве технологических баз почти на всех последующих операциях.

Таким образом, на первых операциях при изготовлении зубчатых колес в первую очередь обрабатываются те поверхности, которые в дальнейшем будут использованы в качестве технологических баз на большинстве операций.

Наиболее ответственными операциями при изготовлении зубчатых колес можно назвать операции зубонарезания, на которых происходит формирование поверхностей зубьев. Поэтому к заготовке, устанавливаемой на зубонарезной станок, предъявляются повышенные требования по величине радиального и торцевого биения. Так, например, радиальное биение подготовленной заготовки, устанавливаемой на зуборезный станок для нарезания зубчатого венца, не должно при выверке превышать величины

$$F_{d_a} = 0,6F_r,$$

где F_r – допуск на радиальное биение зубчатого венца, выбираемый для заданной степени точности колеса, модуля и диаметра делительной окружности по соответствующим таблицам [5].

Точность базового отверстия колес 9...7-й степеней точности перед нарезанием зубьев должна соответствовать качеству $IT7$, а для прецизионных колес 5...6-й степеней точности – качеству $IT5$, $IT6$. Биение окружности выступов на диаметре 50 ... 200 мм для колес 6...7-й степеней точности должно быть не более 15 ... 30 мкм. В свою очередь, величину торцевого биения определяют по формуле

$$F_{\tau} = F'_{\tau} \frac{d}{100},$$

где F'_{τ} – допуск на торцевое биение базового торца цилиндрического зубчатого колеса, который выбирают в зависимости от степени точности колеса и ширины зубчатого венца.

Требования к торцевому биению заготовок зубчатых колес, поступающих после их токарной обработки на операцию нарезания зубьев, приведены в табл. 12.7.

Таблица 12.7. Допускаемое биение торца зубчатых колес перед нарезанием зубчатого венца

Степень точности колеса	Радиус колеса, мм			
	50	100	150	200
8-я	25	50	75	100
7-я	20	40	60	80
6-я	15	30	45	60
5-я	10	20	30	40

Биение по шлифованным торцам перед окончательным шлифованием зубьев при базировании на точной оправке для колес 5-й степени точности не более 3 мкм, а для колес 6-й степени точности не более 5 мкм.

Типовой технологический маршрут изготовления зубчатого колеса типа втулки включает выполнение следующих технологических операций.

Штучная заготовка – штамповка, полученная в подкладных штампах.

1. Сверление и зенкерование базового отверстия. Обработка одного торца на токарно-револьверном станке.

2. Протягивание базового отверстия, шлицевых и шпоночных пазов (базирование по базовому отверстию и торцу).

3. Черновое и чистовое точение по контуру колеса с базированием по отверстию, полученному после протягивания с использованием оправки. После точения биение базового торца не должно превышать 0,03...0,04 мм.

4. Нарезание зубьев путем зубофрезерования или зубодолбления с базированием по отверстию и торцу. Нарезание зубьев может быть выполнено за два этапа – черновое и чистовое.

5. Зубозакругление по контуру зубчатого венца.

6. Отделка зубьев шевенгованием с обеспечением 7-й степени точности.

Для незакалённых зубчатых колёс технологический процесс на этом заканчивается, а для закаливаемых продолжается.

7. Термообработка (закалка) зубчатого венца и базового отверстия.

В результате закалки происходит коробление и потеря геометрической точности зубчатого венца на 0,5...1 степень точности, поэтому затем выполняют операции отделки.

8. Шлифование базового отверстия и торца на внутришлифовальном станке.

9. Отделка зубьев зубошлифованием с базированием по окончательно обработанному отверстию и торцу.

10. Промывка и контроль.

Токарная обработка колес в единичном и серийном производстве выполняется на токарных и токарно-револьверных станках. В крупносерийном и массовом производстве токарную обработку выполняют на многошпиндельных токарных полуавтоматах и автоматах.

После термообработки зубчатого венца и базового отверстия имеет место коробление закаленных поверхностей и как результат потеря геометрической точности колеса на 0,5...1 степень точности. Поэтому после термообработки, как правило, выполняют операцию отделки базовых поверхностей и зубчатого венца. В тех случаях, когда зубошлифовальный станок отсутствует, для получения колеса с закаленным зубчатым венцом 8-й степени точности нарезание зубьев выполняют по 7-й степени, а после термообработки отделку зубчатого венца шлифованием не выполняют.

При изготовлении прецизионных зубчатых колес (5...6-й степени точности) необходимо стабилизировать материал и предусмотреть нормализацию и стабилизирующий отпуск после черновой токарной обработки заготовки.

При изготовлении зубчатых колес 7...8-й степеней точности нормализацию и отпуск в большинстве случаев можно проводить сразу же после штамповки заготовки (без черновой токарной обработки). Это обусловлено тем, что коробления, вызванные термической обработкой, будут в пределах, допустимых для этих степеней точности.

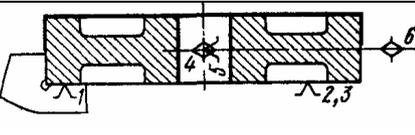
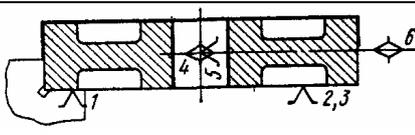
Для зубчатых колес 6-й и более высокой степеней точности в технологическом процессе предусматривают неоднократную термообработку с целью снятия внутренних напряжений и уменьшения деформаций.

Для снижения остаточных напряжений в металле после объемной закалки и уменьшения возникающих при этом короблений и ве-

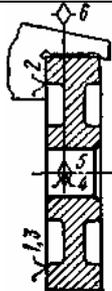
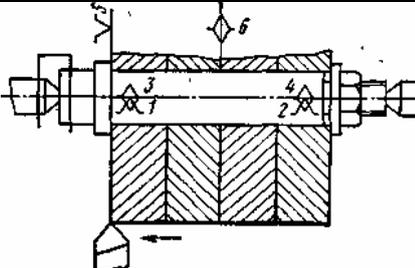
роятности возникновения закалочных трещин рекомендуют применять мелкозернистую сталь с более низким содержанием углерода и пониженной прокаливаемостью, а также медленный нагрев перед закалкой и специальные методы закалки в горячих средах, в специальных приспособлениях, обеспечивающих выравнивание скоростей охлаждения заготовок колес по отдельным элементам, с частичным охлаждением в воде и с последующим в масле.

Маршрут изготовления зубчатых колес 5...6-й степеней точности заканчивается шлифованием зубьев (черновое и чистовое) колеса, установленного на точную оправку. Маршрут изготовления колес 7...8-й степеней точности заканчивается в основном шевингованием профиля зубьев, которое проводят до термической обработки. При этом выполняют также калибровку отверстия и снятие заусенцев после термической обработки. Зубошлифование для таких колес применяют в тех случаях, когда требуется исправление зубьев при сильном их короблении во время термической обработки. Технологический процесс изготовления цилиндрического зубчатого колеса типа диска 6-й степени точности при заготовке – штамповке приведен в табл. 12.8. На представленных в таблице эскизах показаны также схемы базирования колеса на соответствующих операциях.

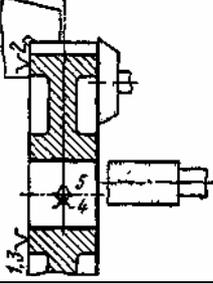
Таблица 12.8. Технологический процесс изготовления зубчатого колеса 6-й степени точности диаметром 80...220 мм с модулем от 2,5 до 5 мм и центрированием по малому диаметру шлицев

№ п/п	Содержание операции	Эскиз обработки, базирования	Оборудование
1	Изготовление заготовки – штамповка	—	—
2	Черновая токарная обработка с одной стороны и растачивание отверстия		Вертикальный токарный патронный полуавтомат
3	Черновая токарная обработка с другой стороны и повторное растачивание отверстия		То же
4	Термическая обработка – нормализация и отпуск	—	—

Продолжение табл. 12.8

№ п/п	Содержание операции	Эскиз обработки, базирования	Оборудование
5	Шлифование боковых сторон с двух сторон последовательно (с перевертыванием заготовки)	Базирование по торцам	Вертикальный плоскошлифовальный станок
6	Чистовое растачивание отверстия с точностью по 7-му качеству (установка с поджимом к торцу с помощью скошенных кулачков)		Алмазно-расточной или револьверный станок
7	Протягивание шлицев (шлицевая протяжка, обрабатывающая только боковые стороны и большой диаметр шлицев)	База - торец и точно расточенное отверстие заготовки зубчатого колеса на операции № 6	Вертикально-протяжной станок
8	Зачистка фасок на торцах шлицев	—	—
9	Чистовое обтачивание по венцам (обработка набора заготовок на круглой оправке с базированием по малому диаметру шлицев)		Токарный станок
10	Зубонарезание под последующее шлифование зуба, производимое после термической обработки на операциях № 18, 19	Базирование на круглой оправке по торцу и малому диаметру шлицев	Зубофрезерный станок
11	Зубозакругление или снятие фасок	Базирование по малому диаметру шлицев и торцу	Зубозакругляющий станок
12	Слесарная (зачистка)	—	—
13	Мойка	—	Моечная машина
14	Контроль	—	—

Окончание табл. 12.8

№ п/п	Содержание операции	Эскиз обработки, базирования	Оборудование
15	Термическая обработка – цементация, закалка, отпуск	—	—
16	Окончательное шлифование противобазового торца и поверхности венца на центральной оправке; биение торца не более 0,015 мм	Базирование по большому диаметру шлицев и базовому торцу 	Торцекруглошлифовальный станок с косым кругом
17	Окончательное шлифование базового торца и отверстия с точностью по 6-му качеству (по малому диаметру шлицев). Биение торца 0,01 мм		Внутришлифовальный станок с двумя кругами
18	Предварительное шлифование зубьев червячным шлифовальным кругом на центральной оправке с посадкой по малому диаметру шлицев	Установка на оправке отверстием по малому диаметру шлицев	Зубошлифовальный станок с червячным шлифовальным кругом
19	Окончательное шлифование зубьев на станках высокого класса точности	Базирование на центральной круглой оправке (по малому диаметру шлицев)	То же
20	Мойка	—	Моечная машина
21	Контроль, клеймение, проверка на шум	—	Контрольные инструменты, специальный шумоконтрольный станок

Влияние конструктивных форм зубчатых колес на технологический процесс их изготовления проявляется в первую очередь в выборе технологических баз и последовательности обработки поверхностей.

Базирование плоских зубчатых колес типа дисков с использованием двойной опорной базы может быть реализовано как с применением оправки (см. рис. 12.1), так и в самоцентрирующем трехкулачковом патроне. При этом базирование заготовок в патроне с установкой по торцу и закреплением по наружному диаметру более простое, гарантирует устойчивость и обеспечивает большую точность. Поэтому в ряде случаев всю токарную обработку с обеих сторон выполняют в кулачковых патронах, а не на оправках. Процесс проводится на токарно-револьверных станках или на патронных полуавтоматах, после чего следует шлифование торцов и растачивание отверстия, а затем – протягивание шлицев и обточка венца заготовки зубчатого колеса.

Термическая обработка (нормализация), выполняемая после предварительной токарной обработки, обеспечивает выравнивание внутренних напряжений, измельчение структуры и уменьшение деформации при последующей термической обработке. Режим термической обработки – нагрев заготовки до $(960 \pm 10)^\circ\text{C}$, выдержка после нагрева до заданной температуры в течение 1,5 ... 2 ч и охлаждение на воздухе.

После выполнения основных операций механической обработки, включая нарезание зубьев, выполняют термическую обработку – цементацию, закалку и отпуск. Глубина цементируемого и нитроцементируемого слоя обычно до 1 мм, но не более 1,5...1,8 мм. Температура для цементации $(930 \pm 10)^\circ\text{C}$, для нитроцементации $(870 \pm 10)^\circ\text{C}$. После цементации следует закалка в масле (температура $60...80^\circ\text{C}$) или закалка с нагревом ТВЧ, охлаждающая среда – эмульсия 10...15 %-ной концентрации или индустриальное масло 12 или 20. Затем выполняют отпуск в шахтной электропечи или масляной электрованне; температура $(190 \pm 10)^\circ\text{C}$, время выдержки 2 ч. Глубина прокаливания легированных сталей выше, а деформация меньше, чем у углеродистых.

Во избежание появления трещин при зубошлифовании зубчатые колеса должны быть хорошо отпущены.

При изготовлении высокоточных зубчатых колес для снятия в них внутренних напряжений рекомендуется чередовать механическую обработку с операциями термической обработки. Для улучшения структуры металла для колес 5-й степени точности перед отделочными операциями шлифования добавляется второй стабилизи-

рующей отпуск после цементации и закалки, а в ряде случаев и третий. При этом после третьего отпуска в маршрут вводят также дополнительные отделочные шлифовальные операции.

Базирование по отверстию при нарезании зубчатого венца и шлифовании зубьев позволяет обеспечить наиболее коротким путем требуемую соосность начальной окружности колеса и базового отверстия. При этом окончательное шлифование базового отверстия и торца на внутришлифовальном станке выполняют при базировании по делительному цилиндру нарезанных зубьев и по противоположному торцу колеса.

Для колес с круглым базовым отверстием и шпоночным пазом наименьшее биение начальной окружности достигают при шлифовании зубьев с установкой колеса на точную оправку по шлифованному отверстию.

В тех случаях, когда базовое отверстие имеет прямобочные или эвольвентные шлицы, обеспечить малое биение диаметра начальной окружности значительно труднее. Это связано с выбором баз на соответствующих шлицевых поверхностях, определяющих центрирование колеса на валу, и обеспечением требуемой точности этих баз.

Во всех случаях после термической обработки колеса, а иногда и после протягивания шлицевого отверстия возникает коробление: отверстие становится конусообразным, а шлицы – извернутыми. Поэтому необходимы дополнительные мероприятия по устранению возникающих в процессе изготовления погрешностей.

При центрировании по внутреннему диаметру шлицевое отверстие зубчатого колеса шлифуют на внутришлифовальном станке по малому диаметру с базированием в патроне по базовому торцу (установочная база) и диаметру длительной окружности (двойная опорная база). Сопрягаемый вал в этом случае шлифуют на шлицешлифовальном станке по впадине (т.е. по малому диаметру) и по боковой стороне шлицев. Такая технология определяет наиболее технологичное решение, обеспечивающее получение точного закаленного шлицевого соединения зубчатого колеса и вала.

Получение закаленного шлицевого соединения при центрировании зубчатого колеса по большому диаметру считается менее технологичным и более трудоемким. В этом случае возникает необходи-

мость шлифования в базовом отверстии колеса узких шлицевых пазов. Эту операцию можно выполнять на специальных станках узкими кругами малого диаметра, что представляет трудоемкий малопроизводительный процесс. Другим вариантом финишной обработки закаленных шлицевых пазов в базовом отверстии колеса является хонингование пазов. С этой целью применяют специальные хонинговальные головки, у которых ширина абразивного бруска несколько меньше, чем ширина шлица в отверстии зубчатого колеса. Это позволяет хону совершать малый поворот влево и вправо при осевом перемещении вдоль оси хонингуемого отверстия. Такая операция также трудоемка и малопроизводительна.

Одним из вариантов отделки наружного диаметра шлицев базового отверстия колеса можно назвать калибровку с использованием специальной шлицевой прошивки. Однако для выполнения этой операции твердость поверхности шлицевого отверстия после цементации не должна превышать 54 HRC. С этой целью отверстия перед цементацией или омедняют, или закрывают шайбами с применением раствора жидкого стекла. При центрировании зубчатого колеса по большому диаметру у сопрягаемого вала обычно подвергают шлифованию только наружную поверхность.

При наличии эвольвентного шлицевого соединения зубчатое колесо центрируется по боковой эвольвентной поверхности шлицев.

В автоматизированном серийном производстве токарную обработку заготовок зубчатых колес выполняют на станках с ЧПУ с двух установок (рис. 12.7). В результате токарной обработки получают требуемый контур колеса. На первой токарной операции базирование осуществляется по черным поверхностям заготовки. Наличие на зажимающих кулачках патрона скошенной поверхности создает осевую составляющую силы зажима, которая обеспечивает надежное силовое замыкание в направлении базового торца.

На первом установе сдвоенным резцовым блоком выполняют черновую и получистовую проточку торца (переход 1), затем подрезным резцом – точение наружной цилиндрической поверхности (переход 2), после чего тем же инструментом проводят чистовое точение базового торца колеса (переход 3). Черновую и получистовую расточку отверстия осуществляют расточной оправкой (переход 4), а затем

второй расточной оправкой выполняют чистовую расточку базового отверстия (переход 5) и обработку фаски резцом (переход 6).

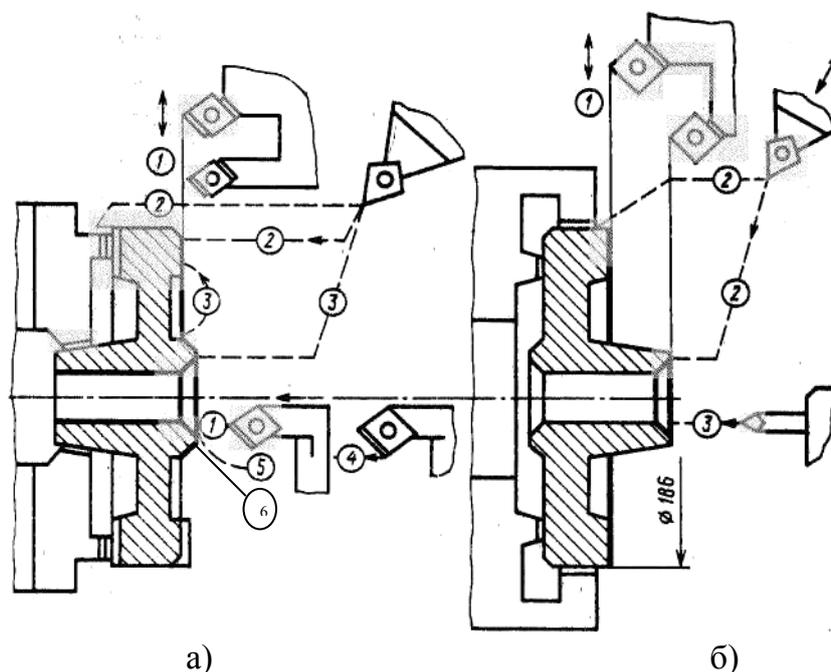


Рис. 12.7. Схема токарной обработки зубчатого колеса на станках с ЧПУ: а – на первом установе; б – на втором установе

На втором установе базирование осуществляется по обработанному базовому торцу и наружной цилиндрической поверхности. Сдвоенным резцовым блоком выполняют предварительную проточку противоположного торца (переход 1), а затем подрезным резцом – чистовое точение двух торцевых поверхностей (переход 2) и в заключение обрабатывают в отверстии фаску (переход 3).

После сверления, зенкерования или расточки отверстия проводят операцию протягивания базового отверстия. Протягивание – один из высокопроизводительных методов чистовой обработки цилиндрических, шлицевых и профильных отверстий. Оно выполняется на горизонтально- и вертикально-протяжных станках, развивающих тяговое усилие от 5 до 60 т. В качестве режущего инструмента применяют многозубые круглые протяжки, которые могут быть цельными, сборными или составными.

Изготавливают протяжки из легированных инструментальных сталей типа Ст. ХВГ, из быстрорежущих сталей Р6М5, Р9К5. Зубья

протяжки могут быть оснащены пластинками из твердых сплавов ВК8, ВК6М и др. За один ход протяжки в отверстии снимается весь припуск и достигается точность отверстия по 6...9-му квалитетам и шероховатости поверхности в пределах $Ra = 1,25...0,63$ мкм. Это объясняется тем, что основной припуск в отверстии снимают зубья, расположенные на режущей части протяжки, а калибрующие зубья, расположенные в конце протяжки, на которые приходится малая нагрузка, а следовательно, и малый износ, обеспечивают окончательное формирование точности размера и шероховатости поверхности отверстия.

Скорость резания при протягивании, определяемая как главное движение инструмента вдоль оси отверстия, составляет $v = 2...15$ м/мин. Она ограничивается требованиями шероховатости поверхности получаемого точного отверстия. Подача на зуб S_z (мм/зуб) при протягивании обеспечивается путем увеличения диаметра каждого последующего зуба протяжки на определенную величину. Подача на зуб S_z (мм/зуб) у круглых протяжек для обработки соответствующих материалов составляет:

Для стали	Для чугуна	Для алюминия	Для бронзы и латуни
0,015...0,03	0,03...0,1	0,02...0,05	0,05...0,12

Припуск для протягивания, оставляемый в круглом отверстии после сверления или зенкерования, можно рассчитать по формуле:

$$Z = 0,005D + (0,1...0,2) \sqrt{L},$$

где D – номинальный диаметр отверстия, мм; L – длина протягиваемого отверстия, мм.

В зависимости от диаметрального размера протягиваемого отверстия назначаемый припуск в общем случае составляет 0,3...0,5 мм на диаметр. При обработке отверстия зубчатого колеса вначале круглой протяжкой получают отверстие (рис. 12.8, а), а затем плоской протяжкой протягивают шпоночный паз в отверстии (рис. 12.8, б). Для обработки шлицевых отверстий применяют комбинированные шлицевые протяжки, обеспечивающие за один рабочий ход протягивания отверстия и шлицевых пазов. В процессе протягивания заготовка самоустанавливается (базируется) по наружной поверхности протяжки,

а торец заготовки опирается в неподвижную или подвижную (плавающую) опору (см. рис. 12.8, а). В последнем случае протягивание можно выполнить при больших отклонениях от перпендикулярности торца к оси отверстия.

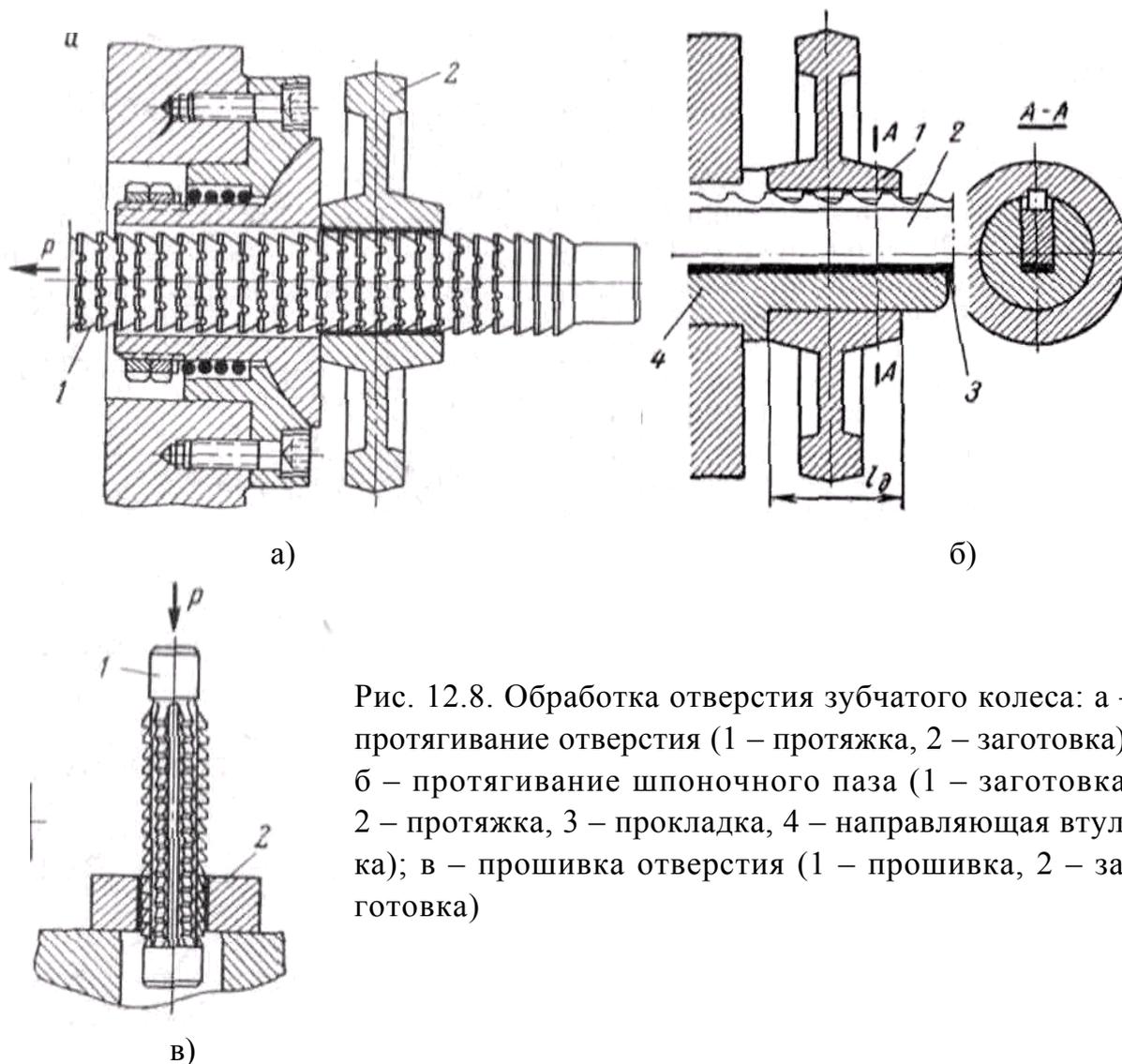


Рис. 12.8. Обработка отверстия зубчатого колеса: а – протягивание отверстия (1 – протяжка, 2 – заготовка); б – протягивание шпоночного паза (1 – заготовка, 2 – протяжка, 3 – прокладка, 4 – направляющая втулка); в – прошивка отверстия (1 – прошивка, 2 – заготовка)

Для чистовой обработки отверстий сравнительно короткой длины и при малых снимаемых припусках применяют также метод прошивания отверстия, когда в качестве режущего инструмента применяется прошивка (рис. 12.8, в). Геометрия режущей и калибрующей части прошивки практически не отличается от геометрии протяжки. Однако длина прошивки в несколько раз меньше, чем длина протяжки, и в отличие от нее прошивка работает на сжатие, так как она не протягивается, а проталкивается вдоль оси отверстия под давлением прессы.

Отделку базового отверстия и торца колеса после их закалки выполняют на внутришлифовальном станке с использованием двух кругов (см. эскиз к операции № 17 в табл. 12.8). Чашечным коническим кругом обрабатывают базовый торец, а цилиндрическим кругом шлифуют базовое отверстие. Рекомендуемые режимы круглого внутреннего шлифования приведены в табл. 12.9.

Таблица 12.9. Режимы круглого внутреннего шлифования отверстий

Внутреннее шлифование	Скорость вращения		Подача	
	круга, м/с	заготовки, м/мин	Продольная, мм/об*	Поперечная, мм/ дв.ход
Предварительное	30...35	10...20	(0,4...0,7) <i>B</i>	0,005...0,02
Окончательное		20...30	(0,25...0,4) <i>B</i>	0,002...0,01

* Величина продольной подачи задается в долях ширины шлифовального круга *B*.

Припуск, оставляемый для внутреннего шлифования, зависит от диаметра отверстия и составляет 0,07...0,5 мм. Диаметр круга при внутреннем шлифовании выбирают равным 0,6...0,8 диаметра обрабатываемого отверстия, а выход круга за пределы отверстия не должен превышать 0,5 его высоты. Частота продольной подачи не должна быть кратной частоте вращения шпинделя.

12.4. Методы нарезания цилиндрических зубчатых колёс

На операциях зубонарезания обеспечивается получение на детали зубчатого венца с эвольвентным боковым профилем зубьев. Для зубчатого колеса эта операция – одна из последних, ей предшествуют операции, на которых формируется геометрический контур колеса. В качестве технологических баз при нарезании зубьев используют основные базы колеса – базовое отверстие и торец. Соблюдение принципа единства баз позволяет обеспечить более высокую точность совпадения центра начальной окружности и оси делительного цилиндра зубчатого венца с осью базового отверстия [16, 26].

Профилирование зубьев при нарезании зубчатого венца может осуществляться по методу копирования или обката. При нарезании методом копирования в качестве зуборезного инструмента использу-

ют дисковые или пальцевые модульные фрезы (рис. 12.9). Нарезание выполняют на горизонтальных и вертикальных универсально-фрезерных станках с использованием делительной головки для периодического поворота зубчатого колеса на шаг между зубьями. Фреза 1 вращается, создавая главное движение резания v , а заготовка 2, установленная на столе станка, перемещается в осевом направлении со скоростью продольной подачи s_{np} . По окончании фрезерования одной впадины стол отводят в исходное положение и с помощью делительной головки заготовку поворачивают на угол $360^\circ/z$, т.е. на $1/z$ часть полного оборота колеса, где z – число нарезаемых зубьев.

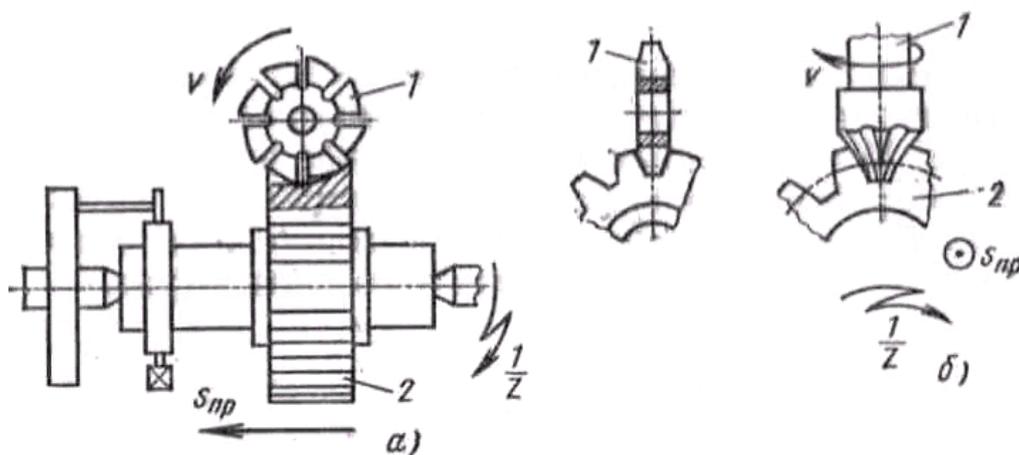


Рис. 12.9. Нарезание зубчатых колес на универсально-фрезерных станках по методу копирования модульными фрезами: а – дисковой; б – пальцевой

Таким образом эвольвентная боковая поверхность зубьев и промежутков между ними получается путем копирования профиля модульной фрезы, а точность шага между зубьями определяется точностью делительной головки.

Дисковые фрезы применяют для нарезания зубчатых колёс малых модулей, пальцевые – для зубчатых колёс средних и больших модулей $m \geq 8$ мм, а также для нарезания шевронных зубчатых колёс. Скорость резания для дисковых фрез из быстрорежущей стали $v = 20 \dots 30$ м/мин, продольная подача на оборот фрезы $s_{np} = 1, \dots 2,5$ мм/об. Скорость резания для пальцевых модульных фрез из быстрорежущей стали $v = 25 \dots 35$ м/мин, а продольная подача в пределах $s_{np} = 0,06 \dots 0,25$ мм/об.

Этот метод применяют для нарезания зубчатых колёс невысокой 8...12-й степеней точности. При этом производительность обработки

на универсально-фрезерных станках также невысока. Однако преимуществом данного метода является его простота и доступность – возможность нарезания зубчатых колёс на универсальных станках в различных мастерских без применения специального зуборезного оборудования.

Нарезание зубчатых колёс по методу обката (огибания) выполняют на специальных зуборезных станках, где в качестве зуборезного инструмента используют червячные фрезы, долбяки, режущие рейки (гребенки), обкатные резцы. Боковая поверхность нарезаемых зубьев формируется при этом как огибающая последовательных положений режущих кромок инструмента при их движении относительно заготовки. При вращении червячная фреза создает геометрию режущей (производящей) рейки, которая, зацепляясь с колесом, осуществляет его нарезание (рис. 12.10, а). В свою очередь, долбляк при осевом перемещении и вращении создает геометрию режущего (производящего) колеса, которое, зацепляясь с заготовкой, нарезает зубья (рис. 12.10, б). Требуемую последовательность положения режущих кромок инструмента относительно формируемого профиля зубьев получают в результате кинематически связанных движений резания и подачи, создаваемых зуборезным станком, что определяет высокую точность обработки.

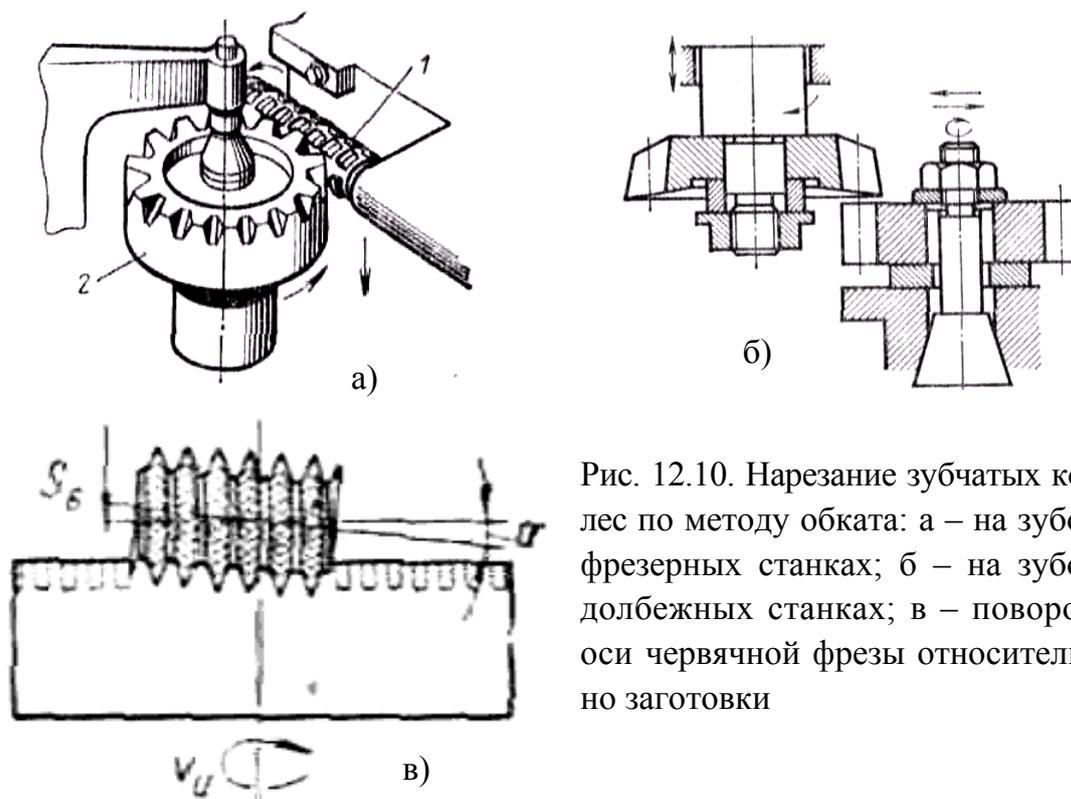


Рис. 12.10. Нарезание зубчатых колёс по методу обката: а – на зубофрезерных станках; б – на зубодолбежных станках; в – поворот оси червячной фрезы относительно заготовки

Производительность нарезания зубьев по методу обкатки более высокая, так как происходит непрерывное формообразование, при котором движения формообразования и деления совмещены во времени.

Нарезание червячными фрезами выполняют на зубофрезерных станках с вертикальным или горизонтальным расположением фрезы, ось которой поворачивают относительно торца заготовки на угол λ (рис. 12.10, в). При нарезании колес с прямым зубом этот угол равен углу подъема β винтовой линии фрезы $\lambda = \beta$. При нарезании косозубых цилиндрических колес угол λ рассчитывают с учетом угла φ наклона зубьев нарезаемого колеса

$$\lambda = \beta \pm \varphi.$$

Суммирование выполняют при наличии разных по направлению углов β и φ , а вычитание – при равных по направлению углах.

По конструкции червячная фреза представляет собой группу реек, режущие кромки которых расположены по винтовой поверхности. Частоты вращения заготовки n_3 и фрезы n_n связаны между собой отношением

$$n_3 / n_n = i_o k / z_3,$$

где k – число заходов червячной фрезы;

z_3 – число зубьев нарезаемого колеса;

i_o – передаточное отношение кинематической цепи обката.

Это основной метод нарезания зубчатых колёс для модулей $m = 0,5 \dots 20$ мм. При модуле до $m = 2,5$ мм нарезание выполняют в один проход, при больших модулях осуществляют черновое и чистовое нарезание за несколько проходов. Режимы обработки: скорость резания для фрез из быстрорежущей стали $v = 30 \dots 65$ м/мин, для твердосплавных червячных фрез $v = 110 \dots 200$ м/мин; продольная подача при предварительном нарезании $s_{np} = 1,5 \dots 4$ мм на оборот заготовки; при чистовой обработке подачу $s_{кр}$ выбирают с учетом требований шероховатости – для $R_a = 1,25$ мкм она составляет $s_{кр} = 0,5$ мм/об, а для $R_a = 2,5 \dots 5$ мкм $s_{кр} = 1 \dots 2$ мм/об. Гарантированно достигают 8-ю, а на новых станках и 7-ю степени точности колеса.

Производительность при зубофрезеровании повышается путем применения многозаходных червячных фрез, одновременного нарезания нескольких зубчатых колес, а также увеличением диаметра фрезы

и применением фрез с твердосплавными или композиционными инструментальными материалами.

Нарезание зубчатых колес долбяком выполняют на зубодолбежных станках в основном для модулей $m = 2 \dots 8$ мм. В процессе резания окружные скорости долбяка и нарезаемого колеса на начальных окружностях равны. В соответствии с этим частоты вращения заготовки n_3 и инструмента $n_{и}$, а также число располагаемых на них зубьев z_3 и $z_{и}$ связаны между собой передаточным отношением

$$i = n_{и} / n_3 = z_3 / z_{и} .$$

Косозубые цилиндрические колеса нарезают с помощью косозубых долбяков. Для зубчатых колёс с модулем до $m = 2$ мм нарезание выполняют за один проход, при больших модулях от $m = 2$ мм до $m = 4$ мм нарезание осуществляют за два прохода – черновое и чистовое. Зубчатые колёса с модулем $m > 4$ мм нарезают за три и более проходов.

Скорость резания при долблении выбирают с учетом круговой подачи $s_{кр}$ и модуля m в пределах $v = 15 \dots 45$ м/мин. С увеличением круговой подачи и модуля скорость резания уменьшается. Радиальная подача долбяка связана с круговой подачей соотношением $s_p = (0,1 \dots 0,3) s_{кр}$. Для колес с модулями $m = 2 \dots 6$ мм круговая подача при предварительном нарезании составляет $s_{кр} = 0,35$ мм/дв.ход, а при чистовом $s_{кр} = (0,25 \dots 0,22)$ мм/дв.ход. С увеличением модуля подача $s_{кр}$ уменьшается.

Долблением достигают 8-ю, 7-ю степени точности колеса, шероховатость поверхности зубьев $R_a = 1,25$ мкм. Важное преимущество этого метода – возможность нарезания многовенцовых зубчатых колёс при расстоянии между венцами 3...5 мм. При таком малом расстоянии нельзя применять зубофрезерование, так как происходит зарезание смежных венцов. Кроме того, зубодолбление практически единственный способ нарезания колес внутреннего зацепления среднего и малого диаметров.

На специальных станках выполняют долбление (зубострогание) с использованием режущей рейки. Этот процесс менее производительен, чем нарезание долбяком. Однако на этих станках возможно относительно просто нарезать косозубые колёса путём разворота режущей рейки на соответствующий угол.

В крупносерийном и массовом производстве для нарезания прямозубых цилиндрических колёс применяют зубодолбежные головки, которые по методу копирования одновременно нарезают все впадины между зубьями. Фасонные резцы, определяющие профиль зубчатого венца, за каждый двойной ход перемещаются к центру колеса на величину радиальной подачи. Нарезание колеса заканчивается после нескольких двойных ходов при заглублении резцов на полную глубину зуба.

Зуботочение чашечным резцом (долбляком) проводят на специальных станках. Долбляк при этом методе выполняет роль огибающего резца, который вращается, зацепляется с колесом и перемещается вдоль оси, осуществляя точение зубьев (рис. 12.11). Это наиболее производительный метод зубонарезания. Он обеспечивает 7-ю степень точности нарезаемого колеса, профиль зубьев которого также формируется по методу обката. Зуботочение долбляком по производительности в 3 – 4 раза выше, чем зубофрезерование.

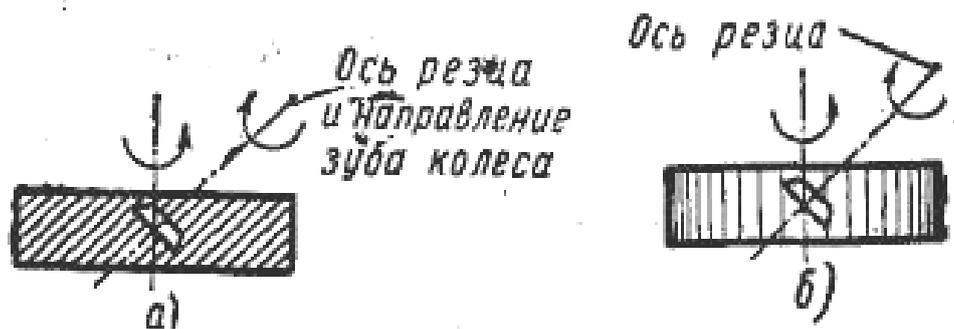


Рис. 12.11. Схемы зуботочения чашечным резцом (долбляком) цилиндрических колес: а – косозубого; б – прямозубого

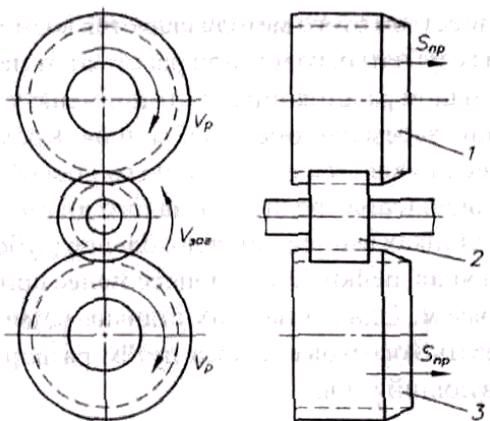


Рис. 12.12. Схема накатывания зубчатого венца: 1, 3 – накатные ролики; 2 – накатываемое колесо

Накатывание зубчатого венца выполняют на специальных установках. Накатывание представляет собой метод получения зубчатого венца без снятия слоя материала. Формирование требуемого профиля зубьев происходит в результате пластического деформирования металла под действием зубонакатного инструмента – накатника (рис. 12.12).

При накатке происходят уплотнение металла и ориентация его волокон

по профилю зуба. В результате повышаются прочностные характеристики зубьев – износостойкость и усталостная прочность. У накатанных зубьев статическая прочность на излом и износостойкость в 1,5...3 раза выше, чем у зубьев, полученных зубофрезерованием.

Различают холодное и горячее накатывание. Холодное накатывание выполняют для зубчатых колес из стали или цветных металлов с малым модулем до $m = 1,5...2$ мм. Материал таких колес должен иметь достаточную пластичность. Заготовки под холодное накатывание должны иметь высокую точность диаметральных размеров, не ниже качества ИТ7. В противном случае при значительных отклонениях диаметральных размеров возможна поломка накатника. При холодном накатывании зубчатого венца модулем до 2 мм достигают 7...8-й степеней точности.

Горячее накатывание применяют для зубчатых колес с модулем $m > 2$ мм. С помощью установки для нагрева токами высокой частоты заготовку за 20...30 с перед накатыванием нагревают до температуры 1000...1200 °С. Затем заготовку устанавливают на оправку, подводят в радиальном направлении два вращающихся накатника и совершают накатывание зубчатого венца. Штучное время накатывания зубьев для колес модулем $m = 2...5$ мм составляет 0,5...2 мин. Горячее накатывание в большинстве случаев считается операцией предварительной, в результате которой достигают 11...12-й степеней точности зубчатого колеса.

Нарезание зубчатых колес внутреннего зацепления осуществляют следующими методами: фрезерованием дисковыми модульными фрезами по методу копирования с использованием специальных приспособлений для ввода фрезы в отверстие и делительной головки для поворота зубчатого колеса на шаг; долблением по методу обката на зубодолбежных станках; протягиванием на вертикальных или горизонтально-протяжных станках.

Долбление зубчатого венца в отверстии возможно в тех случаях, когда диаметр отверстия позволяет завести долбяк в зону резания, расположенную непосредственно в обрабатываемом отверстии.

Протягивание каждой впадины между зубьями можно выполнять поочередно модульной протяжкой. В этом случае для поворота зубчатого колеса на шаг применяют делительную головку. Такую технологию реализуют в мелкосерийном производстве.

В крупносерийном и массовом производстве проводят одновременное протягивание всего зубчатого венца специальными дорогостоящими протяжками. Протягивание позволяет получить отверстия различной геометрической формы, в том числе и отверстия с зубьями эвольвентного профиля для колес внутреннего зацепления. Это наиболее производительный метод нарезания зубчатых колес внутреннего зацепления, однако для его реализации требуется изготовление специальных дорогостоящих профильных протяжек.

Нарезание шевронных зубчатых колёс. Шевронные зубчатые колеса по конструкции можно разделить на два вида:

– колеса с двумя зубчатыми венцами, разделенными канавкой (рис. 12.13, а);

– колеса без канавки с одним зубчатым венцом, на котором встречно располагаются зубья разного углового направления (рис. 12.13, б).

Колеса первого типа нарезают как обычные конические колеса с соблюдением требования расположения точек пересечения осей симметрии смежных зубьев разной направленности в плоскости симметрии. Схема нарезания зубьев такого колеса на зубофрезерном станке приведена на рис. 12.13, а. Наличие канавки, разделяющей два зубчатых венца, обеспечивает возможность беспрепятственного выхода фрезы.

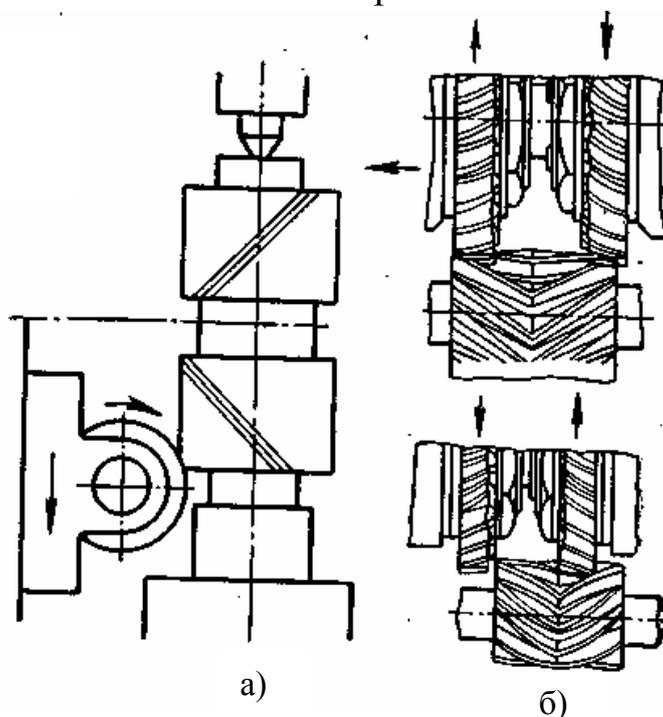


Рис. 12.13. Схемы нарезания шевронных зубчатых колёс: а – фрезерованием; б – строганием

Колеса второго типа нарезают на специальных горизонтальных двухшпиндельных зубодолбежных станках (см. рис. 12.13, б). Долбяки совершают возвратно-поступательное движение вдоль горизонтальной оси. В процессе продольного рабочего хода долбяк поворачивается вокруг оси в соответствии с углом наклона зуба колеса. Когда правый долбяк совершает рабочий ход, левый возвращается в исходное положение на холостом ходу. После этого направление движения меняется и цикл обработки продолжается.

Колеса второго типа могут быть нарезаны также на зубофрезерных станках пальцевыми модульными фрезами с использованием копирного устройства, обеспечивающего требуемое направление зубьев колеса.

12.5. Методы отделки зубчатого венца цилиндрических колёс

С целью повышения геометрической точности зубчатых венцов, предварительно нарезанных рассмотренными выше методами колеса подвергают отделке для достижения 6...7-й и более высокой точности. Для отделки незакаленных зубчатых колес применяют процесс зубошевингования. Отделку закаленных зубчатых колес выполняют зубошлифованием.

Отделка незакаленных зубчатых колес шевингованием

Шевингование зубьев производится круглым шевером на специальных шевинговальных станках (рис. 12.14). Круглый шевер 1 (рис. 12.14, а) находится в зацеплении с обрабатываемым зубчатым колесом 2, закрепленным на оправке, зажатой в центрах на столе 3 и вместе с деталью получающей вращение от шевера. Стол имеет поступательно-возвратное перемещение. По окончании двойного хода стол 3 подается вверх на 0,02...0,04 мм за двойной ход. Припуск под шевингование 0,1...0,2 мм снимается за 5...10 ходов. Режущие кромки на шевере образованы канавками на профиле зуба шевера (рис. 12.14, б).

Шевер и деталь устанавливаются со скрещенными осями (рис. 12.14, в) под углом α , чтобы было скольжение режущих кромок шевера относительно поверхности зуба для снятия стружки (рис. 12.13, г). Время обработки 1,5...2,5 с на один зуб, диаметр шевера 150...170 мм, ширина 19 мм. Нормы точности колес после шевингования следующие:

радиальное биение 0,01...0,02 мм; неравномерность окружного шага 0,015 мм, накопленная ошибка шага 0,04 мм, отклонение по направлению зуба 0,015 мм.

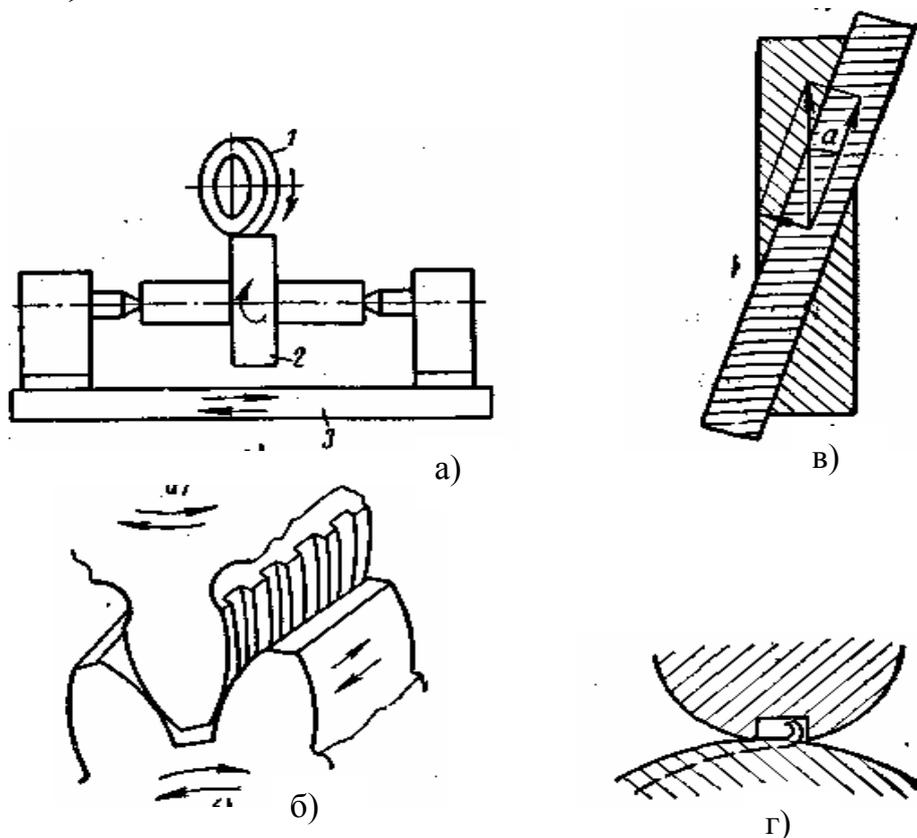


Рис. 12.14. Схемы шевингования: а – схема установки детали на столе при шевинговании шевером; б – направление движения инструмента и заготовки; в – угол скрещивания осей; г – формирование стружки

Перед операцией шевингования зубья должны быть тщательно обработаны червячной фрезой с шлифованными зубьями. Грубо нарезанные зубчатые колеса плохо исправляются шевером.

Отделка закаленных зубчатых колес зубошлифованием

Зубошлифование – это метод отделки зубчатого венца закаленных зубчатых колес с использованием абразивного режущего инструмента. Эту операцию обычно выполняют после термической обработки для изготовления зубчатых колес 6-й, 5-й и более высокой степеней точности, работающих на высоких скоростях.

Зубошлифование считается наиболее надежным методом отделки, обеспечивающим гарантированное достижение высокой точности колес,

практически независимо от погрешности нарезания зубчатого венца на предшествующих переходах.

Зубошлифование применяют также для отделки закаленных зубчатых колес 8-й, 7-й степеней точности, когда деформация зубьев после термической обработки составляет более 0,05 мм и биение делительной окружности превышает 0,1 мм, что нельзя устранить притиркой.

Применяемые на практике зубошлифовальные станки работают по одной из трех рассмотренных ниже схем (рис. 12.15), каждая из которых определяется соответствующим методом формообразования.

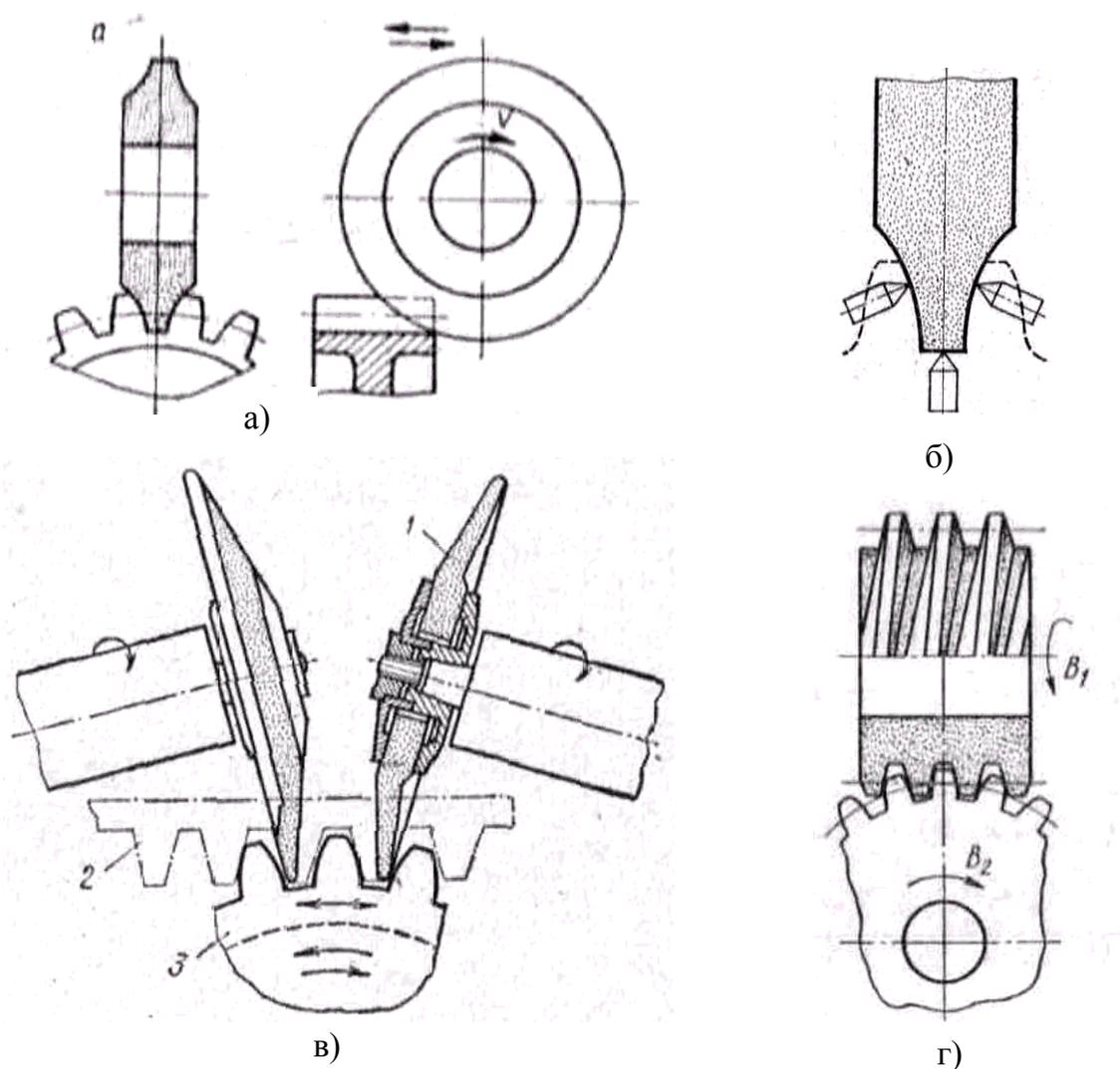


Рис. 12.15. Схемы зубошлифования: а – по методу копирования; б – схема правки круга; в – по методу обката двумя тарельчатыми кругами; г – по методу обката абразивным червяком

Зубошлифование по методу копирования выполняют профильным дисковым шлифовальным кругом, контур которого соответствует

контуру впадины между зубьями (рис. 12.15, а). Профильный шлифовальный круг вращается v_k , а заготовка совершает возвратно-поступательные перемещения продольной подачи s_{np} . При выходе круга из заготовки происходит единичное деление для шлифования другой впадины. Однако с целью усреднения влияния износа круга на точность зубьев колеса поворот при делении выполняют не на один угловой шаг $1/z_3$, а на несколько шагов. Каждую впадину шлифуют за несколько ходов. После чернового шлифования всех впадин происходит автоматическая профильная правка шлифовального круга с помощью алмазных карандашей (рис. 12.15, б). В результате правки восстанавливаются геометрическая точность круга и его режущая способность. В процессе чистового шлифования зубчатое колесо также совершает несколько оборотов.

Припуск на сторону боковой поверхности зуба составляет $z = 0,13 \dots 0,15$ мм для модулей $m < 2$ мм и $z = 0,16 \dots 0,24$ мм для модулей в пределах $m = 2 \dots 7$ мм. Скорость резания $v_k = 25 \dots 30$ м/с. Радиальная подача на проход при предварительном шлифовании $0,05 \dots 0,15$ мм, при чистовом $0,02 \dots 0,03$ мм. Продольная подача стола при предварительном шлифовании $s_{np} = 10 \dots 13$ м/мин, при чистовом $s_{np} = 7 \dots 9$ м/мин. Число проходов при обработке одной впадины $8 \dots 10$.

Этот метод шлифования применяют главным образом для отделки прямозубых зубчатых колес, производительность его выше, чем при обкатке двумя тарельчатыми кругами, однако точность обработки несколько ниже. В результате зубошлифования получают колеса 6-й степени точности – погрешность профиля $2,5$ мкм, погрешность по шагу 5 мкм, биение зубчатого венца 13 мкм.

Зубошлифование методом обкатки выполняют двумя тарельчатыми кругами с прямолинейными боковыми сторонами (рис. 12.15, в). Круги вращаются v_k , а заготовка совершает возвратно-вращательное движение круговой подачи $s_{кр}$. В результате происходит формирование зубьев воображаемой производящей рейки, с которой зацепляется нарезаемое колесо. Заготовка совершает также возвратно-поступательные перемещения продольной подачи s_{np} , а при выходе круга происходит ее поворот с целью единичного деления $1/z_3$ для шлифования других зубьев.

Шлифовальные круги при этом методе располагают под углом $\alpha = 15 \dots 20^\circ$, однако возможно также параллельное расположение кру-

гов при угле $\alpha = 0^\circ$. Режимы резания: скорость $v_k = 25 \dots 35$ м/с, радиальная подача $0,03 \dots 0,1$ мм на двойной ход, продольная подача $s_{np} = 10 \dots 20$ м/мин. Круговую подачу $s_{кр}$ выбирают в соответствии с требованиями шероховатости боковой поверхности зуба – для $R_a = 0,32$ мкм она составляет $s_{кр} = 0,16 \dots 0,4$ мм на ход, а для $R_a = 0,63$ мкм, $s_{кр} = 0,3 \dots 0,9$ мм. Для колес $m \leq 5$ мм припуск на сторону зуба под шлифование $z = 0,18 \dots 0,32$ мм, его снимают за $4 \dots 6$ ходов. При этом глубина шлифования на последнем проходе составляет $0,01$ мм.

В результате шлифования получают колеса 6-й, 5-й и более высокой степеней точности – достигаемая точность профиля 2 мкм, погрешность по шагу 3 мкм, биение зубчатого венца 10 мкм.

Зубошлифование абразивным червяком выполняется на специальных станках и считается наиболее производительным методом отделки зубчатого венца (рис. 12.15, з). Геометрия зубьев формируется по методу обкатки аналогично зубофрезерованию червячной фрезой. Процесс шлифования происходит непрерывно, движения формообразования и деления совмещены во времени. В результате этого производительность обработки в $5 \dots 6$ раз выше способа шлифования двумя кругами.

При модуле $m = 1$ мм зубья колеса вышлифовывают из цилиндрической заготовки без их предварительного нарезания. Абразивный червяк по геометрии может быть цилиндрическим и глобоидным. Абразивный червяк правят резьбовым роликом или специальным устройством для профильной правки. Скорость резания $v_k = 25 \dots 35$ м/с. В результате шлифования получают колеса 6-й, 5-й степеней точности – достигаемая точность профиля $2,5$ мкм, погрешность по шагу 3 мкм, биение зубчатого венца 15 мкм.

О производительности рассмотренных выше способов зубошлифования можно судить по затратам времени на шлифование одного зуба колеса при модуле $m = 2 \dots 3$ мм: при методе копирования $30 \dots 40$ с, при обкатке с единичным делением $70 \dots 90$ с, а при непрерывной обкатке абразивным червяком 16 с.

Хонингование зубьев выполняют на зубохонинговальных станках. В качестве режущего инструмента применяют зубчатый хон, который представляет собой абразивное прямозубое или косозубое колесо на стальной ступице. Зубчатый венец хона имеет тот же модуль, что и обрабатываемое колесо. Его получают из абразивного порошка

с использованием бакелитовой связки. Хонингование применяют для чистовой отделки обычно закаленных цилиндрических зубчатых колес внешнего и внутреннего зацепления, а также для отделки блоков шестерен, когда невозможно использовать зубошлифование.

По кинематике этот процесс близок к шевингованию. Хон находится в беззазорном зацеплении с обрабатываемым колесом и принудительно вращает его с притормаживанием поочередно в левом и правом направлениях. При этом колесо совершает также возвратно-поступательное движение подачи s_{np} вдоль своей оси. В отличие от шевингования отсутствует радиальная подача. При частоте вращения хона $n = 120 \dots 200 \text{ мин}^{-1}$ его окружная скорость составляет $v = 60 \dots 300 \text{ м/мин}$, скорость подачи стола $s_{np} = 120 \dots 210 \text{ мм/мин}$. Под хонингование оставляют припуск не более $0,02 \dots 0,05 \text{ мм}$. Хонингование применяют для колес с модулем $m = 1,5 \dots 6 \text{ мм}$. Время хонингования одного зубчатого колеса составляет порядка $2,5 \dots 6 \text{ мин}$.

В результате хонингования происходит исправление профиля зуба, снижается шероховатость боковых поверхностей зубьев, что повышает долговечность зубчатой передачи.

Зубопритирку выполняют на зубопритирочных станках для чистовой отделки зубчатого венца. Притирка осуществляется одновременной обкаткой зубчатого колеса тремя притирами из серого мелкозернистого чугуна $HB 180 \dots 220$. В качестве притиров используют сопряженные зубчатые колеса одного модуля. Толщина зуба притиров меньше толщины зуба нарезаемого колеса на $0,07$ модуля m , при этом число зубьев притира не должно быть кратным числу зубьев колеса. Допустимая погрешность изготовления притиров составляет: по профилю $\pm 0,005 \text{ мм}$, по шагу $0,01 \text{ мм}$, по биению зубьев $0,015 \text{ мм}$.

Притиры располагают по периметру колеса через 120° , причем два притира имеют скрещивания своих осей с осью заготовки под углом $5 \dots 10^\circ$. Для притирки применяют мелкозернистый абразив в смеси с машинным маслом или абразивные пасты, которые равномерно наносят на поверхность зубьев. Обрабатываемое колесо реверсивно вращается с окружной скоростью $v = 20 \dots 40 \text{ м/мин}$ и совершает возвратно-поступательные движение вдоль своей оси.

В результате наклонного расположения сопрягаемых боковых поверхностей колеса и притиров происходит профилейное скольжение,

которое обеспечивает качественную притирку по всей ширине обеих боковых поверхностей зубьев. Искусственное изнашивание боковых поверхностей зубьев колеса в соответствии с профилем зубьев притира формирует поверхность высокого качества $R_a = 0,16 \dots 0,32$ мкм, что увеличивает плавность работы передачи, снижает шум и повышает долговечность колес. Зубопритирку выполняют после зубошлифования для повышения качества ответственных зубчатых колес.

Максимальный слой материала, удаляемый при притирке, не должен превышать 0,05 мм. Значительные погрешности бокового профиля зубьев притирка не исправляет.

12.6. Контроль зубчатых колес

Точность цилиндрических зубчатых колес контролируют как на операциях технологического процесса, так и по окончании обработки колеса. Перед операцией нарезания зубчатого венца контролируют точность базовых поверхностей – точность базового отверстия, плоскостность базового торца и его перпендикулярность к отверстию (биение торца). Контролируют также соосность базового отверстия с осью наружной цилиндрической поверхности, на которой нарезают зубья колеса (биение цилиндрической поверхности). Точность гладких и шлицевых отверстий контролируют пробками и шлицевым калибром, а биение торца и наружной цилиндрической поверхности – с использованием индикаторного приспособления. Эти параметры контролируют также после термической обработки колеса, перед отделкой шлифованием базовых поверхностей и зубчатого венца.

Для контроля точности зубчатых колес, изготавливаемых в различных производственных условиях, стандартом предусмотрен ряд комплексных и поэлементных показателей, позволяющих для всех видов сопряжения оценить точность колеса по нормам кинематической точности, плавности и контакта зубьев. При выборе схем контроля предпочтение следует отдавать комплексным показателям, ограничивающим суммарную погрешность колеса и передачи [5, 18].

Наиболее полную оценку точности колеса можно получить при контроле его в зацеплении с измерительным колесом (рис. 12.16, а). Такой контроль позволяет комплексно оценить показатели кинематической погрешности колеса, циклическую погрешность, пятно контакта и боковой зазор.

Отклонения окружного шага и накопленную за оборот погрешность окружного шага проверяют на универсальном зубоизмерительном приборе с угловым лимбом (рис. 12.16, б), отклонения окружного шага измеряют также с помощью накладного шагомера (рис. 12.16, в). Толщину зуба контролируют штангензубомером (рис. 12.16, з).

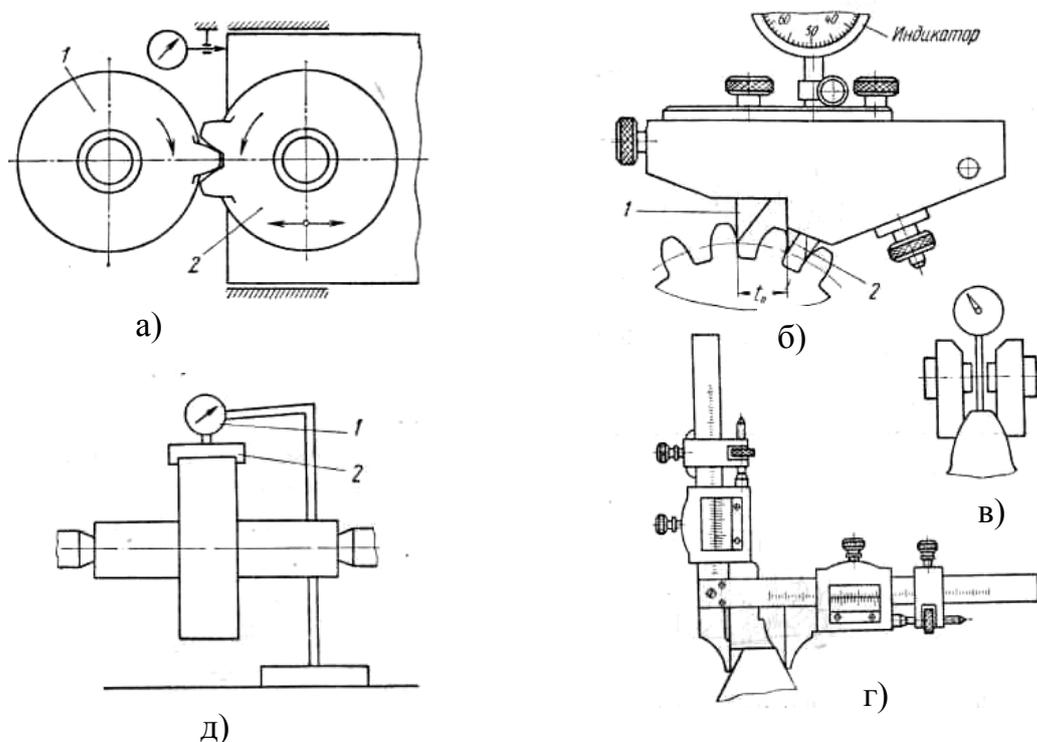


Рис. 12.16. Схемы контроля зубчатых колес

Радиальное биение зубчатого венца проверяют с помощью ролика, устанавливаемого в промежутке между зубьями, и индикатора, фиксирующего положение ролика в радиальном направлении (рис. 12.16, д). Колесо, установленное на оправке по базовому отверстию, периодически поворачивают на $30...45^\circ$ до полного оборота, определяя таким образом смещение делительной окружности колеса Δ относительно оси базового отверстия:

$$\Delta = (I_{max} - I_{min})/2 ,$$

где I_{max} и I_{min} – соответственно наибольшее и наименьшее отклонения показания индикатора.

Для контроля точности профиля зуба применяют эвольвентометры – специальные приборы, фиксирующие с помощью самописца отклонения профиля зуба по его длине.

Относительные размеры суммарного пятна контакта проверяют по краске при зацеплении контролируемого колеса с эталонным колесом согласно методике, изложенной в п. 3.1. Уровень звукового давления при работе колеса в передаче измеряют на контрольно-обкатных стендах при зацеплении с сопрягаемым или эталонным колесом.

Контрольные вопросы

1. Дайте формулировку служебного назначения цилиндрических зубчатых колес.
2. Сформулируйте основные технические требования на изготовление цилиндрических зубчатых колес.
3. Какие факторы определяют выбор степени точности цилиндрических колес?
4. Какие материалы и заготовки применяют для изготовления цилиндрических зубчатых колес?
5. Сформулируйте технологический маршрут изготовления цилиндрического зубчатого колеса.
6. По каким схемам осуществляется базирование заготовки на операции нарезания зубчатого венца?
7. Какими методами нарезают зубья цилиндрических колёс?
8. Объясните сущность метода нарезания зубьев цилиндрического колеса модульной дисковой или пальцевой фрезой.
9. Какую степень точности колеса достигают на операции зубофрезерования червячной фрезой?
10. В каких случаях для нарезания зубчатого венца применяют зубодолбление?
11. Как нарезают зубчатые колеса внутреннего зацепления?
12. Каким методом отделяют зубья незакаленных зубчатых колес?
13. Какие методы применяют для отделки закаленных цилиндрических зубчатых колес?
14. Какую точность достигают на операции зубошлифования цилиндрических колес?
15. Как осуществляется контроль параметров точности цилиндрических зубчатых колес?

ГЛАВА 13. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС

13.1. Служебное назначение и технические требования

Конические зубчатые колеса предназначены для передачи вращательного движения между валами с пересекающимися осями. Их изготавливают с прямыми, косыми и круговыми зубьями. На конические передачи ГОСТ 1758-81 установлено 12 степеней точности. Для 1...3-й степеней точности предельные отклонения и допуски на нормы точности не предусмотрены.

В делительных и кинематических цепях прецизионных станков и станков повышенной точности применяют колеса 5...6-й степеней, в коробках скоростей и подач станков нормальной точности – колеса 7-й степени, а в кинематических цепях более грубых механизмов – колеса 8-й степени точности. Для конических колес, применяемых в силовых цепях, степень точности зависит от окружной скорости (табл. 13.1) и нагрузки.

Таблица 13.1. Выбор степени точности для конических колес

Окружная скорость колес, м/с		Степень точности при нагрузках	
прямозубых	косозубых	малых	больших
Не более 1,6	Не более 4	9-я	8-я
1,6...4	4...10	8-я	7-я
4...10	10...25	7-я	6-я

По конструкции конические колеса в зависимости от их конструктивной формы, схемы базирования в изделии и в процессе обработки можно разделить на три основные группы (рис. 13.1):

– колеса со ступицей, у которых отношение $l/d > 1$ (рис. 13.1, *a*), они базируются обычно с использованием двойной направляющей базы;

– колеса венцового типа с отношением $l/d < 1$ (рис. 13.1, *б*), диаметр которых может достигать 800 мм; они базируются по торцу и отверстию с использованием двойной опорной базы;

– колеса-валы (рис. 13.1, *в*), базирующиеся в центрах с использованием двойной направляющей базы.

Ширина зубчатого венца у конических колес не должна превышать одной трети длины образующей делительного конуса. В этом случае мала вероятность поломки зуба из-за концентрации внутренних напряжений в его узкой части.

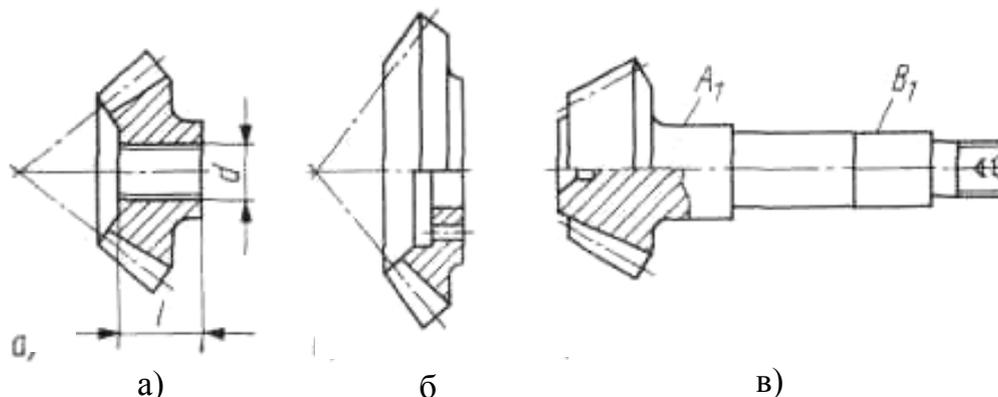


Рис. 13.1. Конструктивное исполнение конических зубчатых колес: а – колеса со ступицей; б – венцовые колеса типа дисков; в – колеса-валы

Каждой степени точности зубчатых колес и передач соответствуют определенные нормы кинематической точности, плавности работы и нормы контакта зубчатых колес. Допускается комбинирование норм различных степеней точности в определенных пределах. Так, нормы плавности не могут быть более чем на две степени точнее или на одну степень ниже норм кинематической точности, а нормы контакта зубьев не могут быть менее точными, чем нормы плавности.

Существуют шесть видов сопряжений зубчатых колес в передаче, которые в порядке убывания гарантированного бокового зазора $j_{n \min}$ обозначаются буквами А, В, С, D, Е, Н.

Между видом сопряжения зубчатых колес и степенью точности на нормы плавности работы передачи имеет место следующая зависимость:

Вид сопряжения	А	В	С	D	Е	Н
Степень точности	4...12	4...11	4...9	4...8	4...7	4...7.

Нормы контакта зубьев в передаче, характеризующиеся относительными размерами суммарного пятна контакта по длине и высоте зуба, для различных степеней точности приведены в табл. 13.2.

Таблица 13.2. Относительные размеры суммарного пятна контакта зубьев

Относительные размеры	Степень точности			
	4...5-я	6...7-я	8...9-я	10...12-я
В процентах к длине зуба	70	60	50	40
В процентах к средней высоте зуба	75	65	55	45

Предельные отклонения относительных размеров пятна контакта по длине и высоте зуба в процентном выражении составляют для 4...7-й степеней точности $\pm 10\%$ и для 8...12-й степеней $\pm 15\%$. Зубчатая передача, имеющая 8-ю степень по кинематической точности, 7-ю степень по нормам плавности, 6-ю по нормам контакта зубьев и вида сопряжения *C* обозначается 8 — 7 — 6 — *C* (ГОСТ 1758-81). С увеличением степени точности конических колес требования к точности обработки базовых отверстий и опорных шеек возрастают. Для колёс 5...6-й степеней точности базовое отверстие обрабатывают по качеству *IT6*, а для колёс 7...9-й степеней — по *IT7*. Точность угла наружного конуса для колес различного модуля составляет:

Модуль колеса, мм	0,75 и менее	0,75...1,5	1,5 и более
Допуск угла наружного конуса, '	30	15	8

При использовании наружного конуса в качестве базирующей поверхности допуск угла ужесточают [16]. Конические зубчатые колеса с круговыми зубьями обеспечивают плавную и бесшумную работу при передаче больших нагрузок на высоких окружных скоростях. В отечественной практике применяют в основном колеса с круговыми зубьями трех типов.

1. У колес типа «Зерол» (нулевые) угол наклона спирали в середине венца равен нулю (рис. 13.2, *а*). Их можно применять вместо конических колес с прямыми зубьями, не изменяя монтажных размеров передачи, чем достигаются большие плавность и бесшумность работы на повышенных скоростях.

2. У спирально-конических колес угол спирали в середине венца не равен нулю (рис. 13.2, *б*). Обеспечивая непрерывный контакт зацепления, такие колеса всегда имеют в зацеплении не менее двух зубь-

ев, что позволяет передавать мощность на 30 % выше мощности, передаваемой колесом «Зерол». Такие колеса широко применяют в авиации, станкостроении и автотракторной промышленности.

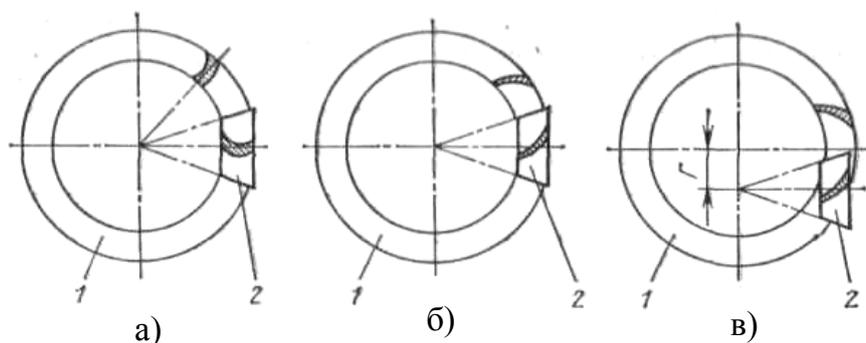


Рис. 13.2. Конические колеса с круговыми зубьями: а – типа Зерол (нулевые); б – спирально-конические; в – гипоидные колеса

3. У гипоидных колес ось ведущей шестерни смещена относительно оси ведомого колеса (рис. 13.2, в). Они обладают большей прочностью и позволяют получить бóльшую плавность и бесшумность работы, чем другие колеса. Гипоидные зубчатые передачи широко применяют в автомобилестроении. Гипоидные пары с большим передаточным отношением (1: 100) используют в делительных цепях зуборезных станков и других механизмах, обеспечивающих точную установку узлов.

13.2. Технология изготовления конических зубчатых колёс

Конические зубчатые колеса изготавливают из углеродистых сталей: закаливаемых – Ст. 40, Ст. 45 и цементуемых – Ст. 15, Ст. 20 или легированных закаливаемых – 40Х и цементуемых – 20Х, хромоникелевых 18ХГТ, 20ХНМ. Заготовки в зависимости от программы выпуска получают в виде круглого проката, который разрезают поштучно на разрезных станках, штамповкой или свободной ковкой. В массовом и крупносерийном производстве штампованные заготовки для колес с модулем $m > 3$ мм выполняют с зубьями (конические шестерни полуосей автомобилей, шестерни-сателлиты). В этом случае на чистовое зубонарезание оставляют припуск 0,4...0,8 мм на сторону зуба. Используют также заготовки с горячей накаткой зубьев прямой и спиральной форм, для которых не требуется черновое зубонарезание. Зу-

бья, полученные накаткой, для передач относительно невысокой точности (9...8-я степени) последующей механической обработке не подвергаются.

Содержание технологического процесса изготовления конических колес показывают приведенные в табл. 13.3 и 13.4 технологические маршруты обработки конического колеса со ступицей и колеса вала. Заготовки колес типа 1 обрабатывают при токарных операциях на оправке, базируя по отверстию и торцу; заготовки колес типа 2 обрабатывают, базируя по торцу и отверстию; заготовки колес типа 3 обрабатывают, базируя в центрах или по опорным шейкам А и Б.

Таблица 13.3. Технологический маршрут обработки конических колес со ступицей и шлицевым отверстием 8-й степени точности (штучная заготовка – штамповка)

Номер операции	Содержание операции	Технологические базы
1	Сверление и растачивание отверстия, подрезка торца	Коническая поверхность заготовки
2	Протягивание отверстия и шлицев	Поверхность отверстия и торца
3	Предварительное обтачивание наружных поверхностей заготовки (на оправке по копиру)	То же
4	Чистовое обтачивание на оправке конических и других поверхностей	—//—
5	Предварительное нарезание зубьев	—//—
6	Чистовое нарезание зубьев на зубо-строгальном или зубофрезерном станке двумя фрезами методом обкатки	—//—
7	Термическая обработка – закалка	—
8	Шлифование внутреннего отверстия и торца	Боковые поверхности трех впадин зубьев
9	Шлифование зубчатого венца	Поверхность отверстия и торца
10	Промывка детали	—
11	Контроль, подбор зубчатых пар на стенде для обкатки	—

Таблица 13.4. Технологический маршрут обработки конического колеса-вала 5–6-й степеней точности, $m = 4$, заготовка – штамповка, диаметр 140 мм, материал сталь I2XH4A

Номер операции	Содержание операции	Эскиз обработки, базирование	Оборудование
1	Изготовление заготовки		
2	Фрезерование торцов и зацентровка		Фрезерно-центровальный станок
3	Предварительная токарная обработка по копиру с одной стороны		Токарный гидроконтрольный полуавтомат
4	Предварительная токарная обработка по контуру с другой стороны		Револьверный полуавтомат
5	Термообработка		Термический цех
6	Чистовая токарная обработка с одной стороны (по аналогии с операцией № 3)	См. эскиз к опер. № 3	Токарный гидроконтрольный полуавтомат
7	Предварительное шлифование базовой шейки и торца для создания технологической базы для последующей обработки зубчатого венца (шлифование в центрах с допустимым биением по торцу 0,01 мм, по шейке 0,007 мм)		Круглошлифовальный станок
8	Чистовая токарная обработка конусных и других поверхностей под зубчатый венец	См. эскиз к опер. № 4	Револьверный станок повышенной точности

Окончание табл. 13.4

Номер операции	Содержание операции	Эскиз обработки, базирование	Оборудование
9	Искусственное старение	–	Термический цех
10	Чистовое шлифование базовых шеек и торца, допустимое биение торца и шеек – не более 0,003...0,005 мм, $Ra = 1,25$ мкм		Круглошлифовальный станок повышенной точности
11	Шлифование конусных, цилиндрических и торцовых поверхностей зубчатого венца; допустимое биение по конусным и цилиндрическим поверхностям – не более 0,01 мм, по торцу – не более 0,02 мм, $Ra = 1,25$ мкм		То же
12	Предварительное шлифование зубьев, на окончательное шлифование остается 1/3 общего припуска под шлифование		Зубошлифовальный станок повышенной точности
13	Окончательное шлифование зубьев колеса, $Ra = 1,25$ мкм		То же
14	Промывка детали	–	Моечная машина
15	Окончательный контроль, проверка микротрещин на дефектоскопе, подбор зубчатых колес в пары по пятну контакта		Контрольно-обкатной станок

В качестве технологических и измерительных баз при нарезании и контроле зубчатого колеса необходимо выбирать основные базисурующие поверхности колеса, которые определяют его положение в узле. В отдельных случаях, когда в целях достижения большей устойчивости при зубонарезании роль технологических баз выполняют другие поверхности, например торец, противоположащий зубчатому венцу, следует обеспечить точное и концентричное расположение их относительно основных баз детали.

При необходимости изготовления колеса со ступицей более высокой точности, например 5...6-й степеней, в технологический маршрут (см. табл. 13.4) включают дополнительные операции. На этапе чистовой обработки вводят калибровку шлицевого отверстия. После термической обработки добавляют тонкое шлифование базовых поверхностей. Окончательная обработка зубьев достигается путем чистового и отделочного шлифования профилей зубьев с обеспечением 5...6-й степеней точности.

В процессе изготовления конического колеса-вала (см. табл.13.4) требуемая длина вала получается в результате фрезерования обоих торцов на второй операции, размерная цепь

$$A_{\Delta} = A_1 + A_2,$$

где A_1 и A_2 – расстояния, получаемые от торцов вала до опорной технологической базы.

Равномерность припуска при нарезании зубьев на операции № 10 зависит от точности положения наружного конуса относительно опорной шейки, выполняющей роль технологической базы. Это достигается в результате токарной обработки на операции № 8, где E_{Δ} – расстояние от вершины конуса до базового торца; K_{Δ} – смещение оси конуса относительно оси опорной шейки; λ_{Δ} – параллельность оси конуса относительно оси опорной шейки.

Требуемая перпендикулярность γ_{Δ} базового торца к оси опорной шейки обеспечивается на операции № 15:

$$\gamma_{\Delta} = \gamma_2 - \gamma_1,$$

где γ_1 – параллельность оси опорной шейки относительно линии центров; γ_2 – поворот торца относительно линии центров.

Точность положения наружного конуса зависит от смещения Γ_{Δ} и параллельности β_{Δ} его оси относительно оси опорной шейки в двух координатных плоскостях

$$\Gamma_{\Delta} = \Gamma_1 + \Gamma_2; \quad \beta_{\Delta} = \beta_1 + \beta_2,$$

где Γ_1 и Γ_2 – смещения оси опорной шейки и оси наружного конуса относительно линии центров, получаемые после операций № 15 и 16; β_1, β_2 – параллельность оси опорной шейки и оси наружного конуса относительно линии центров, полученная в результате шлифования на операциях № 15 и 16.

Биение зубчатого венца конического колеса-вала зависит от смещения V_{Δ} и параллельности α_{Δ} оси делительного конуса относительно оси опорной шейки в двух координатных плоскостях. Из технологического маршрута, приведенного в табл. 13.4, следует, что требуемая точность положения зубчатого венца относительно опорной шейки достигается постепенно в результате уточнений, получаемых при выполнении ряда операций.

На эскизах к операциям № 10, 11, 12, 17, 18 (см. табл. 13.4) размеры $V_1, V_2, V_3, V_4, V_{\Delta}$ определяют смещение, а $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_{\Delta}$ – поворот оси делительного конуса относительно оси опорной шейки, получаемые на различных этапах технологического процесса.

13.3. Методы нарезания и отделки конических зубчатых колёс

Конические зубчатые колеса с прямыми, тангенциальными и криволинейными зубьями могут быть нарезаны различными методами.

Фрезерование дисковыми и пальцевыми модульными фрезами по методу копирования производят на специальных или универсально-фрезерных станках. У конических колес расстояние между боковыми поверхностями двух зубьев в начале и конце зуба различно, оно меняется по длине зуба. Поэтому получить точный профиль зуба методом копирования не представляется возможным. Однако этот метод применяют на универсально-фрезерных и специальных станках-полуавтоматах для повышения производительности предварительного нарезания зубьев, что позволяет разгрузить точные зуборезные станки.

Дисковые фрезы (рис. 13.3) используют для предварительного нарезания прямозубых колес в условиях крупносерийного производ-

ства и для чистового нарезания небольших колес невысокой точности в единичном производстве. Подбирают необходимую дисковую модульную фрезу из стандартного ряда фрез, применяемых для нарезания обычных цилиндрических колес, по приведенному числу зубьев z_1 и расчетному модулю m_{cp} [16]:

$$z_1 = z / \cos\varphi; \quad m_{cp} = m (1 - 0,5b/L),$$

где z – число зубьев нарезаемого колеса; φ – угол делительного конуса; m – внешний модуль зубьев нарезаемых колес; b – ширина зубчатого венца; L – среднее конусное расстояние.

На рис. 13.3 показана схема одновременного нарезания набором фрез трех зубчатых колес. После прорезания каждой впадины все три колеса автоматически поворачиваются вокруг своей оси на шаг. Этот процесс продолжается до нарезания всего венца, после чего приспособление поворачивается на 180° и на позицию обработки поступают три новые заготовки. Одновременное нарезание в поворотном приспособлении трех конических колес фрезами, установленными на одной оправке, позволяет получить высокую производительность обработки за счет совмещения во времени основных и вспомогательных переходов. Применение поворотного приспособления позволяет выполнять съем и установку новых заготовок в процессе обработки на другой позиции трех других заготовок.

Пальцевые фрезы применяют для нарезания крупных зубчатых колес (диаметр 3...5 мм, $m \leq 50$ мм) невысокой точности с прямыми и криволинейными зубьями. Фрезерование дисковыми или пальцевыми модульными фрезами позволяет получить 9...10-ю степени точности и параметр шероховатости боковой поверхности зубьев $Ra = 10...5$ мкм.

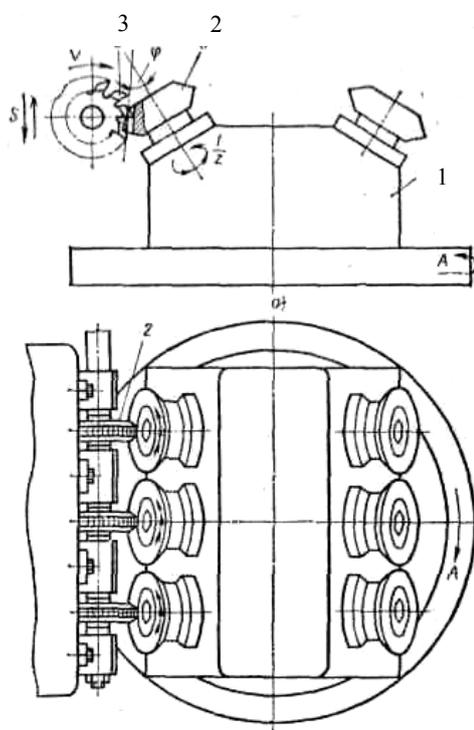


Рис. 13.3. Схема нарезания группы конических колес набором фрез: 1 – многоместное поворотное приспособление; 2 – нарезаемое колесо; 3 – дисковая фреза

При отсутствии специальных зуборезных станков конические колеса 9...10-й степеней точности можно окончательно нарезать на универсально-фрезерных станках дисковыми или пальцевыми модульными фрезами аналогично нарезанию цилиндрических колёс за три прохода, между которыми выполняют коррекцию положения заготовки относительно фрезы. Заготовку закрепляют на шпиндель делительной головки и первым проходом прорезают впадину, соответствующую наименьшему расстоянию между зубьями. Это проделывают для всех зубьев. Перед выполнением второго и третьего проходов стол делительной головки поворачивают на угол α между образующей боковой поверхностью и осью зуба колеса. После этого поочередно фрезеруют одну, а затем и вторую боковые поверхности смежных зубьев.

Строгание двумя резцами по методу обката применяют для нарезания конических колес (диаметром 50...1000 мм, $t \leq 20$ мм) с прямыми и косыми зубьями. Зубья нарезают на специальных зубострогальных станках в условиях серийного производства. Режущие кромки строгальных резцов образуют зуб производящего колеса, по которому обкатывается нарезаемая заготовка.

Заготовка нарезаемого конического колеса, зацепляясь с воображаемым производящим колесом, совершает вращение обкатки s_3 и движение подачи s_t на глубину впадины между зубьями. Зубострогальные резцы установлены на люльке, которая при обкатке также совершает возвратно-вращательное движение s_n . Возвратно-вращательные движения люльки с резцами s_n и заготовки s_3 формируют движения обкатки. Они согласуются настройкой кинематической цепи станка в соответствии с передаточным отношением

$$i = z_n / z_3 ,$$

где z_n – фиктивное число зубьев воображаемого производящего колеса; z_3 – число зубьев нарезаемого колеса.

После нарезания одного зуба заготовка автоматически отводится от резцов и шпиндельная бабка с заготовкой поворачивается на шаг $1/z_3$, выполняя таким образом требуемое угловое деление.

Скорость резания при предварительном зубострогании $v = 13 \dots 25$ м/мин, при чистовом $v = 15 \dots 32$ м/мин, подача $s_t = 0,15 \dots 0,3$ мм/дв.ход. Зубострогание двумя резцами обеспечивает 7...8-ю степени точности и

шероховатость боковых поверхностей зубьев $R_a = 1,2...2,5$ мкм. Колеса с $m > 3,5$ мм нарезают за несколько рабочих ходов.

Для колес с $m < 5$ мм предварительное нарезание зубьев целесообразно проводить путем фрезерования дисковыми фрезами, а окончательное – строганием. Это позволяет в 1,5...2,5 раза сократить машинное время и сохранить точность зубострогальных станков.

Прямые зубья конических колес могут быть нарезаны также строганием одним или двумя резцами по копиру на зубострогальных станках. Этот метод обработки применяют для нарезания колес большого диаметра (2000...4500 мм) с $m \leq 30$ мм. Крупномодульные колеса нарезают за четыре – пять рабочих ходов. В результате достигаются 8...9-я степени точности, параметры шероховатости поверхности зубьев $R_a = 5...2,5$ мкм. Такие станки применяют в тяжелом машиностроении в условиях единичного и мелкосерийного производства. Они позволяют нарезать зубья любого профиля, который определяется формой сменного копира.

Фрезерование двумя дисковыми сборными фрезами по методу обката (рис. 13.4) производят на специальных зубофрезерных станках в условиях крупносерийного производства. В отличие от предыдущего метода зуб производящего плоского конического колеса создается двумя вращающимися дисковыми фрезами большого диаметра ($D_{\phi} = 275$ мм). Вращение двух модульных фрез создает движение резания v , а возвратно-вращательные движения люльки с фрезами $s_{\text{л}}$ и заготовки $s_{\text{з}}$ создают движения обката. Заготовка при нарезании не меняет направления вращения. По окончании обкатки каретка с заготовкой отводится, а люлька поворачивается в обратном направлении, за период которого происходит поворот заготовки на требуемый угол деления $1/z_3$. По производительности этот процесс в 3...5 раз выше зубострогания, достигается 8-я сте-

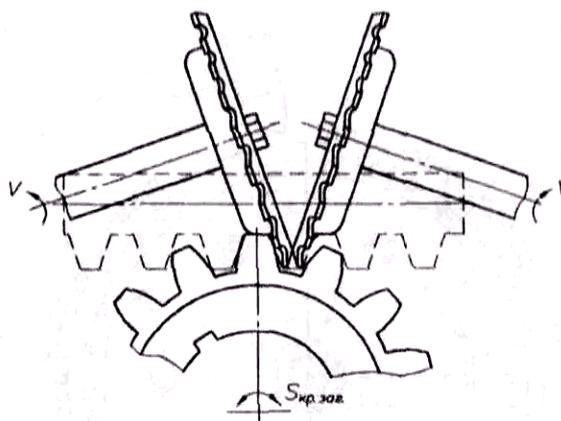


Рис. 13.4. Схема нарезания зубьев конического колеса двумя дисковыми сборными фрезами по методу обката

пень точности. Дно впадины зуба у этих колес имеет вогнутую форму.

Таким методом нарезают прямозубые и конические колеса (диаметром до 320 мм, $m < 8$ мм) с прямым и бочкообразным профилем зуба в продольном сечении. Колеса, полученные этим методом, взаимозаменяемы с колесами, нарезанными на зубострогальных станках.

Нарезание зубьев круговой протяжкой – наиболее производительный метод изготовления прямозубых конических колес небольшого диаметра (рис. 13.5). При этом методе за один оборот протяжки, диаметр которой более 600 мм, проводят черновое и чистовое прорезание впадины, а также снятие фасок с кромок зубьев.

Круговая протяжка является специальным зуборезным инструментом. Она состоит из группы сменных зубчатых блоков, образующих сектор предварительного нарезания, и группы блоков, образующих сектор чистового нарезания. В промежутке между секторами устанавливают фасочные резцы. Требуемая геометрия канавки между зубьями формируется по методу копирования на неподвижной заготовке при кинематически связанном вращении v и возвратно-поступательном перемещении s круговой протяжки.

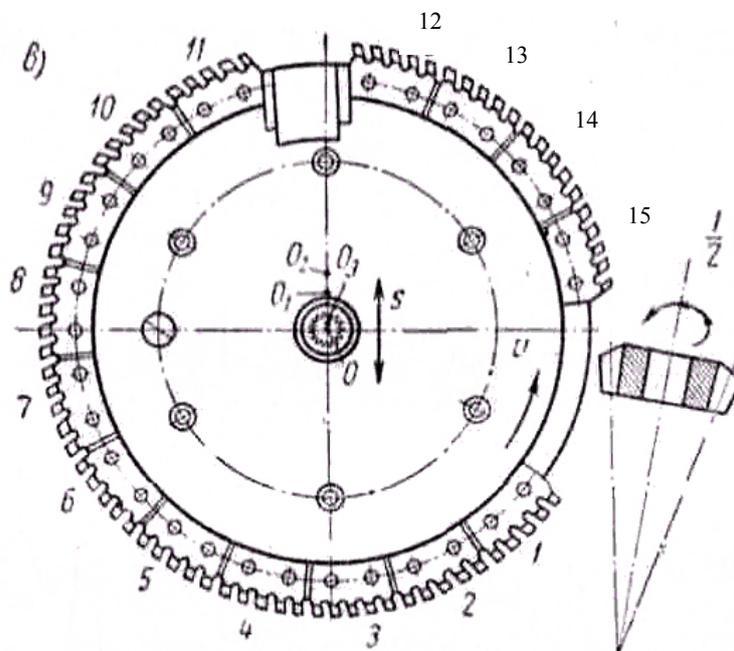


Рис. 13.5. Протягивание зубьев круговой протяжкой

При врезании протяжки и поступательном перемещении от точки O до O_1 нарезание осуществляют первые четыре блока (1 – 4).

Следующие пять блоков (5 – 9) выполняют резание при отсутствии поступательного движения подачи $s = 0$. Затем подача возобновляется и при поступательном перемещении оси протяжки от точки O_1 до O_2 нарезание выполняют полустовые блоки (10 – 11) и фасочные резцы. При обратном перемещении протяжки с равномерной подачей от точки O_2 до O_3 происходит окончательное формирование бокового профиля канавки чистовыми зубчатыми блоками (12 – 15). В конце цикла протяжка перемещается от точки O_3 до O и возвращается в исходное положение. Делительный поворот колеса на один зуб $1/z_3$ происходит в исходном положении протяжки на том секторе, где нет резцов.

При прохождении над заготовкой свободного углового сектора, равного 40° , происходит автоматический поворот заготовки на угловой шаг. Затем аналогично в автоматическом цикле на заготовке нарежется следующая впадина и так далее до полного нарезания зубчатого венца. Скорость резания при круговом протягивании $v = 25 \dots 58$ м/мин, оно обеспечивает 9-ю степень точности и шероховатость зубьев $R_a = 2,5 \dots 5$ мкм. Получаемый при этом профиль зуба колеса может иметь как прямую, так и бочкообразную форму.

Таким методом нарезают конические колеса в массовом производстве на специальных автоматах и полуавтоматах. Такие автоматы имеют пневматические блокировочные устройства для контроля точности установки заготовки и устройства для создания гарантированного натяга в кинематической цепи.

Фрезерование торцевыми резцовыми головками применяют для нарезания конических колес с криволинейными зубьями на специальных станках по методу копирования (врезания) или обката. Конические колеса относительно высокой точности с $m \leq 2,5$ мм нарезают за один рабочий ход. При повышенных требованиях к точности и для колес с $m > 2,5$ мм применяют черновую и чистовую обработки. При методе копирования заготовка колеса остается неподвижной, а резцовая головка вращается, перемещается вдоль оси и прорезает впадину зуба. При методе обката (рис. 13.6) заготовка нарезаемой шестерни 1 (рис. 13.6, а) и люлька 2 с резцовой головкой 3 совершают согласованное вращение. В процессе вращения режущие кромки резцов по-

следовательно занимают определенные положения, создавая круговые зубья воображаемого плоского колеса 4, с которым находится в зацеплении заготовка шестерни.

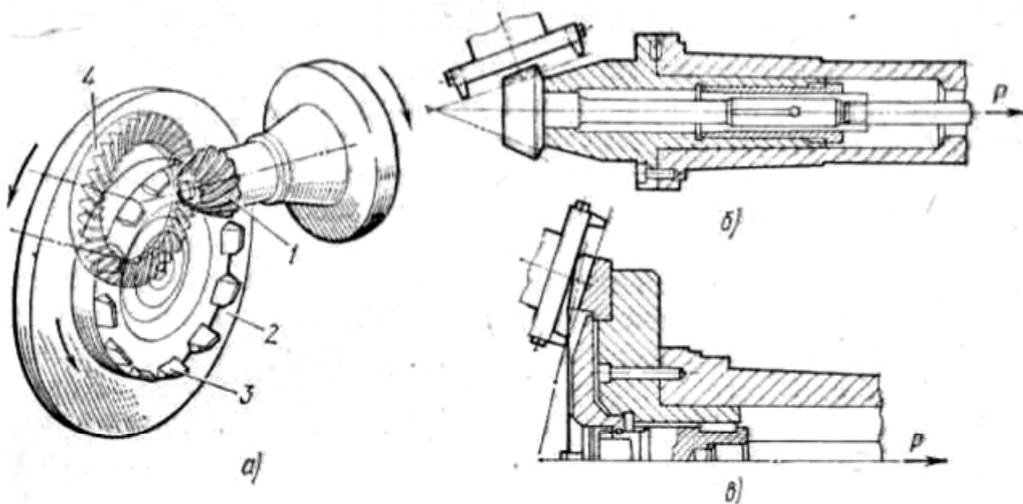


Рис. 13.6. Нарезание конических колес с круговыми зубьями резцовой головкой по методу обката: а – схема нарезания; б – нарезание колеса-вала; в – нарезание плоского венцового колеса

При черновой обработке метод копирования применяют главным образом для нарезания зубьев колеса, а метод обката – для чернового нарезания зубьев шестерни. Припуск на сторону зуба, оставляемый для чистового нарезания, составляет 0,25 ... 0,5 мм.

По способу чистового нарезания конические передачи с криволинейным зубом разделяют на обкатные и полуобкатные. В первом случае зубья колеса и шестерни нарезают по методу обката, при этом боковой профиль зубьев получается криволинейным. Во втором случае колесо нарезают по методу копирования, получая прямобоочный профиль зуба, а шестерню нарезают методом обката, создавая криволинейный профиль зуба. Время чистового нарезания колеса методом копирования в 3...5 раз меньше, чем время нарезания методом обката, а качество передач практически одинаковое. В этом заключается преимущество полуобкатных передач. При чистовом зубонарезании обе стороны зубьев колеса и шестерни могут обрабатываться резцовой головкой одновременно или каждая сторона зубьев отдельно. В последнем случае для обработки каждой стороны зуба требуется раздельная наладка станка.

В крупносерийном и массовом производстве отделку конических колес выполняют по следующей технологической схеме. После зубонарезания проводят обкатку колес под нагрузкой (нагартовку), затем закалку и окончательно притирку зубьев. Обкат осуществляют на обкатных станках при беззазорном зацеплении заготовки в паре с закаленным колесом, в зону контакта подается машинное масло. Обкат обеспечивает упрочнение поверхностного слоя, уменьшение шероховатости боковых поверхностей зубьев и улучшение геометрии зацепления. После термической обработки производят подбор пар зубчатых колес по суммарному пятну контакта и шуму, а затем притирку колес. Конические колеса в подобранной паре притирают на притирочных станках. В процессе притирки колеса одновременно вращаются со скоростью 0,17...0,2 м/с и шестерня совершает малые относительные движения по касательной к делительному конусу ведущего колеса, а также в радиальном и осевом направлениях. На притирочных станках для колес с круговым зубом помимо этих относительных перемещений ось шестерни поворачивается вокруг точки, расположенной в середине длины зуба. Притирка уменьшает шероховатость поверхности зубьев, улучшает форму суммарного пятна контакта и геометрию зацепления. Все это способствует уменьшению уровня шума передачи на 4...6 дБ.

Отделку зубьев закаленных конических колес с прямым и круговым зубом осуществляют шлифованием на специальных зубошлифовальных станках по методу обкатки. Это позволяет повысить степень точности колеса и уменьшить шероховатость боковых поверхностей зубьев.

Шлифование круговых зубьев конических колес выполняют чашечным кругом с единичным делением на шаг. Схема обработки аналогична нарезанию круговых зубьев торцевой резцовой головкой.

Шлифование колес с $m \leq 6$ мм и диаметральными размерами до 230 мм позволяет обеспечить отклонение шага не более 5...12 мкм, накопленную погрешность шага по зубчатому колесу не более 12...18 мкм, биение зубчатого венца не более 15...20 мкм. В зависимости от конструкции станка при шлифовании прямозубых конических колес возможна обработка одним кругом отдельно каждой стороны зуба или

двумя кругами одновременно двух боковых поверхностей зуба. В последнем случае достигают более высокой производительности обработки. Эту операцию можно выполнять на зубошлифовальных станках 5870, 5870М, а также на некоторых зарубежных станках. Шлифование выполняют дисковыми или тарельчатыми кругами диаметром 150...270 мм. Для шлифования зубьев прямозубых конических колес применяют также специальное зубошлифовальное устройство, которое устанавливается на зубострогальные станки, например 526. При этом требуемая точность достигается методом обката, когда зубья плоского производящего колеса создаются кромками шлифовальных кругов. Оставляемый на шлифование припуск 0,05...0,10 мм на сторону зуба снимают за 3...4 рабочих хода. Для шлифования конических колес с криволинейной формой зуба, $m = 2,5 \dots 15$ мм применяют, например, специальные зубошлифовальные станки 5871, 5872. По кинематической структуре эти станки аналогичны станкам для нарезания круговых зубьев. Однако привод инструмента имеет большую частоту вращения, так как шлифование выполняют специально спрофилированными чашечными кругами со скоростью резания, в несколько десятков раз большей скорости резцовых головок. Номинальный диаметр шлифовального круга равен диаметру резцовой головки.

При одностороннем шлифовании зубьев, применяемом в мелкосерийном производстве, шестерни и колеса обрабатывают одинаковыми кругами. Перед обработкой партии шестерен на пробной шестерне по краске подгоняют форму контакта с сопрягаемым колесом по вогнутой, а затем и выпуклой стороне зуба. Форма пятна контакта подгоняется так же, как и в случае нарезания зубьев резцовой головкой путем изменения угла установки эксцентрикового барабана люльки и передаточного отношения гитары обката. Одновременным шлифованием обеих сторон зубьев (метод постоянных установок) достигается более высокая производительность. Оно применяется в крупносерийном производстве. Зубошлифование конических колес с криволинейным зубом обеспечивает достижение 4...5-й степеней точности.

Контролируют конические зубчатые колеса в большинстве случаев на тех же приборах, что и цилиндрические. Отклонения окружного шага и накопленную погрешность окружного шага проверяют на

универсальном зубоизмерительном приборе с угловым лимбом, отклонения окружного шага измеряют также с помощью шагомера. Радиальное биение зубчатого венца проверяют с помощью конического ролика и индикатора на приборе для конических и цилиндрических колес. Толщину зуба контролируют штангензубомером. Колебания измерительного межосевого угла и бокового зазора в передаче контролируют в двухпрофильном зацеплении с эталонным колесом на приборе для комплексной двухпрофильной проверки или на контрольно-обкатном станке.

Осевое смещение зубчатого венца, отклонения относительных размеров суммарного пятна контакта и уровень звукового давления также проверяют на контрольно-обкатных станках.

Контрольные вопросы

1. Дайте формулировку служебного назначения конических зубчатых колес.
2. Сформулируйте основные технические требования на изготовление конических зубчатых колес.
3. От чего зависит выбор степени точности конического колеса?
4. Какие заготовки применяют для изготовления конических зубчатых колес?
5. Определите технологический маршрут обработки конического зубчатого колеса.
6. Какими методами нарезают зубчатый венец конических колёс?
7. Расскажите о сущности операции зубострогания зубчатого венца.
8. Какую степень точности достигают на операции зубострогания?
9. Расскажите о сущности операции зубопротягивания.
10. Какую степень точности достигают на операции зубопротягивания?
11. Как нарезают конические зубчатые колеса с круговым зубом?
12. Какие методы применяют для отделки закаленных конических зубчатых колес?
13. Какую точность достигают на операции зубошлифования конических колес?
14. Как осуществляется контроль параметров точности конических колес?

ГЛАВА 14. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ

14.1. Служебное назначение и технические требования

По служебному назначению червячные передачи разделяют на кинематические и силовые. Кинематические передачи используют в различных механизмах, делительных цепях зуборезных и других металлорежущих станках для достижения высокой точности относительного поворота. В кинематических передачах высокой точности в отличие от силовых в ряде случаев предусматривается регулирование точности относительного положения червяка и колеса. Силовые червячные передачи применяют в разнообразных редукторах, коробках скоростей и механизмах для передачи крутящего момента при большом передаточном отношении.

В ГОСТ 3675-81 предусмотрено 12 степеней точности червячных передач, номера которых возрастают с уменьшением точности: 1, 2, 3, ..., 11 и 12. Однако нормы точности приведены для 3...9-й степеней точности. Кинематические передачи соответствуют 3...6-й, а силовые червячные передачи 5...9-й степеням точности. Для соответствующей степени точности установлены нормы точности на червяки, червячные колеса и сборку передачи. Степень точности силовых червячных передач выбирают в зависимости от окружной скорости червяка:

Окружная скорость червяка, м/с	3 ... 7,5	1,5 ... 3	до 1,5
Степень точности	7	8	9

Каждой степени точности соответствуют нормы кинематической точности, плавности работы и нормы контакта зубьев и витков.

Степень точности передачи или пары определяют по одному из элементов – червяку, колесу или корпусу, у которого имеют место наиболее низкие показатели точности. Возможно комбинированное сочетание разных степеней на нормы кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев и витков.

Согласно ГОСТ 3675-81 установлено шесть видов сопряжения червяка с червячным колесом *A, B, C, D, E, H* и восемь видов допуска T_{jn} на боковой зазор *x, y, z, a, b, c, d, h*. Эти обозначения приведены в

порядке убывания бокового зазора и допуска на него. Так, для сопряжения вида *H* гарантированный боковой зазор $j_{n \min} = 0$, а для сопряжения *A* имеет место расширенный боковой зазор. Между видами сопряжения червяка и червячного колеса и степенью точности по нормам плавности передачи имеется следующее рекомендуемое соответствие:

Вид сопряжения	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>H</i>
Степень точности по нормам плавности работы	5...12	5...12	3...9	3...8	2...6	2...6

Червячная передача, имеющая различные степени точности по всем трем нормам, имеет следующее условное обозначение:

$$8 - 7 - 6 \text{ Ba ГОСТ 3675-81,}$$

где 8 – степень точности по нормам кинематической точности; 7 – степень точности по нормам плавности; 6 – степень точности по нормам контакта зубьев; *B* – вид сопряжения; *a* – вид допуска на боковой зазор.

14.2. Материал и методы получения заготовок

Для уменьшения трения, снижения износа и предотвращения заклинивания червячной пары материал рабочей поверхности витков червяка и зубьев червячного колеса должен обладать хорошими антифрикционными свойствами. Рабочая поверхность должна иметь высокую твердость и малую шероховатость.

Червяки быстроходных высоконагруженных передач изготавливают из качественных углеродистых сталей 40, 45 или легированных сталей 40X, 40XH и др. В этом случае поверхность под закалку нагревают с помощью ТВЧ или в печах, обеспечивая твердость рабочих поверхностей, 48 ... 57 HRCэ. Хорошие результаты получают при использовании цементируемых сталей 15X, 15XA, 20X, 20XHBA, 20XB, содержащих 0,15...0,20 % углерода.

Червяки менее ответственных передач, для которых достаточна твердость 270 HB, изготавливают из нормализованных или улучшенных сталей.

Глобоидные червяки делают из сталей 35ХМА, 33ХГН. Для производства червячных колес в ответственных передачах с большими скоростями скольжения ($v > 5$ м/с) применяют бронзы БрОБ 10-1, БрОНФ (оловянистая бронза). При меньших скоростях скольжения используют бронзу БрАЖ9-4 (железистая бронза), имеющую лучшие механические свойства и худшие антифрикционные. Червячные колеса для передач с малыми скоростями ($v < 2$ м/с), к габаритам и КПД которых не предъявляют высоких требований, изготавливают из серых чугунов СЧ 15, СЧ 21.

По конструкции червяки разделяют на червяки-валы, нашедшие наибольшее распространение, и насадные червяки-втулки. Заготовки для червяков-валов выбирают так же, как и для ступенчатых валов. В крупносерийном и массовом производстве применяют заготовки, получаемые штамповкой, а в мелкосерийном и единичном – штучные заготовки, отрезанные от горячекатаного прутка. Червячные колеса по конструкции бывают цельными и составными; у последних ступицу получают из чугуна или стали, а венец – из бронзы.

В качестве заготовок для червячных колес используют отливки и круглый прокат. При крупносерийном производстве применяют более точные методы получения отливок – литье под давлением, литье в кокиль или в корковые формы. Применяют также точные отливки, получаемые по выплавляемым моделям, а также заготовки, получаемые методом порошковой металлургии. Для составных (бандажированных) колес средних размеров используют заготовки в виде биметаллических отливок. Предварительно отлитую чугунную ступицу устанавливают в форму и на нее центробежным способом заливают бронзовый венец. При изготовлении литьем заготовок крупных колес отливки получают с предварительно полученной формой зубьев.

14.3. Технология изготовления червяков и червячных колес

В машиностроении применяют цилиндрические и глобоидные червячные передачи. Цилиндрические передачи имеют червяк, осевое сечение которого представляет собой рейку с прямолинейными или криволинейными боковыми сторонами (рис. 14.1, *a*).

Глобоидные передачи имеют червяк, осевое сечение которого представляет собой круговую рейку с прямолинейными боковыми сторонами (рис. 14.1, б). Цилиндрические передачи по форме винтовой поверхности делят на четыре вида.

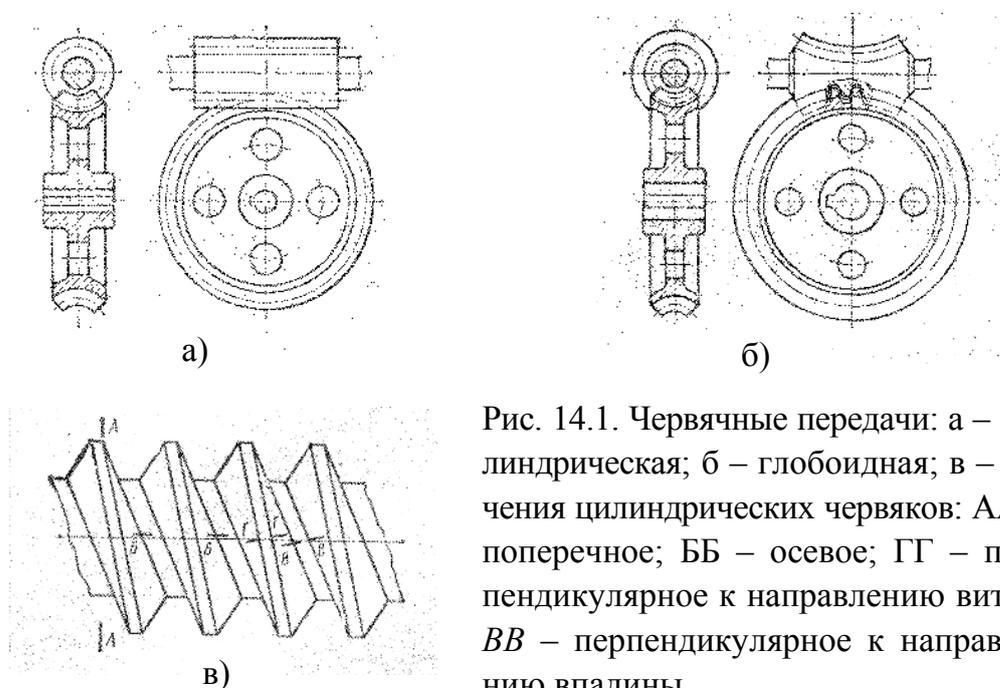


Рис. 14.1. Червячные передачи: а – цилиндрическая; б – глобоидная; в – сечения цилиндрических червяков: АА – поперечное; ББ – осевое; ГГ – перпендикулярное к направлению витка, ВВ – перпендикулярное к направлению впадины

1. В архимедовой червячной передаче установлен червяк, у которого профиль боковой поверхности витка в поперечном сечении АА (рис. 14.1, в) представляет собой архимедову спираль. В осевом сечении ББ архимедов червяк представляет собой прямолинейный профиль, а в сечении ГГ, перпендикулярном к направлению витка, – криволинейный.

2. Эвольвентная червячная передача содержит червяк, у которого профиль боковой поверхности витка в поперечном сечении АА представлен в форме эвольвенты. В осевом сечении ББ и сечении, перпендикулярном к направлению витка ГГ, эвольвентный червяк имеет криволинейный профиль. Прямолинейный профиль витка червяка получается в сечении плоскостью, касательной к основному цилиндру.

3. Конволютная передача имеет червяк, у которого профиль боковой поверхности витка в поперечном сечении АА представляет собой удлиненную эвольвенту (конволюту). В сечении, перпендикуляр-

ном к направлению витка ГГ или впадины ВВ, конволютный червяк имеет прямолинейный профиль.

4. Нелинейные червяки имеют во всех сечениях криволинейный профиль.

При разработке технологического процесса изготовления деталей червячных передач необходимо стремиться к соблюдению принципа единства баз. Следует учитывать, что эксплуатационные качества червячной передачи зависят не только от вида и формы винтовой поверхности, но также от точности изготовления деталей червячной передачи и их сборки. Технологический маршрут изготовления цилиндрического червяка типа вал делительной передачи с использованием штучной заготовки – штамповки приведен в табл. 14.1.

Таблица 14.1. Технологический маршрут изготовления червяка типа валов, 4-я степень точности, $m = 3$ мм

№ п/п	Содержание операции	Базирование
1	Изготовление заготовки (штамповка)	—
2	Термическая обработка	—
3	Фрезерование торцов и зацентровка с двух сторон	Поверхности двух ступеней заготовки и одного торца
4	Предварительная токарная обработка по контуру с одной и другой стороны	Поверхности центровых отверстий и торец
5	Черновое нарезание витков червяка с оставлением припуска 1,2...1,6 мм на толщину витка	То же
6	Термическая обработка (высокий отпуск)	—
7	Чистовая токарная обработка наружных поверхностей с оставлением припуска 0,4... 0,6 мм; допустимое биение заготовки – не более 0,05...0,06 мм	Поверхности центровых отверстий и торец
8	Чистовое нарезание витков червяка с оставлением припуска 0,6 ... 0,8 мм на толщину витка, допустимое биение – не более 0,08 мм; нарезают на токарно-винторезном станке повышенной точности класса П	То же
9	Фрезерование шпоночного паза	Поверхности двух шеек и торца одной ступени

Окончание табл. 14.1

№ п/п	Содержание операции	Базирование
10	Предварительное шлифование наружных поверхностей под цементацию	Поверхности центровых отверстий
11	Предварительное шлифование профиля витков червяка под цементацию	То же
12	Термическая обработка (цементация, закалка)	—
13	Шлифование центровых отверстий; $Ra = 0,32...0,2$ мкм	Поверхности одного центрального отверстия и одной шейки
14	Первое получистовое шлифование наружных поверхностей и торцов	Поверхности центровых отверстий
15	Получистовое шлифование профиля витков червяка	То же
16	Термическая обработка (старение)	—
17	Второе получистовое шлифование наружных поверхностей и торцов	Поверхности центровых отверстий
18	Второе получистовое шлифование профиля витков червяка с оставлением припуска 0,1... 0,15 мм на толщину витка	То же
19	Термическая обработка (старение)	—
20	Доводка центровых отверстий	Поверхности одного центрального отверстия и одной шейки
21	Чистовое шлифование наружных поверхностей на круглошлифовальных станках особо высокой точности класса А; $Ra = 0,32... 0,16$ мкм	Поверхности центровых отверстий
22	Чистовое шлифование профиля витков червяка; обработку производить на станке, на котором выполнялось второе получистовое шлифование с той же наладкой; $Ra = 0,25...0,16$ мкм	То же
23	Окончательный контроль	—

Согласно приведенному маршруту на первых семи операциях червяк обрабатывают как обычный вал. На технологических операциях имеет место соблюдение принципа единства баз. При нарезании витка базирование производят в центрах или по одной из шеек в трех-

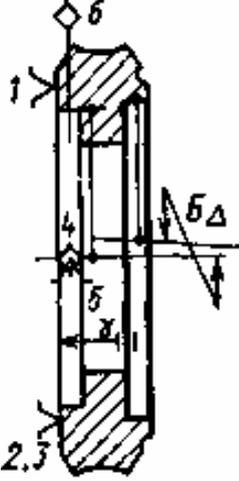
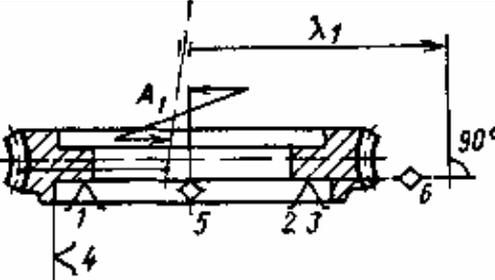
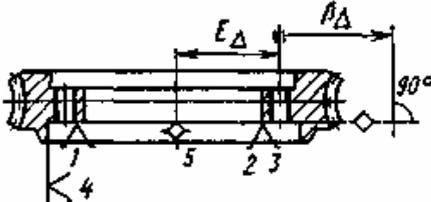
кулачковом патроне и заднему центру, в последнем случае обеспечивается большая жесткость.

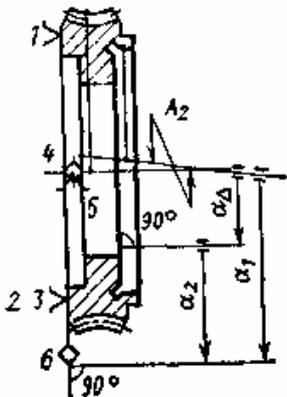
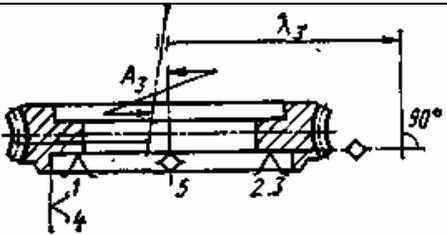
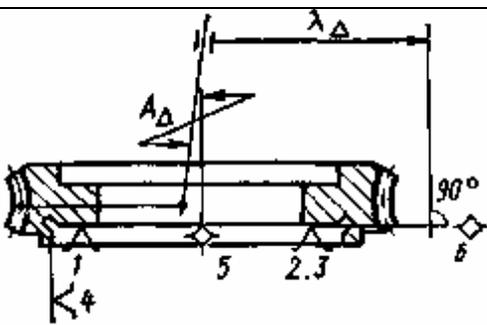
Технологический маршрут изготовления червячного колеса делительной червячной передачи 4-й степени точности с использованием заготовки-отливки приведен в табл. 14.2. На технологических эскизах к соответствующим операциям показаны схемы базирования и получаемые операционные размеры.

Таблица 14.2. Технологический маршрут изготовления червячных колес 4-ой степени точности, диаметр 200...800 мм, $m=2...6$ мм

№ п/п	Содержание операции	Эскиз обработки и базирование	Оборудование
1	Изготовление заготовки (отливки)		—
2	Предварительная (черновая) токарная обработка с одной стороны с припуском 2...3 мм на сторону		Токарно-винторезный или токарно-карусельный станок
3	Предварительная токарная обработка наружного венца, базового торца и отверстия с другой стороны		То же
4	Контроль твердости по наружному диаметру венца не менее чем в пяти – семи точках	—	Прибор для измерения твердости

Продолжение табл. 14.2

№ п/п	Содержание операции	Эскиз обработки и базирование	Оборудование
5	Получистовая токарная обработка отверстия и торца с припуском 0,5...1 мм (подготовка баз для нарезания зубьев), параметр шероховатости $Ra - 2,5$ мм, перед обработкой производить выверку заготовки по наружному диаметру, доп. отклонение 0,1 мм		Токарно-винторезный или токарно-карусельный станок
6	Черновое фрезерование зубьев, оставляемый припуск по толщине зуба 0,6 ... 1,5 мм		Зубофрезерный станок
7	Искусственное старение	—	Термический цех
8	Очистка детали	—	—
9	Чистовая токарная обработка наружных и внутренних поверхностей с одной стороны (аналогично операции № 2), кулачки патрона должны перекрывать несколько зубьев	См. эскиз к операции № 2	Токарно-винторезный или токарно-карусельный станок повышенной точности
10	Обработка крепежных и технологических отверстий		Сверлильный станок

№ п/п	Содержание операции	Эскиз обработки и базирование	Оборудование
11	Чистовая токарная обработка базовой плоскости и отверстия с другой стороны, установка на планшайбу, выверка по наружному диаметру до 0,01...0,03 мм, закрепление через крепежные отверстия		Токарно-винторезный или токарно-карусельный станок повышенной точности
12	Сборка червячного колеса с планшайбой стола	—	—
13	Чистовое фрезерование радиусной выточки, фрезерование зубьев под последующее шевингование		Зубофрезерный мастер-станок мод. 543
14	Шевингование червячного колеса		То же
15	Слесарная операция - зачистка заусенцев	—	—
16	Контроль	—	—

Согласно приведенному технологическому маршруту перпендикулярность α_{Δ} оси базового отверстия к базовой плоскости на этапе токарной обработки обеспечивается на операции № 11

$$\alpha_{\Delta} = \alpha_1 - \alpha_2,$$

где α_1 – перпендикулярность оси базового отверстия к установочной базе; α_2 – параллельность привалочной плоскости к установочной базе.

Допустимое отклонение $\omega_{\alpha\Delta} = \omega_{\alpha_1} + \omega_{\alpha_2}$ ($\omega_{\alpha\Delta} \leq \delta_{\alpha\Delta}$) не должно превышать 0,015 мм на длине 500 мм.

Биение зубчатого венца червячного колеса зависит от смещения A_{Δ} оси делительной окружности относительно оси базового отверстия и отклонения от перпендикулярности λ_{Δ} к привалочной плоскости.

Соосность оси делительной окружности с осью базового отверстия и требуемая перпендикулярность достигаются последовательно в результате уточнений, получаемых после операций № 6, 11, 13 и 14.

Размеры $A_1, A_2, A_3, A_{\Delta}$ определяют смещение оси делительной окружности относительно оси базового отверстия, а угловые размеры $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_{\Delta}$ – отклонение от перпендикулярности оси к привалочной плоскости.

Получение требуемой точности при зубонарезании во многом зависит от точности размера динамической настройки, т. е. от колебания припуска и твердости детали. Поэтому колебание твердости по окружности венца не должно превышать по *HV* десяти единиц. Для равномерного распределения припуска окончательное фрезерование зубьев и шевингование рекомендуется производить с одного установка. Шероховатость поверхности, достигаемая в результате обработки, составляет: на боковых поверхностях зубьев и на базовом отверстии $Ra = 0,63$ мкм и на базовой плоскости $Ra = 1,25$ мкм.

14.4. Методы нарезания и отделки червяков и червячных колёс

Винтовая поверхность цилиндрических червяков в зависимости от серийности может быть нарезана с помощью профильных резцов на токарно-винторезных станках или с помощью дисковых фрез на резьбофрезерных, универсально-фрезерных и специальных станках. Достижение наиболее точного шага модульных червяков обеспечивается при ходовом винте станка с шагом, кратным π . При наличии ходового винта с другим шагом применяют наборы сменных колес с передаточным отношением, приближенно равным π .

Для уменьшения погрешности профиля витка окончательное нарезание винтовой поверхности рекомендуется выполнять резцами с прямолинейной режущей кромкой. Требуемый профиль витка обеспечивается при этом соответствующей установкой резца.

Для нарезания архимедова червяка резец с прямолинейным профилем устанавливают так, чтобы его режущие кромки лежали в осе-

вой плоскости червяка (рис. 14.2, а). Червяки с малым углом подъема винтовой линии нарезают двусторонним резцом. При больших углах подъема винтовой линии отдельно обрабатывают левую и правую стороны витка односторонними резцами.

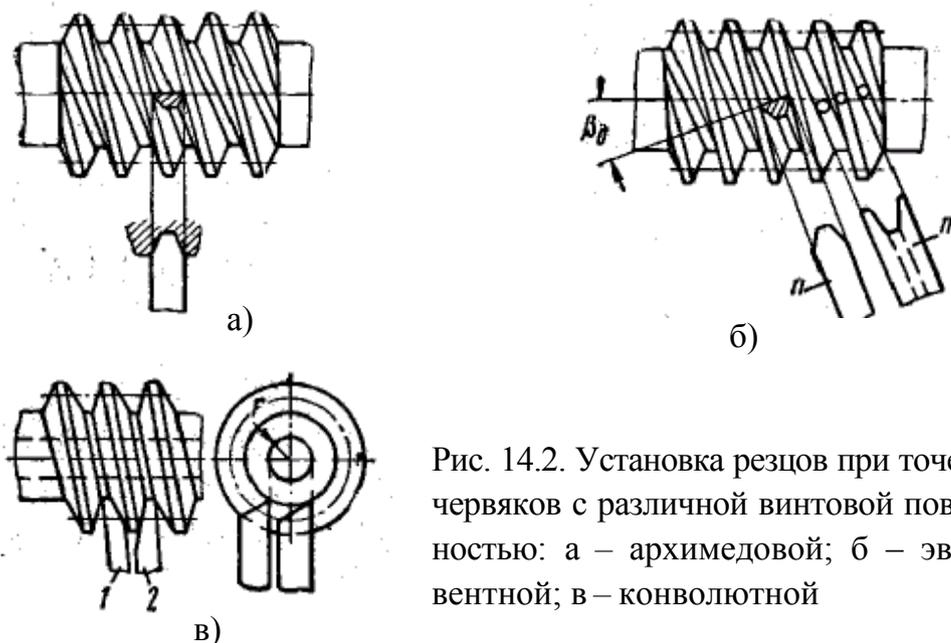


Рис. 14.2. Установка резцов при точении червяков с различной винтовой поверхностью: а – архимедовой; б – эвольвентной; в – конволютной

При нарезании эвольвентного червяка резец с прямолинейным профилем устанавливают так, чтобы его режущие кромки располагались в плоскости, касательной к осевому цилиндру (рис. 14.2, б). Смещение резца относительно осевой плоскости определяют по формуле [18]

$$r_0 = (z_1 \cdot m_{oc}) / (2\pi \cdot \operatorname{tg} \alpha),$$

где r_0 – радиус основного цилиндра; z_1 – число заходов; m_{oc} – модуль в осевом сечении; α – угол профиля резца, равный углу подъема витка на основном цилиндре.

Смещение резца относительно осевой плоскости при нарезании червяков с углом подъема витка более 5° создает неблагоприятные условия резания, поэтому эвольвентные червяки с углом подъема витка более 5° нарезают резцами с криволинейным профилем в осевом или нормальном сечениях.

Для нарезания конволютного червяка резец с прямолинейным профилем устанавливают так, чтобы его режущие кромки соответствовали требуемым геометрическим параметрам червяка лежали в плоскости, нормальной направлению витка или впадины (рис. 14.2, в).

В серийном и массовом производстве цилиндрические червяки нарезают дисковыми фрезами. Для нарезания фрезой устанавливают так, чтобы ее ось вращения была наклонена на угол подъема витка червяка λ_d , а средняя точка А располагалась на одной высоте с осью червяка (рис. 14.3). При такой установке фрезы червяк профилируется в нормальном сечении по впадине. Поэтому для нарезания архимедова, эвольвентного и нелинейного червяков фреза должна иметь криволинейный профиль, а для нарезания конволютного червяка – прямолинейный. Червяки с $m \leq 10$ мм фрезеруют за один рабочий ход, а с $m > 10$ мм – за два рабочих хода, снимая за первый рабочий ход до 0,8 полной глубины впадины.

Фрезерование дисковыми фрезами в основном применяют для чернового нарезания витков червяка. В этом случае используют фрезы с прямолинейным профилем, оставляя припуск под чистовую обработку, превышающий получаемую погрешность профиля червяка.

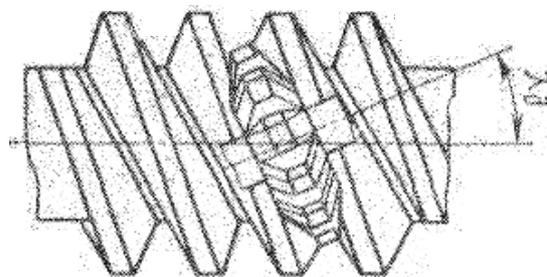


Рис. 14.3. Нарезание винтовой поверхности червяка фрезерованием

Пальцевые фрезы используют для нарезания крупномодульных червяков в мелкосерийном и единичном производстве. Фрезой устанавливают так, чтобы ее ось вращения пересекала ось червяка под углом 90° .

Нарезание червяков обкатным чашечным резцом (долбляком) (рис. 14.4) в крупносерийном и массовом производстве выполняют на специальных или универсальных зубофрезерных станках, оснащенных протяжным суппортом. При обработке червяк и долбяк вращаются (их оси вращения пересекаются под прямым углом), одновременно долбяк совершает относительное перемещение вдоль оси червяка. Этим методом нарезают архимедовы и эвольвентные червяки.

Для червяков с углом подъема витка менее $5...6^\circ$ используют прямозубые долбяки, при угле подъема более 6° – косозубые. Угол наклона винтовой линии на делительном цилиндре долбяка должен быть равен углу подъема на делительном цилиндре червяка. Поэтому для нарезания червяков с различным углом наклона винтовой линии требуются отдельные обкатные чашечные резцы (долбяки). Этот ме-

тод обеспечивает высокую точность обработки и большую производительность.

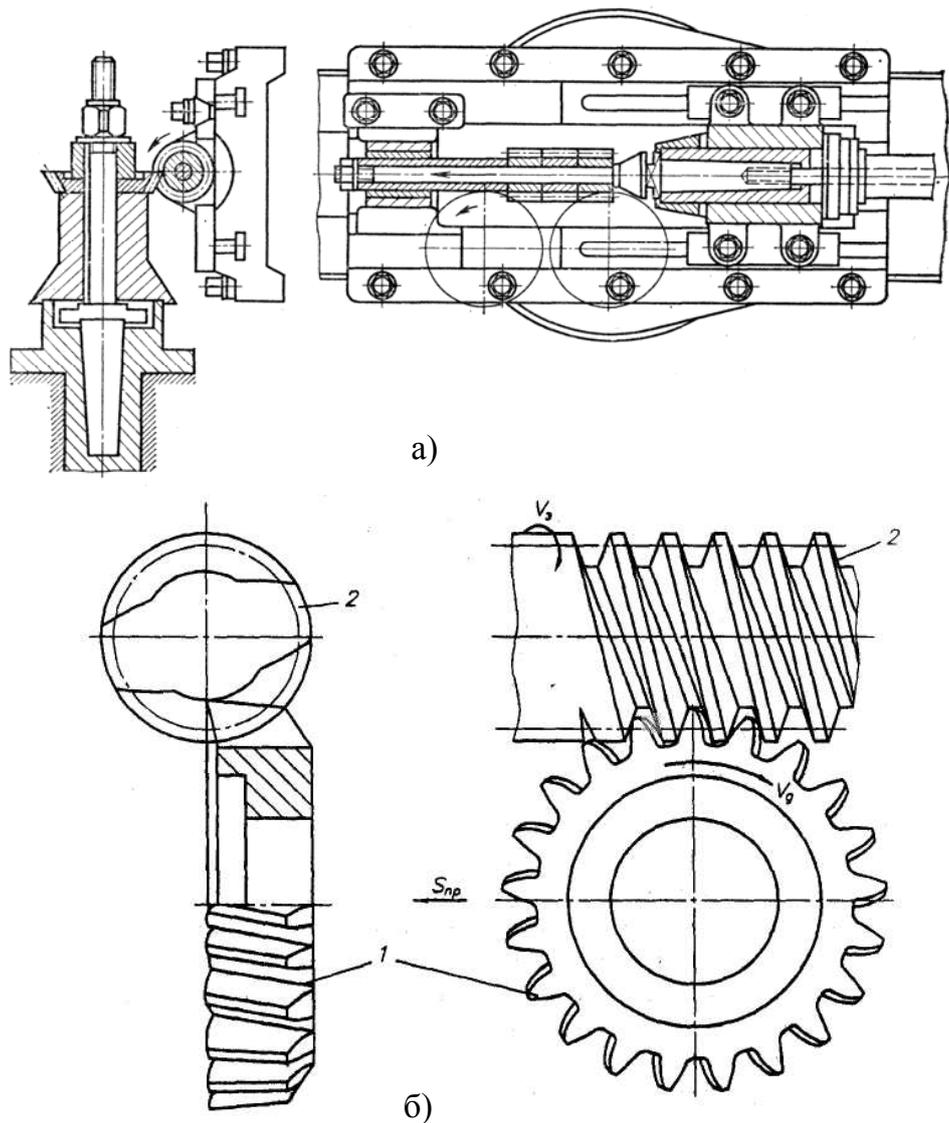


Рис. 14.4. Схема нарезания винтовой поверхности червяка точением обкатным чашечным резцом: а – схема наладки зубофрезерного станка; б – движения формообразования; 1 – чашечный резец; 2 – нарезаемый червяк

В условиях крупносерийного и массового производства червяки можно нарезать кольцевыми резцовыми головками на токарных станках (вихревое нарезание) так же, как и резьбы. Для нарезания архимедовых и эвольвентных червяков в кольцевых резцовых головках применяют резцы с криволинейным профилем, а для нарезания конволютных червяков – с прямолинейным.

Нарезание червяков торцевой резцовой головкой, оснащенной пластинами из твердого сплава, выполняют на вертикально-фрезерных станках, оборудованных специальным приспособлением. Приспособление, устанавливаемое на столе станка, обеспечивает вращение червяка в соответствии с продольным перемещением стола. Производительность этого способа высокая. Он применяется для нарезания червяков большого модуля ($m = 6 \dots 10$), которые достигают 8...9-й степенной точности [18].

Нарезают червяки червячными фрезами по методу обката на универсальных зубофрезерных и шлицефрезерных станках. Этим методом нарезают эвольвентные червяки с большим углом подъема витка, для чего используют червячные фрезы с прямолинейной режущей кромкой. Он обеспечивает высокую производительность, так как все витки многозаходных червяков нарезают одновременно, однако получаемая при этом точность (8...9-я степени) невысока, поэтому его применяют в основном на предварительных операциях.

Шлифуют червяки дисковыми чашечными и пальцевыми кругами. Дисковыми кругами шлифуют архимедовы, эвольвентные и нелинейные червяки. При двустороннем шлифовании дисковым кругом ось вращения круга, как и при фрезеровании, наклонена к оси червяка под углом подъема витка на делительном цилиндре.

Для шлифования архимедовых и эвольвентных червяков при такой установке круг должен иметь криволинейный профиль, получаемый путем правки по шаблонам, профиль которых рассчитывают так же, как и профиль дисковых фрез. При малых углах подъема архимедовы червяки относительно невысокой точности (8...9-я степени) можно шлифовать прямобочным кругом. Получаемая при этом погрешность профиля с уменьшением диаметра круга снижается.

Для упрощения устройства правки круга при шлифовании эвольвентных червяков допускается профилирование круга по радиусу [18]

$$R = \sin \alpha_n / \sin \lambda_d [(\lambda_d - \lambda_e) / 6 (A - R) \cos^2 \lambda_d + r_d],$$

где α_n – угол профиля в нормальном сечении; λ_d – угол подъема витка на делительном цилиндре; A – расстояние между осями круга и червяка, мм; λ_e – угол подъема витка на наружном диаметре; R – радиус наружного диаметра червяка; r – радиус делительного цилиндра.

Приведенную выше зависимость можно использовать также при профилировании дисковых фрез. При одностороннем шлифовании эвольвентных червяков дисковым кругом с прямолинейным профилем (рис. 14.5) образующая круга должна совпадать с образующей червяка. Половина угла профиля круга $\alpha_{и}$ определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = d_0 / (m \cdot z_1),$$

где d_0 – диаметр основного цилиндра; m – осевой модуль червяка; z_1 – число заходов.

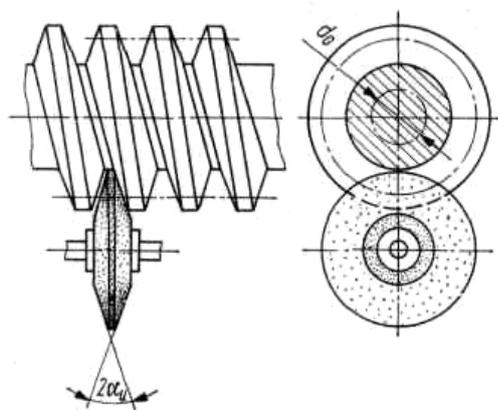


Рис. 14.5. Схема шлифования винтовой поверхности эвольвентного червяка дисковым кругом

ги того же диаметра. Точная архимедова поверхность получается при криволинейном профиле круга.

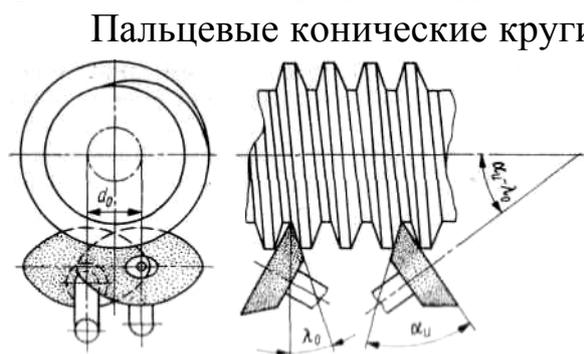


Рис. 14.6. Схема шлифования винтовой поверхности эвольвентного червяка чашечным кругом

Для шлифования эвольвентного червяка плоской стороной дискового круга ось круга поворачивают в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Чашечные конические круги используют для одностороннего шлифования эвольвентных и архимедовых червяков. Схема установки круга дана на рис. 14.6. Чашечные круги обеспечивают лучшее приближение к архимедову червяку, чем дисковые круги того же диаметра.

Пальцевые конические круги используют как для одностороннего, так и для двустороннего шлифования крупномодульных червяков с $m \geq 15$ мм. Одностороннее шлифование применяют при обработке эвольвентных червяков. Круг устанавливают так, что его прямолинейная образующая совпадает с прямолинейной образующей эвольвентной винтовой поверхности.

При двустороннем шлифовании архимедовых и эвольвентных червяков пальцевый круг должен иметь криволинейный профиль, ось круга должна пересекать ось червяка под прямым углом (рис. 14.7).

Червячные колеса нарезают на зубофрезерных станках методом обката с радиальной, тангенциальной или комбинированной подачей. Метод обката с радиальной подачей обеспечивает наибольшую производительность и используется при черновом нарезании зубьев цилиндрической червячной фрезой. Методом обката с тангенциальной подачей достигается большая точность, он применяется при чистовом нарезании зубьев конусно-цилиндрической червячной фрезой. Метод обката с комбинированной подачей заключается в том, что вначале на этапе основного съема обработка осуществляется с радиальной подачей, а затем на заключительной стадии – с тангенциальной, при которой снимается малый припуск и происходит отделка зубьев колеса (рис. 14.8).

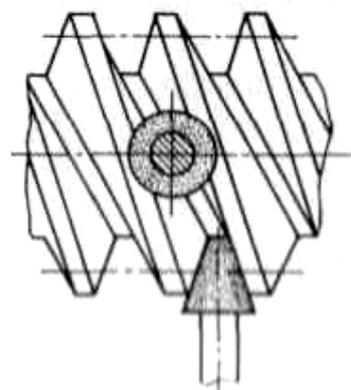


Рис. 14.7. Схема шлифования винтовой поверхности червяка пальцевым коническим кругом

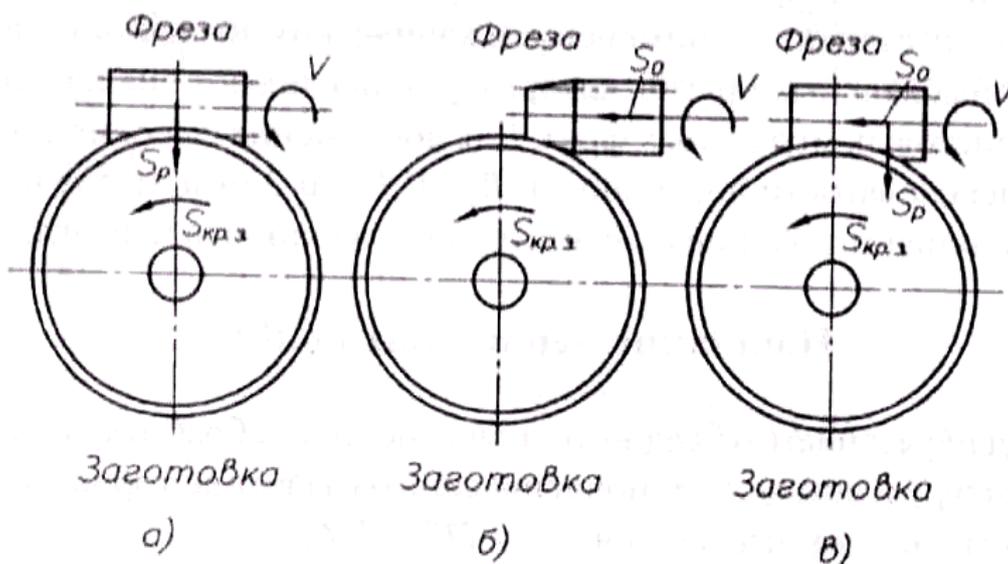


Рис. 14.8. Нарезание зубьев червячного колеса: а – с радиальной подачей; б – с осевой (тангенциальной) подачей; в – с комбинированной подачей

В условиях мелкосерийного производства и для колес крупного модуля зубья нарезают с помощью «летучих» резцов (однозубая червячная фреза) по методу обката с тангенциальной подачей. Летучий резец представляет собой однозубую червячную фрезу, профиль и геометрия зуба которой могут быть заданы достаточно точно. Поэтому

такой инструмент используют также для нарезания червячных колес повышенной точности. Черновое нарезание колес можно выполнять также дисковыми фрезами на универсально-фрезерных станках с применением делительной головки.

Отделку червячных колес выполняют шевингованием. В качестве инструмента применяют червячные шеверы. Шевингование – это отделочная операция, ее выполняют после фрезерования или нарезания зубьев резцом-летучкой. Шевингование осуществляется по методу обката с радиальной и окружной подачами. В обоих случаях механизм привода стола не работает и колеса поворачиваются благодаря вращению фрезы-шевера. После обработки одной стороны зуба направление вращения шевера изменяется и производится шевингование другой частью шевера. Припуск под шевингование оставляют в зависимости от модуля колеса 0,1 ... 0,6 мм на толщину зуба. В результате шевингования обеспечивается 6-я и более высокая степени точности червячных колес.

Для достижения высокой точности сопряжения профилей колеса и червяка шлифование червячного шевера и червяка выполняют на одном и том же станке при одинаковой статической настройке. Все основные расчетные параметры у шевера принимаются такими же, как у соответствующего ему червяка.

14.5. Контроль точности деталей червячных передач

Контроль червяков. Для червяков 3...4-й степеней точности предусмотрен контроль погрешности винтовой линии как в пределах одного оборота, так и на всей длине нарезанной винтовой поверхности червяка. Контроль выполняют с помощью специальных приборов. Червяк вращается, а измерительный наконечник прибора, соприкасающийся с боковой поверхностью витка, перемещается параллельно оси червяка соответственно номинальному значению хода, задаваемому эталоном. При наличии отклонения наконечник смещается относительно суппорта, что фиксируется прибором. У менее точных червяков (5...9-й степеней) контролируют не винтовую линию, а отклонение осевого шага, погрешность профиля витка и радиальное биение витков.

Для измерения отклонения шага червяк устанавливают в центрах и с помощью индикатора и двух наконечников, один из которых неподвижен, а другой перемещается, проверяют расстояние между витками. Угол и погрешность профиля витка червяка проверяют шаблонами или на специальных приборах и приборах для контроля шага в том сечении, где профиль витка номинально прямолинеен. Погрешность профиля определяется как отклонение фактического профиля витка от номинальной прямой. Радиальное биение витков червяка (оси делительной окружности) относительно опорных шеек контролируют с помощью калиброванных роликов и индикатора, инструментальных микроскопов или проекторов.

Контроль червячных колес. В зависимости от степени точности ГОСТ предусматривает комплекс проверок, в которые входит контроль таких параметров, как кинематическая и циклическая погрешность обработки, радиальное биение зубчатого венца, накопленная погрешность окружного шага, колебание измерительного межосевого расстояния.

Требования к точности червячных колес во многом совпадают с нормами точности для цилиндрических колес, поэтому методы контроля и применяемые приборы аналогичны. Однако у червячных колес в отличие от цилиндрических параметры зубчатого венца проверяют в средней плоскости и дополнительно контролируют погрешности производящей поверхности инструмента.

Кинематическую и циклическую погрешности обработки контролируют путем измерения точности делительной цепи зубофрезерного станка, предназначенного для нарезания червячного колеса. Контроль выполняют с помощью оптических теодолитов и коллиматоров или специальных приборов-самописцев. Погрешность производящей поверхности инструмента определяется как расхождение винтовой производящей поверхности шевера или червячной фрезы, применяемых для нарезания колеса и винтовой поверхности сопрягаемого червяка. Измерение выполняют с помощью прибора для контроля винтовой линии червяков. Отклонения окружного шага проверяют шагомерами или на специальных приборах. Отклонение измерительного межосевого расстояния проверяют в сопряжении с эталонным червяком на приборах для комплексной двухпрофильной проверки.

Правильность суммарного пятна контакта червячной передачи определяют по краске на контрольно-обкатных станках или специальных приспособлениях.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте служебное назначение червячных зубчатых передач.
2. Какие технические требования предъявляют на изготовление червячных зубчатых передач?
3. Объясните различие в понятиях силовой и кинематической червячной передачи.
4. Какие материалы применяют для изготовления червяков и червячных зубчатых колес?
5. Какими методами получают заготовки для изготовления деталей червячных передач?
6. Определите технологический маршрут изготовления червяка.
7. Сформулируйте технологический маршрут изготовления червячного колеса.
8. Какие вы знаете формы винтовой поверхности червяков?
9. Какими методами нарезают винтовые поверхности червяков?
10. Какие формы винтовой поверхности червяков вы знаете?
11. Как нарезают архимедовую винтовую поверхность червяка?
12. Как нарезают эвольвентную винтовую поверхность червяка?
13. Как нарезают конволютную винтовую поверхность червяка?
14. Как изготавливают насадные червяки?
15. Объясните сущность операции нарезания червяков обкатным чашечным резцом.
16. Какую степень точности червяка достигают при нарезании винтовой поверхности чашечным резцом?
17. Объясните сущность вихревого нарезания червяков.
18. Как выполняют нарезание червячных зубчатых колес?
19. Объясните различие схем нарезания червячных колес с использованием радиальной, тангенциальной и комбинированной подачи.

20. Какие методы применяют для отделки винтовой поверхности закаленных червяков?
21. Какую степень точности достигают на операции отделки винтовой поверхности закаленных червяков?
22. Какие технологические мероприятия применяют для достижения точности сопряжения винтовых поверхностей колеса и червяка?
23. Как осуществляется контроль достигнутых параметров точности червяка и червячного колеса?

ГЛАВА 15. АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Для автоматизированного изготовления зубчатых колес создают специальные зубообрабатывающие станки автоматы, полуавтоматы, а также автоматизированные участки. В состав автоматизированных участков для изготовления деталей зубчатых передач входят различные станочное оборудование, выполняющее необходимые операции механической обработки, оборудование для термической обработки колес, система автоматизированного транспортирования и складирования деталей, а также системы контроля и управления ходом технологического процесса.

Станочное оборудование на участках располагают в последовательности, соответствующей этапам технологического процесса. Ориентирование и передача заготовок с одной технологической позиции на другую обеспечиваются транспортной системой, в которой предусмотрены также промежуточные накопители, позволяющие уменьшать влияние простоя отдельных станков на производительность участка.

15.1. Автоматизация токарных операций

В условиях крупносерийного и массового производства для обработки зубчатых колес по контуру применяют высокопроизводительные одношпиндельные и многошпиндельные токарно-револьверные патронные автоматы и многорезцовые станки со специальной оснасткой, обеспечивающей концентрацию технологических переходов при

параллельно-последовательной схеме обработки заготовок. Такие станки работают практически без перенастройки по заданному жесткому циклу с постоянным тактом выпуска. Применяют штучные заготовки, полученные путем штамповки или точного литья с малыми припусками. Форма заготовок близка к форме готовой детали.

В условиях мелкосерийного производства автоматизированные участки для изготовления зубчатых колес компонуют из станков с ЧПУ, обладающих технологической гибкостью, что позволяет быстро переходить с изготовления деталей одного типоразмера на изготовление деталей другого типоразмера. Примеры технологических наладок для обработки зубчатых колес на токарных станках с ЧПУ показаны на рис. 12.7. При этом в качестве заготовок используют штучные заготовки – диски, полученные путем их предварительной отрезки на пилах от кругового проката.

Автоматическая установка в патрон штучных заготовок осуществляется с помощью роботов или непосредственно связанных со станком манипуляторов. На рис. 15.1 показана схема работы такого манипулятора, обеспечивающего установку и съем обрабатываемых колес на токарно-револьверном станке с ЧПУ.

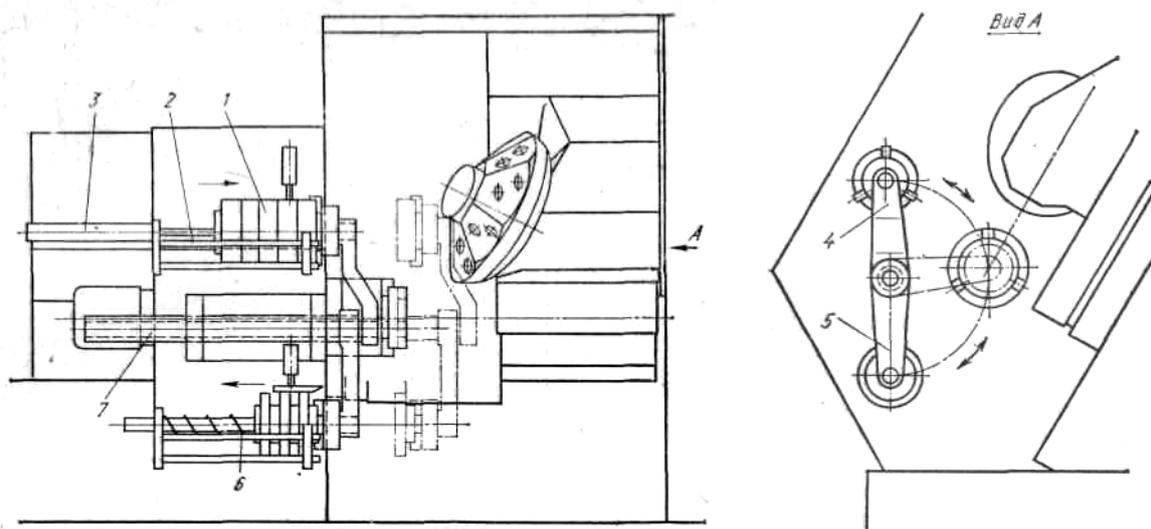


Рис. 15.1. Манипулятор для установки в патрон штучных заготовок на токарном станке с ЧПУ

Партия штучных заготовок 1 устанавливается в лотке-накопителе 2. Заготовки в осевом направлении подает гидроцилиндр 3. Встроенный манипулятор имеет два поворотных схвата 4 и 5, расположенных на

общей штанге 7, перемещаемой в продольном направлении. Схват 4 производит захват и установку заготовок в патрон, а схват 5 – сьем готовых деталей и установку их в накопитель 6. Токарно-револьверные станки с ЧПУ, оснащенные устройством автоматической загрузки и выгрузки заготовок, представляют собой многоцелевые станки для изготовления деталей типа тел вращения.

В качестве заготовок на станках-автоматах используют также горячекатаные прутки. Для подачи пруткового материала в рабочую зону на токарных станках с ЧПУ применяют специальные автоматические устройства (рис. 15.2).

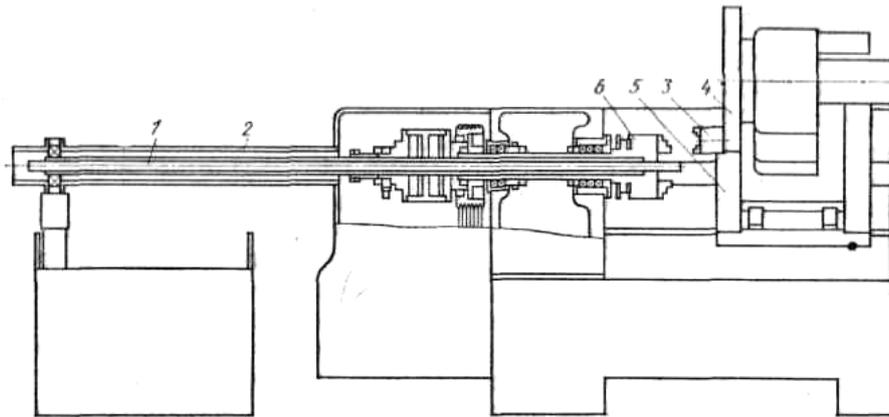


Рис. 15.2. Устройство для подачи пруткового материала в рабочую зону токарного станка с ЧПУ

Пруток 1 базируется в направляющей штанге 2 и подается в рабочую зону через отверстие в шпинделе станка. Захват и перемещение прутка в осевом направлении на необходимое расстояние осуществляют с помощью специального захвата 3, установленного на одной из позиций револьверной головки 4. Для перемещения прутка каретка 5 с револьверной головкой перемещается по направляющим станка в осевом направлении. Заготовка зажимается пневматическим трехкулачковым патроном 6. После отрезки деталь отводится по выдвижному лотку.

На рис. 15.3 показана схема обработки зубчатого колеса из штучной заготовки на токарно-револьверном станке с ЧПУ. Использование для обработки режущего инструмента различного назначения – сверл, центровок, разнообразных резцов, зенкеров, разверток – позволяет получать детали зубчатых передач различных размеров и геометрической формы.

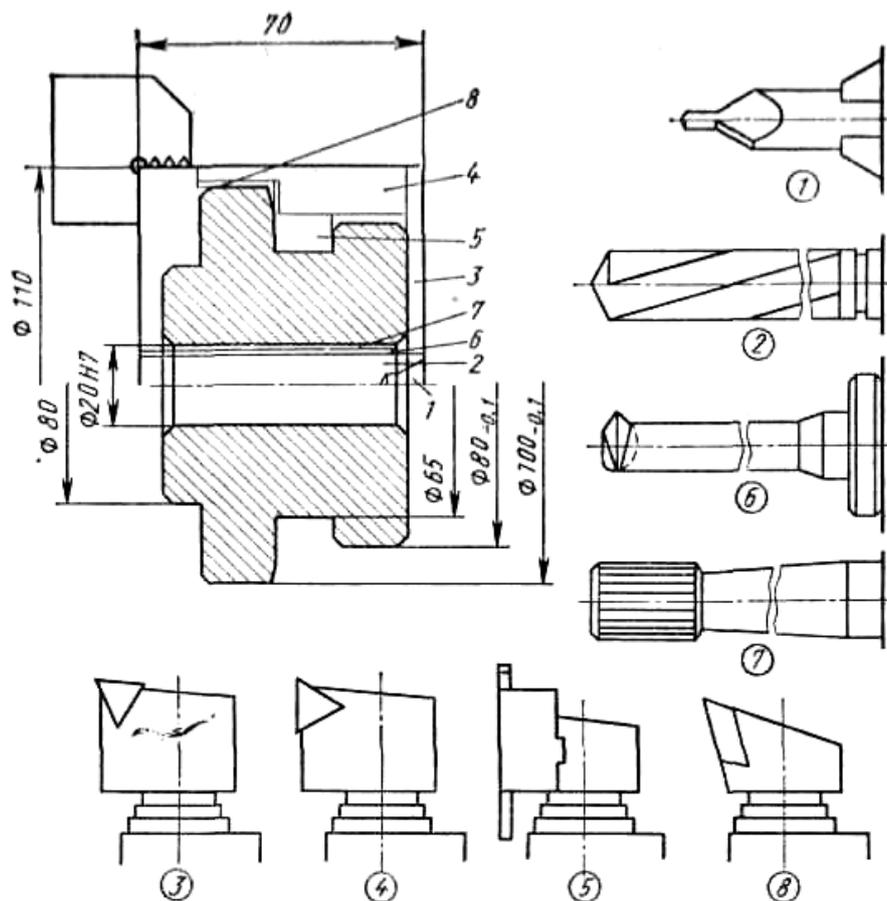


Рис. 15.3. Схема токарной обработки зубчатого колеса на станке с ЧПУ

Для каждой операции характерно последовательное выполнение технологических переходов, заданных в управляющей программе станка. Вначале происходит зацентровка (инструмент 1), затем – сверление (сверло 2) и расточка базового отверстия (расточная оправка 6). Для получения отверстия по качеству 20H7 в заключение выполняют развертывание (инструмент 7). Обработку детали по контуру выполняют резцами 3, 4, 8, а прорезание паза – канавочным резцом 5. Детали другого типоразмера изготавливают по новой управляющей программе на базе имеющегося на станке режущего инструмента и только в отдельных случаях возникает необходимость добавления нового инструмента.

15.1. Автоматизация зуборезных операций

Зубчатые колеса в автоматизированных участках крупносерийного и массового производства нарезают на зубообрабатывающих станках-автоматах. С этой целью зуборезные станки оснащают спе-

циальной транспортно-накопительной системой, обеспечивающей автоматическую подачу и закрепление в рабочей позиции обрабатываемого колеса. На рис. 15.4 показаны применяемые на зубофрезерных автоматах компоновки транспортно-накопительных систем. Для предотвращения аварийной ситуации и брака в системе предусматривают механизмы для контроля правильности установки обрабатываемых колес. Для автоматизации нарезания зубчатых колес в условиях мелкосерийного производства применяют зубообрабатывающие станки с микропроцессорной системой ЧПУ.

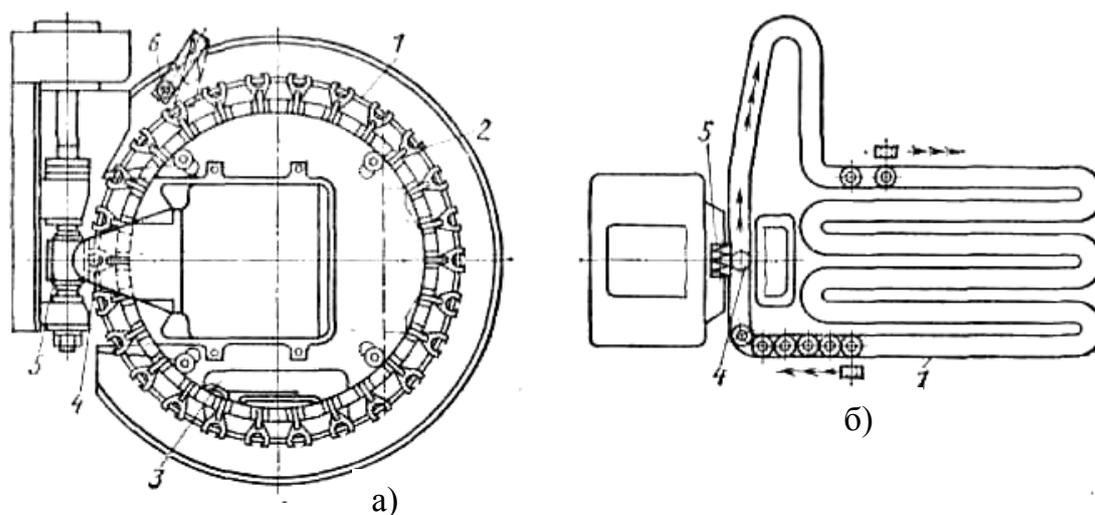


Рис. 15.4. Компоновки транспортно-накопительных систем на зубофрезерных станках: а – накопитель кругового типа; б – накопитель спирального типа; 1 – направляющие для перемещения заготовок; 2 – сменные захваты накопителя; 3 – механизм прерывистого вращения; 4 – заготовка на рабочей позиции; 5 – червячная фреза; 6 – механизм контроля правильности установки заготовки

Зубофрезерные, зубострогальные и зубошлифовальные станки с ЧПУ имеют высокий уровень автоматизации и большую технологическую гибкость. При их использовании уменьшаются простои и значительно сокращается время переналадки на изготовление новых деталей, которое на обычных станках занимает 30...90 мин. На рис. 15.5 представлена компоновка и управляемые координаты X , Y , Z , A , C зубофрезерного станка с микропроцессорной системой ЧПУ [26]. В станке программируются радиальное перемещение заготовки по X и ее поворот C относительно оси Z , перемещение фрезы в направлении Z и Y , а также поворот фрезы на угол A относительно оси X .

Система ЧПУ, выполненная на базе микроЭВМ, дает возможность непосредственно у станка формировать и корректировать программу обработки различных зубчатых колес. С клавиатуры системы ЧПУ вводится необходимая для обработки технологическая информация:

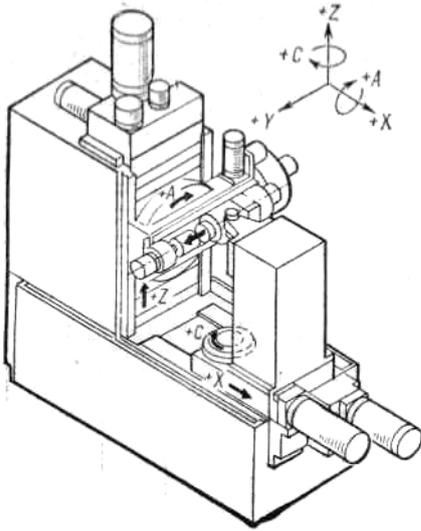


Рис. 15.5. Зубофрезерный станок с ЧПУ

ность непосредственно у станка формировать и корректировать программу обработки различных зубчатых колес. С клавиатуры системы ЧПУ вводится необходимая для обработки технологическая информация:

- число зубьев, модуль нарезаемого колеса и угол наклона зуба;
- режимы обработки: подача и частота вращения для черновых и чистовых рабочих проходов;
- параметры режущего инструмента, число заходов фрезы;
- координаты опорных точек для

организации технологических циклов.

Ряд цикловых перемещений и управляющих команд формируется микропроцессором автоматически. В пределах одной задаваемой программы возможна обработка деталей до 30 модификаций, включая нарезание одновенцовых или двухвенцовых шестерен, червячных колес, а также шестерен с бочкообразным или конусным зубом. Примеры выполнения технологических циклов по нарезанию различных зубчатых колес червячной фрезой представлены на рис. 15.6. Приведенные циклы обработки формируются путем модификации обобщенного цикла (рис. 15.6, а), где точка 1 является нулем для координат X и Y , а остальные точки (2, 3, ..., 10) задаются в программе как опорные. Микропроцессорная система ЧПУ позволяет осуществлять программное регулирование подачи на входе и выходе фрезы по принципу адаптивного управления. С увеличением глубины резания и ширины фрезерования подача на входе уменьшается до заданного значения, а затем на выходе опять возрастает. В результате повышается производительность обработки и уменьшается колебание действующей в системе станок – приспособление – инструмент – заготовка нагрузки, что способствует повышению точности обработки [1, 15]. Замена механических связей электронными позволяет значительно уменьшить кинематические цепи станка, а следовательно, и погрешности, обуслов-

ленные зазорами, температурными и упругими деформациями системы станок – приспособление – инструмент – заготовка.

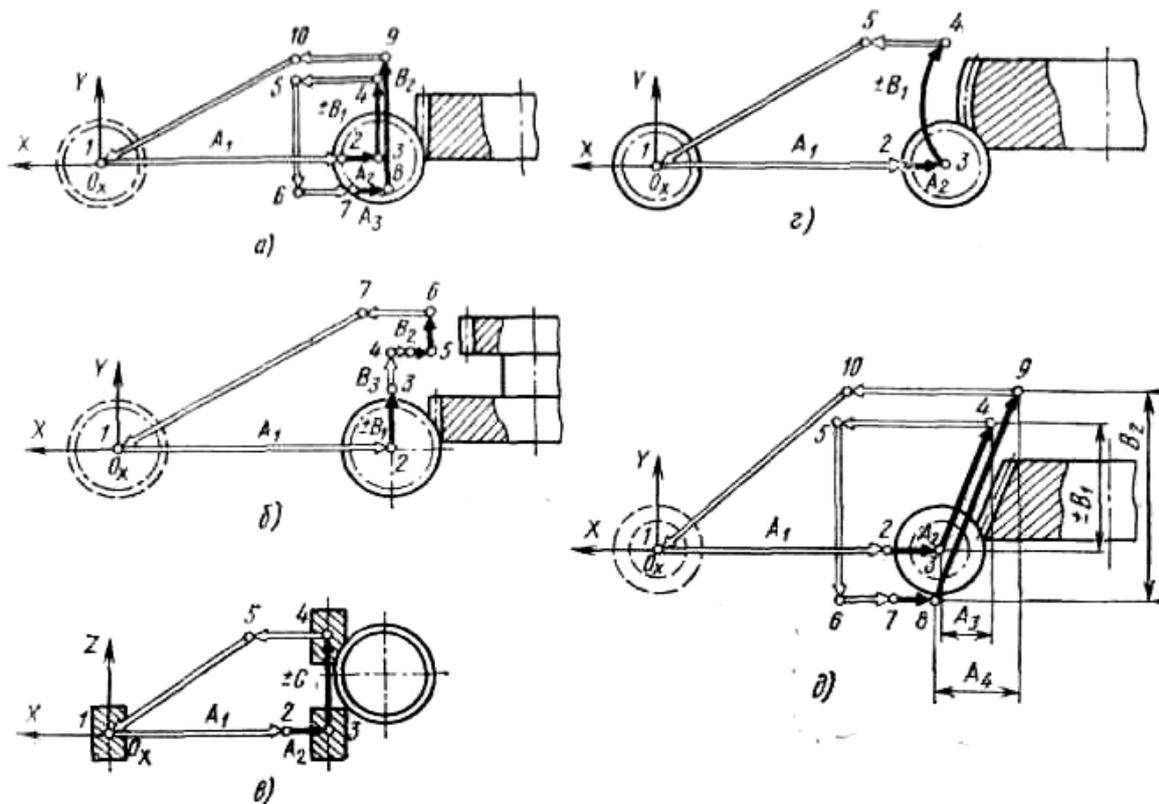


Рис. 15.6. Программируемые циклы нарезания зубчатых колес: а – цилиндрических (нарезание за два рабочих хода); б – двухвенцовых блоков; в – червячных; г – с бочкообразным зубом; д – конических (нарезание за два рабочих хода)

На рис. 15.7 представлен общий вид автоматизированного участка для изготовления цилиндрических зубчатых колес (система FZ-200, Германия). На участке обрабатывают различные по конструкции колеса диаметром 60...200 мм и с $m = 1,5...4$ мм. Производительность участка составляет 250 тыс. зубчатых колес в год, при этом средняя партия запускаемых деталей – 40 шт. На участке возможно нарезание как прямозубых, так и косозубых колес с углом наклона зуба до 15° и длиной зуба до 70 мм [26].

В станочной системе FZ-200 используется модульный принцип компоновки автоматизированного станочного и транспортно-складского оборудования. Это позволяет в соответствии с заданной программой наращивать необходимые модули станков и транспортно-складской системы. Станочное оборудование располагается по обе стороны от

транспортно-складской системы 2, которая обеспечивает передачу и хранение кассет 3 с заготовками и готовыми деталями.

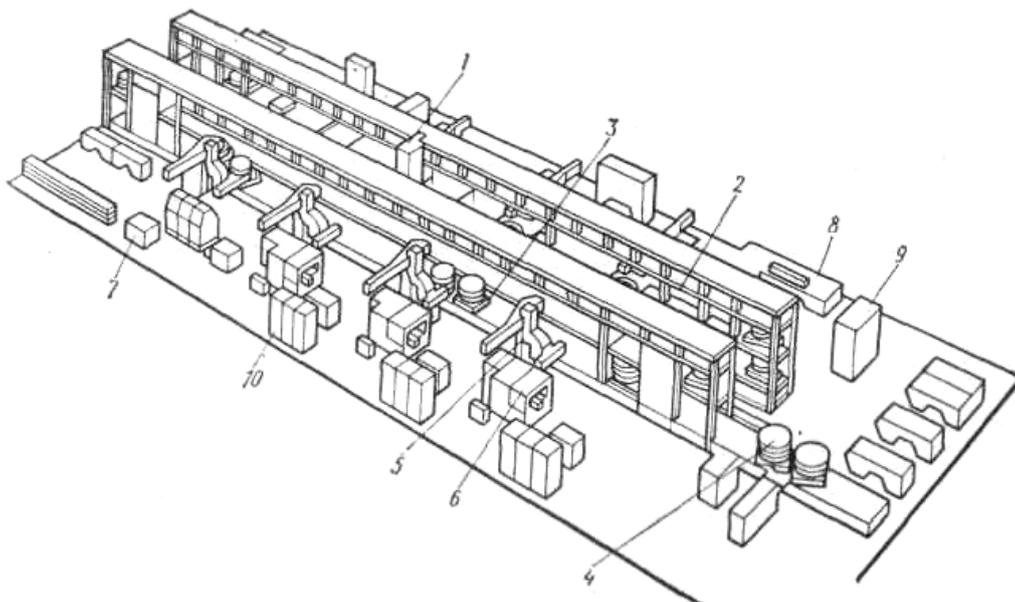


Рис. 15.7. Автоматизированный участок для изготовления цилиндрических зубчатых колес

Первоначальное ориентирование и установка заготовок в кассеты осуществляются рабочим на исходной позиции 4. Затем кассеты подаются непосредственно к станкам 6, имеющим центральный пульт управления 7, связанный с системами управления станков и роботов 10. Установка заготовок и съем деталей на станках выполняются с помощью роботов 5, каждый из которых обслуживает по одному станку. В процессе работы непосредственно возле станка находятся две кассеты, в одной из которых помещены заготовки, а во второй – готовые детали. Кассеты транспортируются и устанавливаются в ячейки накопителя штабелером 1. Каждая из кассет имеет свой код, что позволяет с помощью ЭВМ управлять их прохождением по участку. Применяемые кассеты имеют многоярусную конструкцию. Поворот кассет на определенный угол и синхронизация их работы с работой робота обеспечиваются специальным тактовым устройством. Участок управляется от ЭВМ 9 и пульта оператора 8, который может вносить определенные изменения в ход выполнения технологического процесса. Применение такой системы позволило в 2...2,5 раза повысить производительность труда и значительно уменьшить количество производственных рабочих.

Контрольные вопросы

1. С какой целью осуществляется автоматизация технологического процесса изготовления зубчатых колес?
2. Какие технологические операции процесса изготовления зубчатых колес необходимо автоматизировать?
3. Какое станочное оборудование применяют для автоматизации токарной обработки зубчатых колес?
4. Какое станочное оборудование применяют для автоматизации нарезания зуборезных операций?
5. Что следует понимать под технологической гибкостью автоматизированного станочного оборудования?
6. Каким образом осуществляется автоматизация установки и съема заготовок на станках-автоматах?
7. Какие заготовки применяют для изготовления зубчатых колес в автоматизированном производстве?
8. Каким образом осуществляется передача заготовок на автоматизированных участках от одного технологического оборудования к другому?

РАЗДЕЛ 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПЕРАЦИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ

ГЛАВА 16. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

16.1. Программирование геометрических и технологических параметров обработки заготовок на станках с ЧПУ

Станки с числовым программным управлением представляют собой быстропрограммируемые технологические системы, которые особенно эффективны для автоматизации мелко- и среднесерийного производства. Основная особенность станков с ЧПУ заключается в их технологической гибкости, благодаря которой осуществляется быстрый переход на изготовление новых деталей. Технологическая гибкость станков с ЧПУ определяется следующими факторами.

1. Непосредственное задание размеров изготавливаемых деталей как исходной геометрической информации в виде массива цифровых данных.

2. Цифровое задание необходимой технологической информации, определяющей на каждом из переходов частоту вращения шпинделя, скорость рабочей и ускоренной подач, глубину резания и др.

3. Автоматическое управление всеми вспомогательными переходами и командами по автоматической замене инструмента, включению и выключению СОЖ, замене и закреплению заготовок и др.

4. Выполнение необходимой коррекции размерной настройки режущих инструментов и режимов резания.

Эти основные принципы числового управления имеют различную реализацию в соответствии с типом станочного оборудования, требованиями к точности и уровню автоматизации. В соответствии с решаемыми технологическими задачами и видом привода различают системы позиционного, контурного и комбинированного управления (рис. 16.1) [15].

В позиционных системах управление осуществляется путем задания положения отдельных точек или отрезков прямых линий. Управле-

ние по точкам перемещения инструмента от одной программируемой точки к другой происходит на ускоренных ходах без выполнения обработки в процессе позиционирования. Такие системы применяют на станках сверлильно-расточной группы, а также на автоматах для точечной сварки. Технологические переходы, например сверление, зенкерование или растачивание отверстий, выполняются при этом после позиционирования в заданной точке (рис. 16.1, а). При управлении перемещениями по отрезкам прямых режущий инструмент перемещается с установленной рабочей подачей, осуществляя обработку на заданном отрезке (рис. 16.1, б). Отрезки прямых задают путем программирования координат конечных точек. При этом перемещения выполняются поочередно в направлении одной из координатных осей с контролем длины перемещения и скорости. В таких системах обычно не предусматривается функциональное согласование движений по нескольким координатным направлениям. Эти системы применяют на фрезерных, токарных и шлифовальных станках.

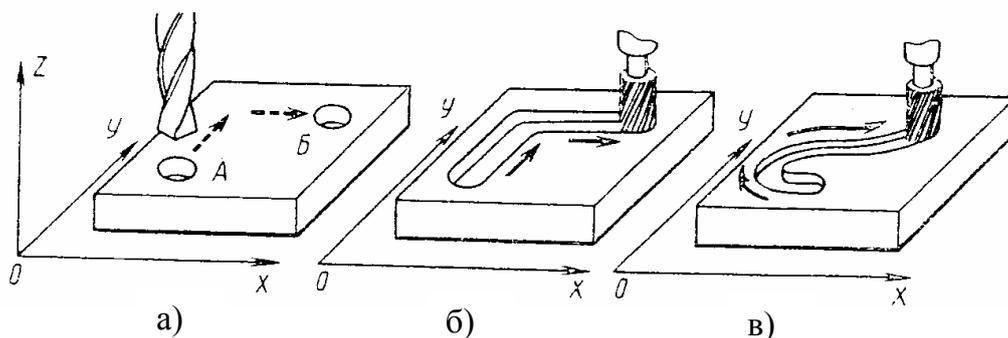


Рис. 16.1. Примеры решения технологических задач с использованием систем позиционного и контурного управления: а – сверление отверстий в заданных точках А и Б; б – фрезерование прямолинейных пазов по заданным отрезкам прямых; в – фрезерование криволинейного профиля по заданному контуру

В системах контурного управления формообразование деталей происходит в результате одновременного согласования движения в направлении нескольких координатных осей. При этом обеспечивается перемещение режущего инструмента по требуемой траектории с заданной результирующей скоростью (рис. 16.1, в). Таким образом, осуществляется непрерывное управление перемещениями по двум, трем и более управляемым координатам. Программу управления приводами подач

при контурной или объемной обработке рассчитывают в комплексе исходя из требуемой формы детали и необходимой результирующей скорости движения. Контурные системы ЧПУ считаются наиболее сложными, их применяют в основном на токарных и фрезерных станках.

Комбинированные системы управления могут выполнять функции как позиционных, так и контурных систем ЧПУ. Они значительно расширяют технологические возможности оборудования, и их применяют на многоцелевых станках фрезерно-расточного типа. Для управления движением формообразования необходимо однозначно определить все точки рабочего пространства станка. С этой целью используют координатную систему станка, в которой ориентируют изготавливаемую деталь и составляют управляющую программу.

Координатные оси системы обозначают по правилу правой руки (рис. 16.2). Ось Z совмещается с осью шпинделя, ей соответствует средний палец правой руки. Ось X , которой соответствует крайний палец, всегда располагается горизонтально.

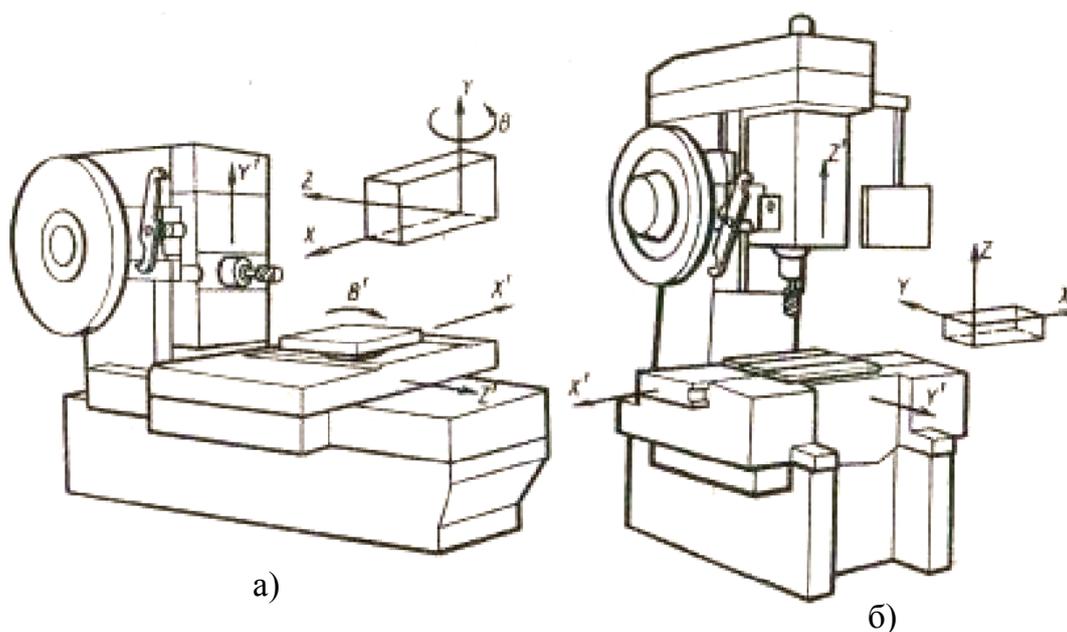


Рис. 16.2. Расположение координатных систем на фрезерно-расточных станках с ЧПУ: а – горизонтальной компоновки; б – вертикальной компоновки

Направление координатных осей указывает на положительное направление перемещения режущего инструмента относительно неподвижной детали. При перемещении детали относительно неподвижного

инструмента ее положительные перемещения направлены в обратном направлении и их обозначают индексом соответствующей оси со штрихом X' , Y' , Z' . За положительное направление вращения A , B , C вокруг соответствующей оси X , Y или Z принято вращение по часовой стрелке при взгляде вдоль положительного направления оси.

Положение координатной системы станка определяется нулевой точкой M – ноль станка (рис. 16.3). Точное положение ноля станка, как и направление осей координат, указывают в руководстве ЧПУ станка. Нулевая точка D детали, определяющая начало отсчета ее системы координат, а также нулевая точка N инструмента, относительно которой инструмент настраивают на размер, определенным образом располагаются в системе координат станка.

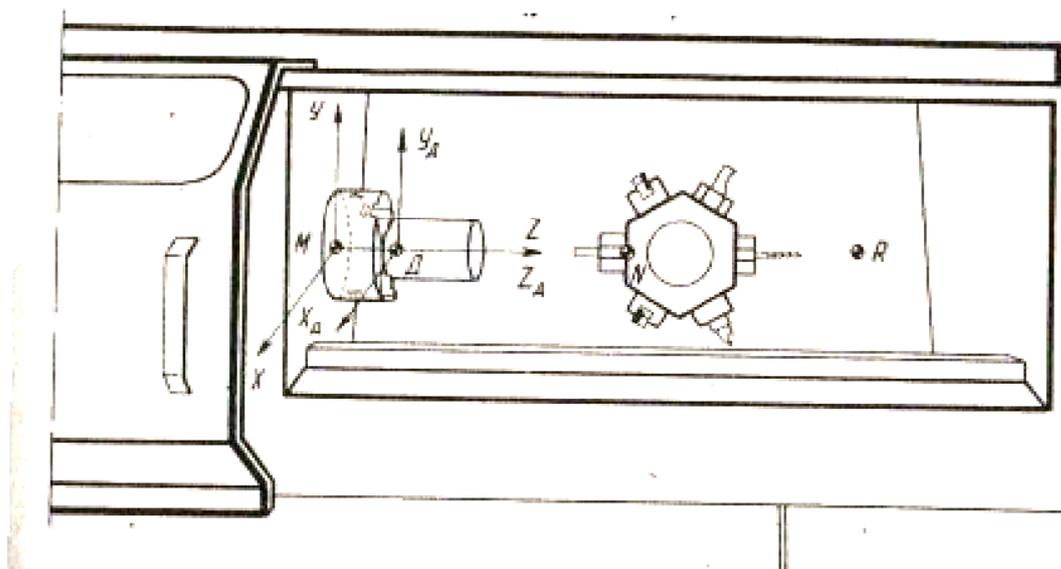


Рис. 16.3. Расположение координатных систем и характерных точек на токарном станке с ЧПУ

Исходная точка R , определяющая начало отсчета при перемещении рабочих органов по программе, также привязана относительно нулевой точки станка.

Числовое программное управление металлорежущими станками обеспечивает гибкую автоматизацию процесса обработки заготовки на станке в соответствии с заданной управляющей программой, составленной в алфавитно-цифровом коде. В качестве программноносителя используют перфоленту, кассету магнитной ленты, дискету. Для записи управляющей программы на восьмидорожковую перфоленту в

системах ЧПУ применяют единый метод кодирования информации, основанный на применении международного семиразрядного кода ISO-7bit. Значение буквенных символов латинского алфавита, используемых при кодировании, дано в табл. 16.1. Управляющая программа содержит информацию о геометрических параметрах изготавливаемой детали и технологических командах, определяющих процесс изготовления детали на станке. Управляющая программа состоит из последовательно записанных кадров, каждый из которых включает определенное число программных слов, записанных в фиксированном порядке. Каждое слово, в свою очередь, состоит из адресной буквы, определяющей код соответствующей команды, и последующей группы цифр. Таким образом, все кадры программы имеют единый формат

N3.G2.X + 33.Y + 33.Z + 32.V32.P2.52.T2.M2.ПС,

где N3 – номер кадра, определяемый трехзначным числом, например № 001, № 0,02; G2 – подготовительные команды, кодируемые двузначным числом, например G00; G01 и так далее до G99; они определяют режим работы ЧПУ; X 4+ 33 – перемещение вдоль оси X со знаками «+» или «-», указывающими направление движения, определяется шестизначным числом, обозначающим координату перемещения в миллиметрах, при этом первые три цифры до запятой определяют значение координаты в целых долях, а цифры после запятой – значение координаты в десятичных долях, X + 154.125;

Таблица 16.1. Буквенные символы для кодирования информации

Символ	Содержание
A	Поворот вокруг оси X
B	Поворот вокруг оси Y
C	Поворот вокруг оси Z
D	Коррекция инструмента
E	Вторая функция подачи
F	Подача
G	Подготовительная функция
H	Свободен для функционального кодирования
I	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси X
J	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Y
K	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Z

Символ	Содержание
L	Не определен
M	Вспомогательная функция
N	Номер кадра
O	Свободен для функционального кодирования
P	Третичное перемещение параллельно оси X
Q	Третичное перемещение параллельно оси Y
R	Перемещение на быстром ходу по оси Z или третичное перемещение по оси Z
S	Частота вращения шпинделя
T	Инструмент
U	Вторичное перемещение параллельно оси X
V	Вторичное перемещение параллельно оси Y
W	Вторичное перемещение параллельно оси Z
X	Перемещение параллельно оси X
Y	Перемещение параллельно оси Y
Z	Перемещение параллельно оси Z

Y + 33 – перемещение вдоль оси Y;

Z + 32 – перемещение вдоль оси Z; при этом значение координаты после запятой определяется двумя цифрами, например Z - 068.34;

B32 – поворот вокруг оси Y с указанием пятизначным числом его координаты; первые три цифры указывают градусы, а последующие две – его десятые и сотые доли, например B180.00;

F2 – скорость подачи, величина которой кодируется двузначным числом, например F28;

S2 – частота вращения шпинделя, кодируемая двузначным числом, например S54;

T2 – код инструмента, номер которого определяется двузначным числом, например T12;

M2 – вспомогательные функции, кодируемые двузначным числом от M00 до M99, например M03 означает включение вращения шпинделя по часовой стрелке;

ПС – символ окончания кадра, обозначающий перевод строки.

Начало программы обозначается символом «%».

При составлении программы некоторые слова в отдельных кадрах могут быть опущены, однако последовательность записи слов сохраняется. Подготовительные команды от G00 до G99 определяют в целом режим работы системы: характер позиционирования, выбор требуемых постоянных циклов и соответствующей системы отсчета перемещений – абсолютной или в приращениях. Назначения основных подготовительных команд приведено в табл. 16.2.

В руководстве к системе ЧПУ определенного станка приводится описание формата кадра управляющей программы [15, 16], конкретизируются и даются необходимые указания по программированию. При этом учитываются конструкции станка, состав управляемых координат и применяемая на станке система ЧПУ.

Таблица 16.2. Основные подготовительные команды

Кодирование	Содержание
G00	Позиционирование. Перемещение в заданную точку на быстром ходу
G01	Перемещение в точку по прямой с заданной подачей. Линейная интерполяция
G02, G03	Перемещение по дуге с заданной подачей по часовой и против часовой стрелки. Круговая интерполяция
G04	Пауза в отработке на время, заданное на пульте или в кадре
G09	Торможение. Плавное уменьшение скорости подачи до фиксированного значения в заданной точке
G17, G18, G19	Выбор плоскости обработки соответственно XY, ZX, YZ
G45-G52	Коррекция по диаметру или радиусу инструмента
G54, G55, G56	Смещение нулевой точки детали в направлении осей X, Y, Z
G60	Точное позиционирование
G80	Отмена постоянного цикла
	Постоянные циклы
G81 – G89 G90, G91	Отсчет перемещений в абсолютной системе или в приращениях

Линейные размеры задают в миллиметрах и их десятичных долях, угловые размеры – в градусах или радианах. Скорость подачи

может иметь единицу измерения мм/мин или мм⁻¹. В первом случае ее кодируют подготовительной функцией G94, а во втором – функцией G95. Скорость главного движения может быть задана в мм/мин, при этом используют подготовительную функцию G96, или как частота вращения шпинделя в мин⁻¹, тогда используют подготовительную функцию G97.

При кодировании числовых значений параметров скорости подачи и главного движения применяют методы прямого обозначения, геометрической и арифметической прогрессии или символического соответствия. Наиболее удобным является прямое обозначение, когда, например, подачу 25 мм/мин кодируют F25.

Вспомогательные функции предназначены для программирования различных технологических команд. Они включают 100 команд технологического назначения, которые задают словами под адресом M и двухзначным десятичным кодовым числом от M00 до M99. Каждая из них определяет конкретную команду исполнительному органу станка или УЧПУ. Значения основных вспомогательных команд, определяемых адресом M00 – M99, приведены в табл. 16.3.

Таблица 16.3. Основные вспомогательные команды

Кодирование	Содержание
M00	Программируемый останов
M01	Останов с подтверждением
M02	Конец программы
M03	Вращение шпинделя по часовой стрелке
M04	Вращение шпинделя против часовой стрелки
M05	Останов шпинделя
M06	Смена инструмента
M07, M08, M50, M51	Включение соответствующей системы охлаждения №1, №2, №3, №4
M09	Отключение системы охлаждения
M10, (M11)	Зажим, (отжим)
M13, (M14)	Вращение шпинделя по часовой стрелке (против часовой стрелки) и включение охлаждения
M15, (M16)	Перемещение положительное (отрицательное)
M19	Останов шпинделя в заданной угловой позиции

Кодирование	Содержание
M30	Конец ленты
M31	Отмена блокировки
M36, (M37)	Диапазон подач №1, (№2)
M38, (M39)	Диапазон оборотов шпинделя №1, (№2)
M55, (M56)	Линейное смещение инструмента в положение 1 (в положение 2)
M60	Смена заготовки
M61, (M62)	Линейное смещение заготовки в положение 1 (в положение 2)
M71, (M72)	Угловое смещение заготовки в положение 1 (в положение 2)

Управляющую программу на перфоленту записывают путем перфорирования на ней кодовых отверстий (рис. 16.4). Лента шириной 25,4 мм имеет восемь дорожек с шагом перфорации 2,5 мм. Нумерация дорожек с 1-й по 8-ю начинается от базовой кромки. На первых семи дорожках (1 – 7) располагаются кодовые отверстия. Восьмая дорожка служит для контроля четности числа отверстий в каждой строке. Транспортная дорожка 5 с отверстиями малого диаметра служит для перемещения ленты в осевом направлении.

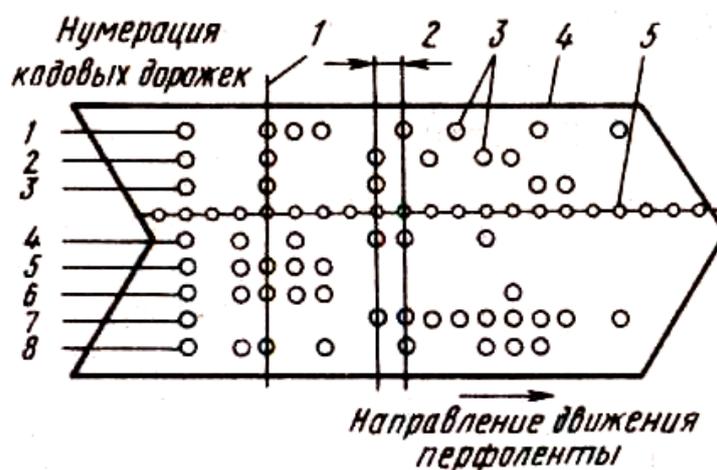


Рис. 16.4. Расположение отверстий на перфоленте: 1 – строка; 2 – шаг перфорации; 3 – кодовые отверстия; 4 – базовая кромка; 5 – отверстия ведущей (транспортной) дорожки

Каждая строка на перфоленте выражает только одну кодовую комбинацию (одну цифру, букву или знак) (рис. 16.5). При этом число

отверстий (символов) в строке должно быть четным, что обеспечивается пробивкой отверстий в восьмой дорожке. При кодировании букв от A до Z происходит дополнительная пробивка отверстий по седьмой дорожке.

Дорожки							Обозначение	Наименование	
8	7	6	5	4	3	2			1
		•	•					0	Цифра 0
•		•	•				•	1	Цифра 1
•		•	•			•		2	Цифра 2
		•	•				•	3	Цифра 3
•		•	•			•	•	4	Цифра 4
		•	•				•	5	Цифра 5
		•	•		•	•		6	Цифра 6
•		•	•		•	•	•	7	Цифра 7
•		•	•					8	Цифра 8
		•	•				•	9	Цифра 9
	•						•	A	Угловой размер относительно оси X
	•						•	B	Угловой размер относительно оси Y
•	•						•	C	Угловой размер относительно оси Z
•	•				•	•		D	Угловой размер относительно специальной оси, или третья подача
•	•						•	E	Угловой размер относительно специальной оси, или вторая подача
•	•						•	F	Подача
•	•						•	G	Подготовительная операция (режим работы ЧПУ)
•	•						•	H	Команда постоянно не закреплена (резерв)
•	•						•	I	Не закреплена
•	•						•	J	Не закреплена
•	•						•	K	Не закреплена
•	•						•	L	Команда постоянно не закреплена (резерв)
•	•						•	M	Вспомогательная операция
•	•						•	N	Порядковый номер
•	•						•	O	Не используется
•	•						•	P	Размер третичного движения, параллельного оси X
•	•						•	Q	Размер третичного движения, параллельного оси Y
•	•						•	R	Размер быстрого перемещения по оси Z или размер третичного движения, параллельного оси Z
•	•						•	S	Частота вращения шпинделя
•	•						•	T	Смена инструмента (его номер)
•	•						•	U	Размер вторичного движения, параллельного оси X
•	•						•	V	Размер вторичного движения, параллельного оси Y
•	•						•	W	Размер вторичного движения, параллельного оси Z
•	•						•	X	Размер первичного движения по оси X
•	•						•	Y	Размер первичного движения по оси Y
•	•						•	Z	Размер первичного движения по оси Z
		•	•				•	.	Установка исходную точку (восстановление информации, например, остановка обратной перемотки до заданного положения на ленте)
		•	•				•	+	Плюс
		•	•				•	-	Минус
		•	•				•	Tab	Таблица (горизонтальная вдоль строки ГТ)
		•	•				•	/	Произвольный пропуск блока, фразы
•	•						•	%	Начало программы
		•	•				•	LF	Конец блока, фразы или кадра (перевод строки ПС)
		•	•				•	(Не для управления
•	•						•)	Для управления
•	•						•	Del	Строка не читается (забой ЗБ)

Рис. 16.5. Кодирование информации на перфоленте с использованием кода ISO-7bit

Цифры в двоичном коде 8–4–2–1 кодируют на первых четырех дорожках (рис. 16.6.). Программа считывается по кадрам, каждый из которых заканчивается символом ПС (LF).

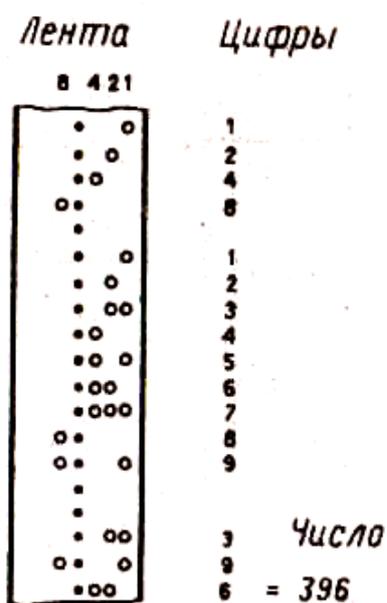


Рис. 16.6. Задания на перфоленте цифр в двоичном коде

с размерами A, B, G .

В качестве координатной системы детали может быть использована координатная система ее технологических баз или другая удобная система координат, построенная на плоскостях симметрии детали или на пересечении ее сторон.

При составлении программы размеры детали могут быть заданы в абсолютных значениях (в координатах от одной базы) или в приращениях. Для задания размеров в абсолютных значениях наиболее удобным будет простановка размеров на чертеже детали по координатному методу. Задание размеров координатным методом предусматривает наличие в чертеже начала отсчета. Эта точка выполняет функцию нулевой точки координатной системы детали (ноля детали). Размерные линии располагают параллельно координатным осям, и все они исходят из нулевой точки (рис. 16.7).

Для задания размеров в приращениях более удобным является простановка размеров на чертеже по цепному методу. При цепном методе каждый задаваемый размер получают вслед за ранее полученным от их общей базы (от ранее образмеренной позиции). При про-

граммировании в приращениях размеры, проставленные по цепному методу, необходимо представить как приращения от предыдущей образмеренной точки в выбранной системе координат детали.

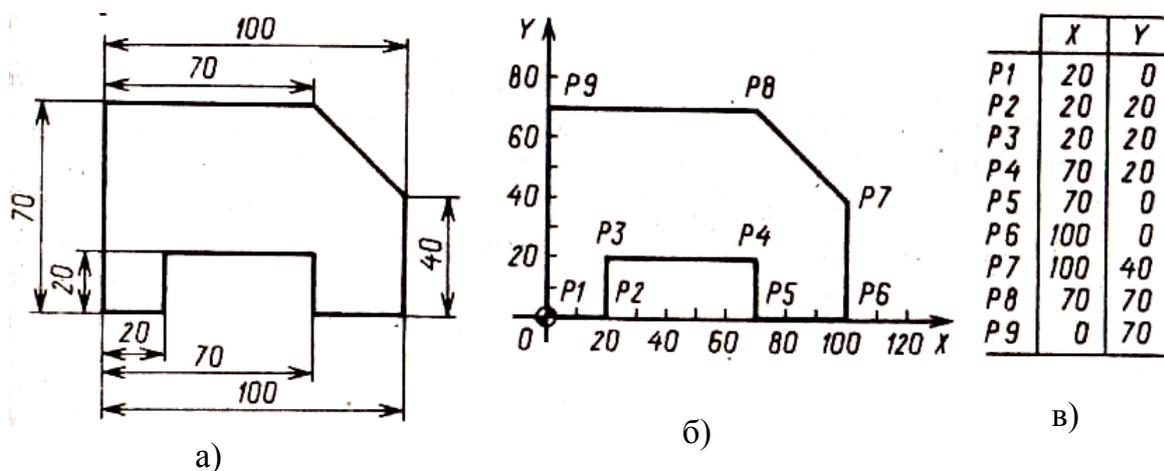


Рис. 16.7. Задания размеров при программировании в абсолютных значениях: а – простановка размеров на детали координатным методом; б – определение координат программируемых точек $P1-P9$; в – задаваемые значения координат для программируемых точек

С этой целью удобно использовать "малую" скользящую систему координат $O_i X_i Y_i$ (рис. 16.8), которую последовательно смещают от одной образмеренной точки к другой. Координаты каждой последующей точки $N(x_i y_i)$ в этой скользящей системе и представляют собой приращение размеров, используемых при программировании.

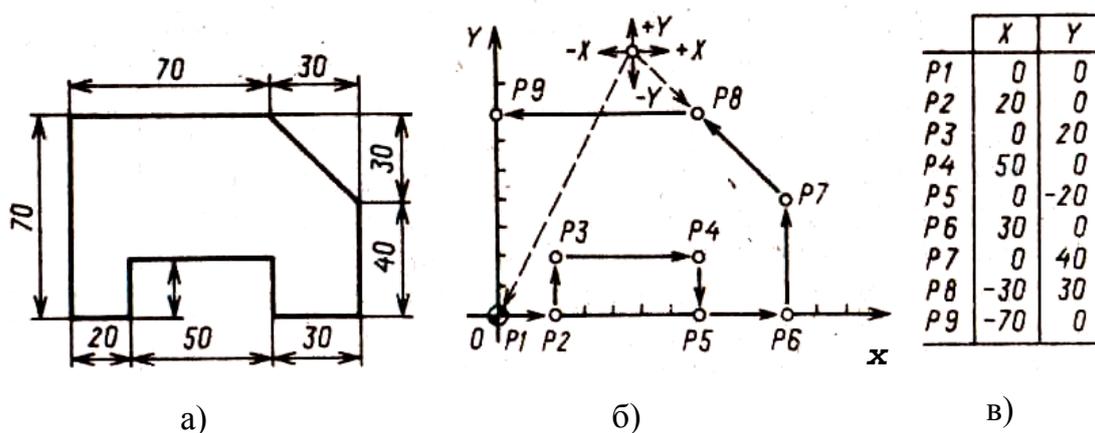


Рис. 16.8. Задания размеров в приращениях: а – простановка размеров детали цепным методом; б – определение приращений размеров в программируемых точках $P1-P9$; в – задаваемые приращения размеров для программируемых точек

При составлении программы необходимо задавать средние размеры детали. Это объясняется тем, что отклонения, возникающие в процессе обработки, с равной вероятностью могут быть направлены как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения размера. При несимметричном расположении допусков относительно номиналов средние значения размеров необходимо рассчитывать по приведенным формулам. Среднее значение координатного размера, образуемого несколькими цепными звеньями:

$$A_{cp} = \sum_{i=1}^{i=k} \left(B_i + \frac{\Delta_i^6 + \Delta_i^H}{2} \right),$$

где B_i – номинальные размеры цепных звеньев;

Δ_i^6, Δ_i^H – предельные отклонения размеров цепных звеньев;

k – число цепных звеньев, определяющих координатное звено.

Среднее значение цепного звена, образованного двумя координатными размерами A_i, A_{i+1} :

$$B_{cp} = (A_{i+1} - A_i) + \frac{(\Delta_{i+1}^6 + \Delta_{i+1}^H) - (\Delta_i^6 + \Delta_i^H)}{2},$$

где A_i, A_{i+1} – номинальные размеры двух координатных звеньев;

$\Delta_{i+1}^6, \Delta_{i+1}^H, \Delta_i^6, \Delta_i^H$ – верхние и нижние предельные отклонения размеров двух координатных звеньев.

Современные системы управления позволяют реализовать обработку при программировании размеров как в абсолютных значениях, так и в приращениях. Однако в большинстве случаев программирование в абсолютных значениях имеет преимущество: ошибка в одном размере (в одной точке) не влияет на остальные размеры, кроме того, при этом достигается большая наглядность при программировании.

Программирование в приращениях также имеет свои преимущества. Так, например, если отдельные участки контура изготавливаемой детали повторяются, то можно также повторять и соответствующие части программы, что существенно упрощает расчеты и разработку программы. На упрощение процесса программирования существенное влияние оказывает правильный выбор нулевой точки. Например, при выборе начала отсчета в точке $P1$ (см. рис. 16,7, б) значения программируемых координат полностью совпадают с поставленными размерами (см. рис. 16.7, а, в). Однако, если за начало отсчета

выбрать точку $P2$ (см. рис. 16.7, б), то большинство программируемых координат необходимо пересчитывать.

Для симметричных деталей программирование существенно упрощается, если систему координат детали расположить по осям симметрии с центральным расположением нулевой точки. При этом многие системы управления позволяют представить зеркальное отражение геометрии детали по осям.

16.2. Разработка управляющих программ для многоцелевых станков

Технологическая подготовка обработки корпусных деталей на станках с ЧПУ и многоцелевых станках существенно отличается от подготовки обработки на обычных универсальных станках. Она включает решение ряда технологических задач, направленных на разработку управляющей программы и получение необходимой технологической оснастки, обеспечивающих правильную настройку станка на обработку детали. Рассмотрим вопросы технологической подготовки на примере обработки корпусной детали (рис. 16.9) на автоматизированном участке, состоящем из двух многоцелевых станков 243ВМФ2 и 6904ВМФ2, соединенных гибким транспортом. Первый многоцелевой станок вертикальной компоновки, второй имеет горизонтальное расположение шпинделя и поворотный стол. Все это позволяет обрабатывать заготовку с разных сторон. Заготовка обрабатывается на спутниках, куда её закрепляет рабочий на участке установки и выверки. После этого она со спутником автоматически транспортируется к требуемому станку.

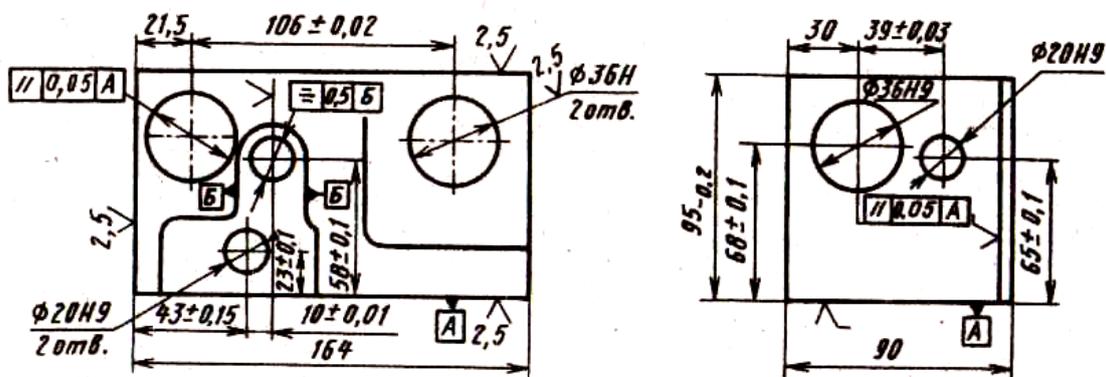


Рис. 16.9. Эскиз корпусной детали, изготавливаемой на автоматизированном участке

Спутник базируется на станке в координатный угол, ориентация и закрепление спутника осуществляются автоматическим приспособлением, установленным на столе станка.

Исходными для разработки управляющей программы и необходимой наладки станков являются чертежи детали и заготовки, разработанная технология на деталь, представленная в виде маршрута, технологические данные применяемого оборудования и системы ЧПУ. Технология изготовления корпусной детали предусматривает первоначальную обработку плоскости А и двух базовых отверстий диаметром 10Н7 с целью получения технологических баз. Затем от полученных баз выполняют последующую обработку всех остальных поверхностей заготовки. Плоскость А и два базовых отверстия диаметром 10Н7 обрабатывают на первом станке 243ВМФ2, а затем после переустановки заготовки обрабатывают остальные поверхности на втором станке 6904ВМФ2.

Определив задачи выполнения каждой операции и выбрав технологические базы, разрабатывают схему установки заготовки на станке. На первой операции заготовку базируют по трем плоскостям, при этом выставка ее на спутнике осуществляется по разметке с применением регулируемых опор (см. рис. 7.3). На второй операции заготовка базируется по плоскости и двум отверстиям. При этом ее устанавливают на подкладную плиту (адаптер), которая, в свою очередь, закрепляется на спутнике. Такая схема установки позволяет выполнять обработку поверхностей на проход с четырех сторон. Для каждой из обрабатываемой сторон на основе чертежа разрабатывают геометрический план обработки и определяют последовательность выполнения технологических переходов. Каждому отверстию на плане обработки присваивают номер в соответствии с последовательностью его обработки, следовательно, отверстия одного размера обычно имеют последовательные номера.

В соответствии с принятой схемой базирования для каждой установки детали выбирают систему начала отсчета (ноль детали). Относительно этой координатной системы производят пересчет всех размеров, определяющих положение обрабатываемых поверхностей. В результате составляют таблицу координат положения отверстий для каждого плана обработки. При обработке заготовки на втором станке

в качестве координатных плоскостей начала отсчета приняты плоскость A установочной базы (XOZ) и перпендикулярные к ней две плоскости симметрии детали XOY и YOZ (рис. 16.10). Такое положение начала отсчета означает наличие как положительных, так и отрицательных координат отверстий. Для фрезерования поверхности задают координаты положения центра фрезы, соответствующие началу и концу рабочего хода с учетом врезания и перебега фрезы.

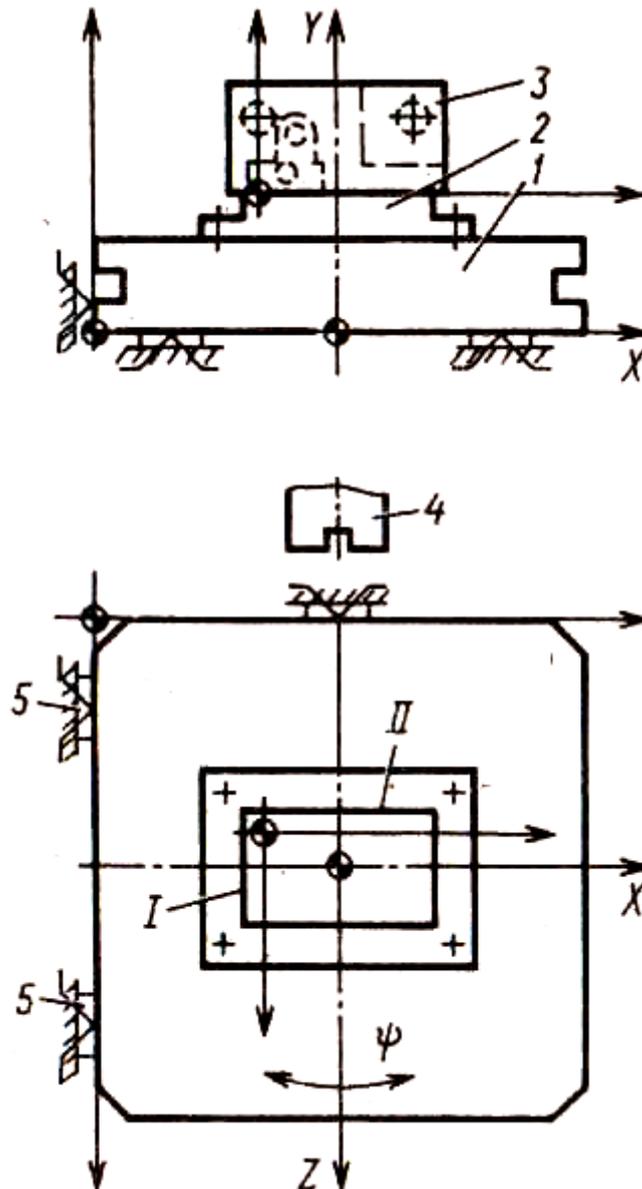


Рис. 16.10. Установка заготовки на спутнике при обработке на многоцелевом станке 6904ВМФ2: 1 – спутник; 2 – подкладная плита; 3 – заготовка; 4 – шпиндель; 5 – опорные элементы приспособления; I, II – позиции для последовательной обработки заготовки с двух сторон

На рис. 16.11 представлены планы обработки заготовки с двух сторон на станке 6904ВМФ2, а в табл. 16.4 приведены координаты отверстий и соответствующие геометрические данные планов обработки. В соответствии с намеченными переходами выбирают необходимый режущий инструмент и определяют режимы резания. В результате выполнения этого этапа составляют операционную карту механической обработки резанием, в которой отражается последовательность выполнения технологических переходов на каждой стороне детали, состав применяемого инструмента и технологической оснастки, режимы резания и соответствующие затраты основного и вспомогательного времени на каждом переходе.

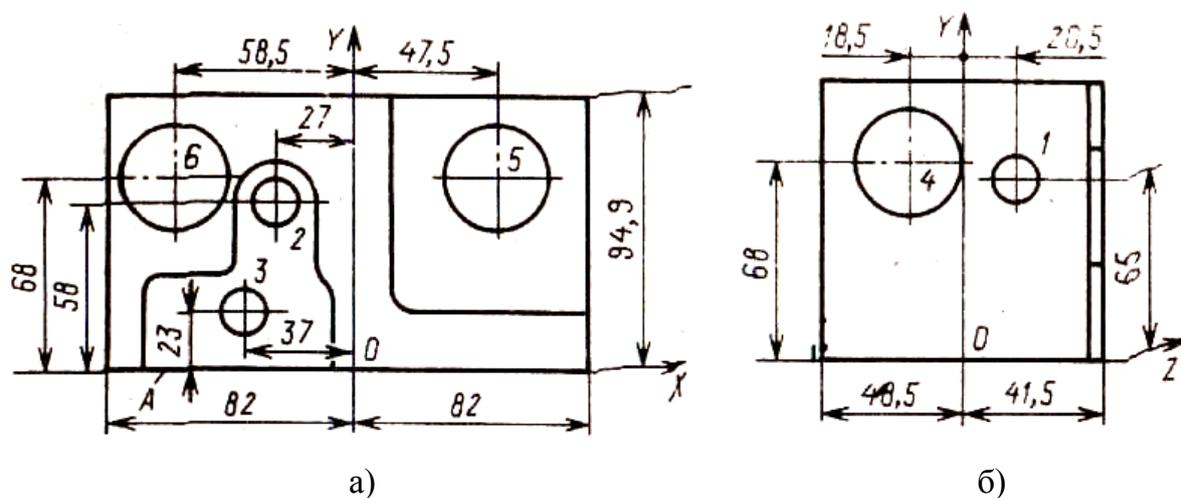


Рис. 16.11. План обработки заготовки: а – со стороны II; б – со стороны I

Используя операционную карту механической обработки и данные по станку с рекомендациями по созданию формообразующих и вспомогательных движений, составляют для каждой операции расчетно-технологическую карту. В этой карте показывают траекторию относительного перемещения режущего инструмента, координаты опорных точек относительного положения детали и инструмента, положение нулевой плоскости, радиус инструмента, приводят данные о расположении припуска на обрабатываемых поверхностях заготовки (см. табл. 16.4).

Для составления управляющей программы разработанный технологический процесс изготовления детали на станке кодируют с использованием кода ISO-7bit.

При этом применяют таблицы принятых на станке кодов частоты вращения шпинделя и значения подач, а также таблицы кодов подготовительных и вспомогательных функций, кодов стандартных циклов и шифра режущего инструмента. Управляющая программа формируется из ряда последовательных кадров, формат которых представлен выше.

Кодирование процесса обработки отражают в технологической программной карте (бланк-программе). Технологическая программная карта для обработки на станке 6904ВМФ2 рассматриваемой корпусной детали (см. рис. 16.9) представлена в табл. 16.5. Технологическая программная карта отражает в кодовой записи последовательность и содержание подготовительных команд и выполняемых технологических переходов, каждый из которых представлен несколькими кадрами управляющей программы.

С технологической программной карты кодированную информацию переносят на восьмидорожковую перфоленту или на другой программно-носитель. Это делают на специальных программаторах или на других устройствах, применяемых для подготовки управляющей программы. С помощью алфавитно-цифровой клавиатуры оператор вводит закодированную технологическую информацию, получая при этом на перфоленте управляющую программу и бланк ее распечатки, используемый для контроля.

Получение управляющей программы еще недостаточно для настройки станка. Поэтому помимо технологической программной карты для наладчика составляют карту наладки станка, в которой указывают относительное положение приспособления на столе станка и размерную связь координатных систем детали, приспособления и станка (табл. 16.6). В карте наладки показывают также измерительные базы и последовательность выполнения настройки станка, обеспечивающие согласование нулей станка – инструмента – детали. Кроме этого в карте приводят номенклатуру применяемого режущего инструмента с указанием требуемых размеров точной выставки его в осевом и радиальном направлениях.

Таблица 16.6

Карта наладки

Модель станка	СЧПУ	Универсальная		Масштабник АСМО	Карта наладки	КН				
		Наименование	Номер							
6304ВМФ2	Размер 2М	Фрезерно-сверлильный-расточный	Номер			Литера				
<p>Вид А</p>										
№ позиций инструмента	01	03	05	07	09	11	13	14	16	21
Режущий инструмент	Фреза торцовая Ф123 мм ВХА	Фреза торцовая Ф80 Эльбор-Р	Фреза концевая Ф40 РБМЗ	Фреза концевая Ф34 РБМЗ	Фреза концевая Ф32 РБМЗ	Сверло спиральное короткое Ф30 РБМЗ	Сверло спиральное Ф18 РБМЗ	Зенкер Ф19,7	Развертка машинная Ф20Н9	Берштанга расточная Ф35,7
Вспомогательный инструмент	Специальная заточка винта	Специальная заточка винта	Винт	Винт	Винт	Винт	Винт	Винт	Винт	Винт
Вылет инструмента, мм	50	100	150	200	250	300	350			
Эскиз обработки										
<p>Установка нуля</p> <p>Совместить ось шпинделя с осью поворотного стола - X + 000.000</p> <p>Установить ось шпинделя на расстоянии 350 мм от плоскости направляющих приспособлений - Y + 250.000</p> <p>Установить размер 163 мм между торцом фрезы (T03) и осью поворотного стола - Z + 0000.000</p>										
<p>Имя файла: 6304ВМФ2_01_03_05_07_09_11_13_14_16_21.dwg</p> <p>Имя папки: 6304ВМФ2_01_03_05_07_09_11_13_14_16_21</p> <p>Имя пользователя: Имя пользователя</p> <p>Имя компьютера: Имя компьютера</p> <p>Имя сервера: Имя сервера</p> <p>Имя контроллера: Имя контроллера</p>										

Обычные системы ЧПУ с программносителем в виде перфоленты обеспечивают возможность считывания, запуска и прерывания работы заданной программы, которую составляют вне станка. При этом режущий инструмент и необходимые приспособления заранее определены и указаны в соответствующих картах наладки. Таким образом, изменение заданной программы, кроме внесения определенной коррекции в размеры или в режимы, практически исключается.

При использовании компьютерных систем ЧПУ типа CNC технологические возможности программного оборудования и его гибкость значительно расширяются. С помощью компактных электронных программносителей оператор быстро вводит одну или несколько управляющих программ в память ЭВМ. Управляющая программа может быть составлена и отредактирована оператором непосредственно у станка и введена в систему с помощью клавиатуры.

Создание ЧПУ на базе ЭВМ обеспечивает получение свободно программируемых систем числового управления станками. Структурная схема компьютерной системы ЧПУ в общем виде представлена на рис. 16.12.

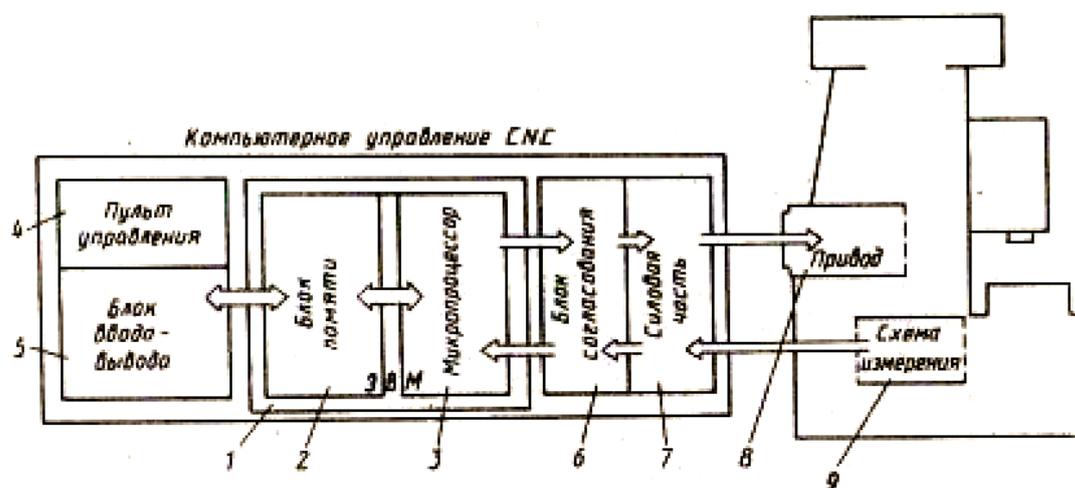


Рис. 16.12. Структурная схема компьютерной системы ЧПУ станка

Компонентами системы служат следующие элементы:

- мини-ЭВМ 1, включающая блок памяти 2 и процессор 3;
- пульт 4 управления системой с модулем 5 считывания и вывода управляющей программы;
- модуль 6 логических элементов управления и согласования координатных приводов;

- модуль 7 тиристорного управления следящими приводами;
- привод 8 движения по управляемым координатам;
- измерительная система 9 обратной связи и диагностики состояния оборудования.

Использование в системе компьютеров современной концепции с достаточной внутренней памятью позволяет записывать и продолжительное время хранить требуемый набор управляющих программ, необходимое программно-математическое обеспечение (ПМО), а также данные по оборудованию.

Пульт управления обеспечивает широкие сервисные возможности при работе системы в различных режимах, в том числе ручной ввод и редактирование программы с использованием графического дисплея и средств индикации, диалоговое общение с системой, а также расширенную индикацию при многофункциональной системе контроля и диагностики состояния оборудования.

Модуль 5 ввода и вывода осуществляет также подключение периферийных устройств на этапе отладки эксплуатации оборудования для считывания и передачи информации с различных программносителей, а также для присоединения внешнего запоминающего устройства (ВЗУ), обеспечивающего дополнительное наращивание памяти ЭВМ.

С помощью пульта можно просмотреть по кадрам на дисплее или на устройствах индикации всю программу или ее часть и в случае необходимости редактировать ее, т. е. внести в отдельные кадры изменения и коррекцию. При этом оператор имеет возможность работать с архивом программ, расположенных как во внутренней, так и во внешней памяти, а также просматривать и задавать режим работы оборудования. Это позволяет учитывать возможные погрешности в кинематических передачах, определять ограничения рабочей зоны и режимов обработки, учитывать динамику привода на формирование требуемых переходных процессов при разгоне и торможении.

Модуль 6 логических элементов управления и согласования работы привода выполняет функции управляющего контролера станочной автоматики. Он может быть реализован как контролер с постоянно заданной системой логических связей или как программируемый микропроцессор, доступ к которому осуществляется от пульта управления. Все это позволяет формировать как типовые, так и нестандарт-

ные циклы обработки применительно к решению различных технологических задач, а также программировать от пульта логику работы силового оборудования станка [15].

В компьютерных системах ЧПУ подготовка и ввод управляющей программы непосредственно с клавиатуры пульта осуществляется в режиме диалогового программирования с использованием графического моделирования на терминале. Подготавливают и вводят управляющие программы с пульта управления при сравнительно коротких программах для изготовления простых деталей (валов, фланцев, плит и др.). При этом ввод новой программы может быть совмещен с обработкой на станке другой детали.

Программу для сложных деталей целесообразно составлять вне станка, используя методы ручной или автоматизированной подготовки управляющих программ. С этой целью удобно применять создаваемые на базе микропроцессоров специальные программаторы, в которых также реализуется диалоговый метод разработки программ с графическим моделированием на дисплее. Если между программатором и компьютерной системой ЧПУ станка имеется локальная связь, то разработанная программа может быть напрямую передана в память ЭВМ станка. Для быстрого составления и ввода программ, их редактирования, считывания и записи используют системное меню, включающее вложенный список команд системы, панель инструментов и строку подсказки.

16.3. Диалоговое программирование на станках с ЧПУ

Работа с компьютерными системами ЧПУ предусматривает выполнение непосредственно у станка различных операций по программно-информационному обеспечению. Сюда относятся составление и ввод программ, их редактирование, считывание, запись и др. Для облегчения выбора и выполнения этих операций все взаимосвязанные функции обслуживания представлены в диалоговой программе как пять видов работ, которые высвечиваются на дисплее в виде меню 6 на одном из первых кадров (рис. 16.13). При выборе требуемой работы, которая идентифицируется порядковыми номерами 1...5 или первой буквой наименования E, D, T, происходит переход на следующий кадр, в ко-

тором также в виде меню указывается состав операций, выполняемых при работах соответствующего вида [19].

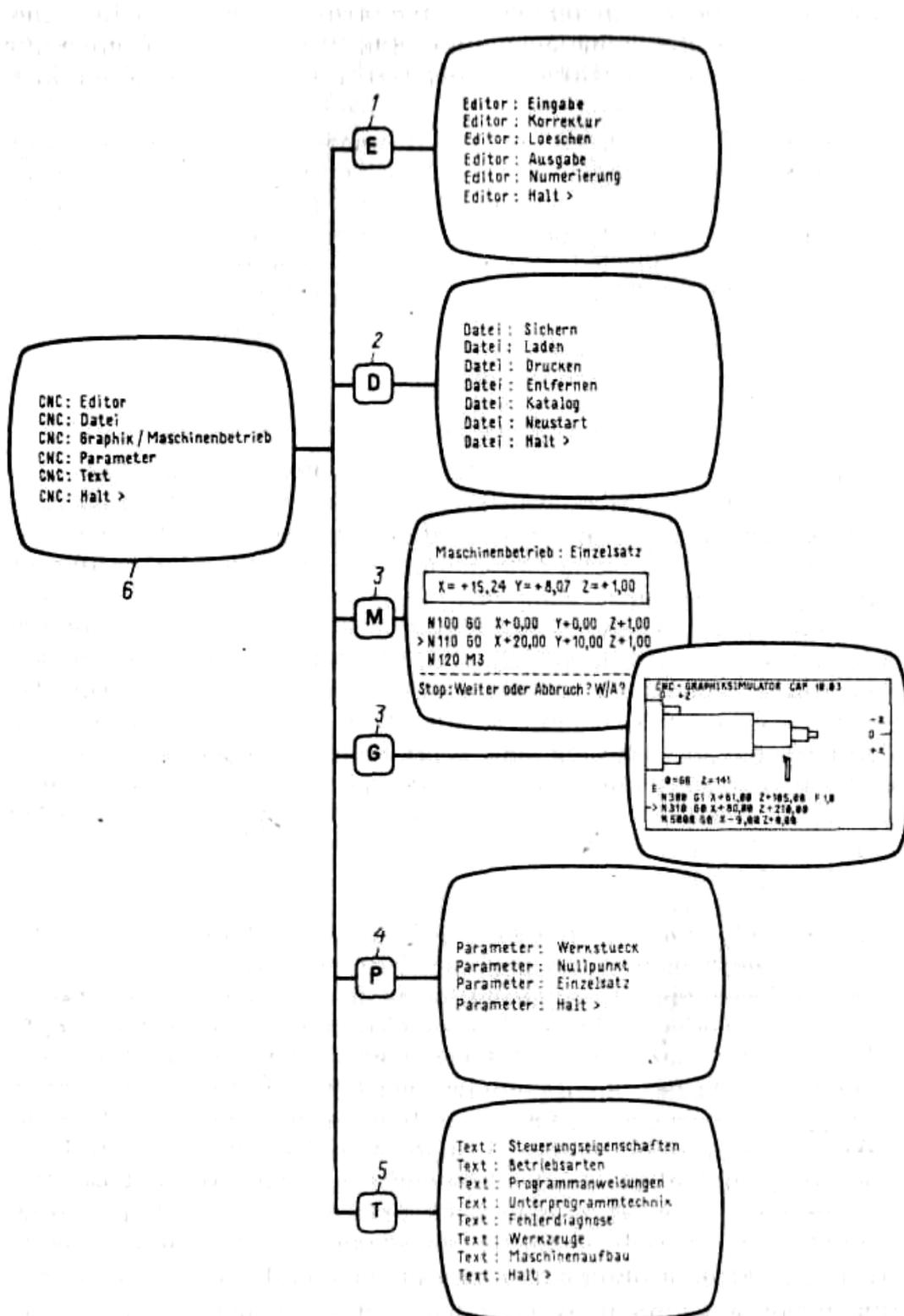


Рис. 16.13. Возможности диалогового программирования на станках с компьютерной системой ЧПУ

Работа 1 «Редактирование» направлена на составление программ и включает такие операции, как «Ввод 1.1», «Коррекция 1.2», «Стирание 1.3», «Вывод программ 1.4» и «Нумерация кадров 1.5».

Работа 2 «Управление» выполняет операции по манипулированию с информацией в программе при ее загрузке, при передаче в архив, на экран дисплея или на распечатку в виде листинга. Операции, которые при этом выполняются, обеспечивают архивирование 2.1, загрузку 2.2, печать 2.3, удаление программ 2.4, а также ввод каталога программ 2.5 и новый пуск 2.6.

Работа 3 «Графика» (машинная реализация) предусматривает вывод на дисплей результатов графического моделирования технологических переходов 3.1 по обработке заготовки с распечаткой текущих кадров управляющей программы 3.2.

Работа 4 «Параметры» предполагает выполнение операций по выводу на дисплей ряда основных параметров, относящихся к детали 4.1, нулевой точке 4.2, к разделению программы на части 4.3.

Работа 5 «Темы» предусматривает вывод на дисплей информации по характеристикам управления 5.1, видам обслуживания 5.2, указания по программированию 5.3, диагностике ошибок 5.4, инструменту 5.5 и конструкции станка 5.6.

Вызов подпрограммы на решение требуемой задачи, указанной в меню, обеспечивается цифровым кодом ее порядкового номера, например 1.2, 2.4, 3.1. При выполнении команды [STOP] происходит возврат в меню работ к первому кадру, а при повторном ее выполнении – выход из диалоговой программы.

Рассмотрим формат кадров, формируемых на экране дисплея при решении отдельных задач диалогового программирования. «Ввод 1.1» на экране индицируется задание кадра NC программы с выводом номерного знака $N...$, за которым располагается курсор (рис. 16.14, *a*). В результате последовательного задания с помощью клавиатуры номера кадра, адресных букв G , M или T с соответствующим цифровым кодом, а также значений координат X , Y , Z и функции подачи F происходит формирование кадра программы. При этом последовательность вводимых параметров наглядно определяется подвижным курсором и индицируемыми на экране символами. Переход от задания одной части кадра (слова) к другой выполняется командой [RETURN]. По окончании задания кадра в ниж-

ней части экрана возникает вопрос (рис. 16.14, з). Продолжение: да (*Ja*), нет (*Nein*). При ответе на экране возникает аналогичный формат очередного кадра, и он запоминается. При ответе [Н]ет осуществляется возврат к меню данного вида работ.

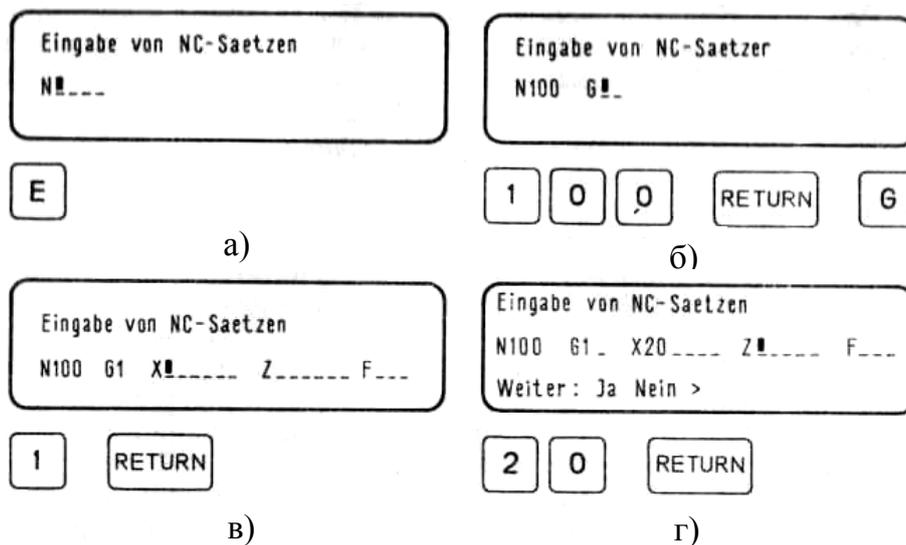


Рис. 16.14. Задание кадров программы с терминала: а – ввод номера кадра; б – ввод требуемых адресных букв *G*, *M*, или *T*; в – ввод цифровых значений соответствующих функций; г – задание значений координат

При вызове подпрограммы «Коррекция 1.2» на экране появляется запрос номера корректируемого кадра. В результате введения номера кадра, например 102, на экране высвечивается вызванный кадр программы и с помощью подвижного курсора выполняется коррекция требуемого слова. По окончании процедуры коррекции в нижней части экрана высвечивается вопрос «Продолжение»: да, нет. При ответе [Д]а высвечивается последующий кадр программы и процедура коррекции повторяется, а при ответе [Н]ет происходит возврат в меню данного вида работ. Откорректированный кадр поступает при этом на свое место в ячейку памяти программы.

В результате обращения к подпрограмме «Машинная реализация 3.2» на экране дисплея высвечивается информация текущего кадра управляющей программы, а также данные трех последующих кадров (рис. 16.15). Обращение к подпрограмме «Графика 3.1» позволяет вывести на экран результаты графического моделирования определенного технологического перехода. При этом высвечиваются координаты ис-

ходной точки, поля детали, траектория режущего инструмента, определяющая разбиение припуска на проходы (рис. 16.16).

Диалоговое программирование ориентируется под определенный вид станков с учетом их технологических особенностей и конструкции. Обмен информацией при этом может осуществляться не только через дисплей, но также через приборы световой индикации. Такой вариант реализован в микропроцессорной системе «Электроника НЦ-31», используемой на роботизированных технологических комплексах токарного типа. Система имеет внутреннюю память – оперативно-запоминающее устройство (ОЗУ), в котором распо-

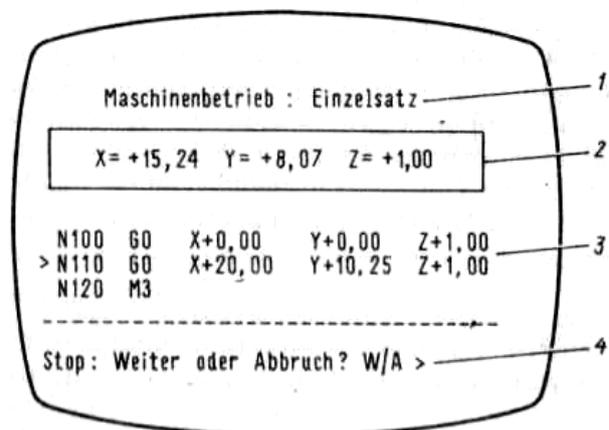


Рис. 16.15. Вывод на дисплей текущего кадра программы: 1 – обрабатываемый кадр; 2 – текущие координаты; 3 – последующие кадры программы; 4 – указания по дальнейшей работе

ложены шесть областей памяти под номерами от 0 до 5. В каждой такой области может храниться одна или несколько управляющих программ, вместимость которых не превышает в сумме 250 кадров. В присоединяемой кассете – внешнее запоминающее устройство (ВЗУ), в котором дополнительно находится восемь областей внешней памяти под номерами от 6 до 13. Кассеты внешней памяти удобно использовать в качестве оперативного носителя управляющих программ между рабо-

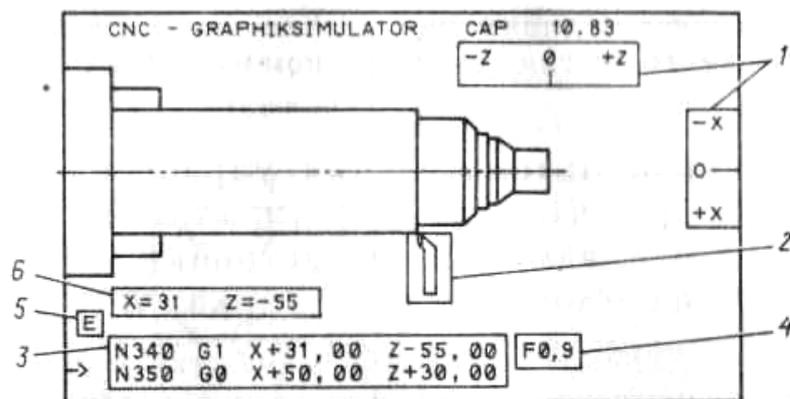


Рис. 16.16. Вывод на дисплей результатов графического моделирования технологического перехода: 1 – координатная система с указанием ноля детали и направления отсчета координат; 2 – режущий инструмент; 3 – текущие кадры программы; 4 – значение рабочей подачи; 5 – код (идентификатор) вида работы; 6 – текущие значения координат

чей системой на станке и центральным архивом управляющих программ. Программа для запуска на обработку, для просмотра или редактирования должна находиться в нулевой области. Для этого перезаписывают программы, т. е. производят обмен между областями памяти с массивами по 250 кадров. При этом в процессе переписывания каждая программа контролируется системой на сохранность и при обнаружении отклонений выдается соответствующее сообщение. Дополнительно в системе имеется ячейка памяти для хранения параметров станка. Ввод и вывод этих параметров осуществляются оператором, который отслеживает соответствующие параметры при их индикации на пульте управления.

Контрольные вопросы

1. Какие технологические задачи решаются с помощью позиционных систем программного управления?
2. Объясните сущность работы контурных систем программного управления.
3. Объясните правило построения координатных систем на станках с ЧПУ.
4. Что обозначают понятия ноль станка, ноль детали, ноль инструмента?
5. С какой целью контур обрабатываемой детали разделяют опорными точками на определенные геометрические элементы?
6. Как вы понимаете задание размеров в абсолютных значениях?
7. Как вы понимаете задание размеров в приращениях?
8. Какие геометрические элементы используют для отображения контура обрабатываемой детали?
9. Как определяется положение опорных точек абсолютными размерами и размерами в приращениях?
10. Как задать размер в управляющей программе, если на чертеже детали размер определен с указанием допуска?
11. Как осуществляется программирование перемещения по прямой линии на ускоренной подаче?
12. Как выполняется программирование перемещения по прямой линии на рабочей подаче?

13. Как происходит программирование перемещения по дуге в заданном направлении?
14. Как осуществляется программирование перемещения на рабочей подаче по прямой дуге в заданном направлении?
15. Какие технологические задачи можно решить путем задания соответствующих команд подготовительных функций?
16. Какая информация и в какой последовательности записывается в кадре управляющей программы?
17. Какая технологическая информация в программе задается командами вспомогательных функций?
18. Назовите основные виды применяемых программоносителей.
19. Как составляется расчетно-технологическая карта?
20. Какая информация вводится в технологическую программную карту?
21. С какой целью составляется карта наладки станка?
22. Объясните преимущества применения диалоговой системы программирования.

ГЛАВА 17. АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ И СТАНКАХ С ЧПУ

Автоматизированные участки многоцелевых станков, предназначенные для изготовления различных деталей в условиях мелкосерийного производства, обладают широкими технологическими возможностями и гибкостью в решении стоящих производственных задач. Автоматическая замена заготовок и режущего инструмента позволяет выполнять на одной рабочей позиции различные технологические переходы, обеспечивая практически полную обработку детали с минимальным числом переустановок. Если в прошлом автоматизация касалась главным образом крупносерийного и массового производства, то в результате развития ЧПУ и средств вычислительной техники стала возможной автоматизация мелкосерийного и единичного производства. Различие в направлении и степени автоматизации крупно-, мелкосерийного и единичного производства заключается в том, что в первом случае имеет место жесткая, а во втором – гибкая автоматизация.

Увеличение степени автоматизации в ГПС означает постоянное расширение технологических задач, решаемых без непосредственного участия человека. Автоматизируются не только формообразующие движения и все вспомогательные перемещения, связанные с заменой заготовки и инструмента, но и операции контроля за качеством изделий, ходом процесса, состоянием инструмента и оборудования и управления ими.

17.1. Управление точностью на этапах установки, статической и динамической настройки станка

Процесс достижения требуемой точности при изготовлении деталей на многоцелевых станках в ГПС включает три этапа настройки технологической системы: этапы установки, статической и динамической настройки. На этапе установки происходят разметка заготовки, ориентация и закрепление ее на спутнике, установка спутника на станок, а также автоматическая установка режущего инструмента в шпиндель станка. В результате формируется размер установки A_y . При статической настройке инструмент по программе выводится относительно технологических баз детали на размер A_c , а затем при динамической настройке в процессе резания в результате деформирования формируется размер динамической настройки A_d . Таким образом, размер, получаемый на детали, определяется как сумма

$$A_{\Delta} = A_y + A_c + A_d.$$

На рис. 17.1 показана схема прохождения заготовки корпусной детали и инструмента по различным позициям технологического оборудования автоматизированного участка. Каждой технологической позиции и режущему инструменту соответствует определенная система координат. Прохождение детали и инструмента означает последовательный переход из одной координатной системы в другую

$$U_D \rightarrow \{U_p; U_{сп}; U_{тр}; U_{п}\}, \quad U_{И} \rightarrow \{U_n; U_p; U_m; U_{ш}\}$$

и образование в каждой из систем соответствующих размерных связей. В результате на каждой из позиций технологического оборудования происходит формирование отклонений, влияние которых на точность обработки проявляется на заключительном этапе, когда осуществляется процесс резания.

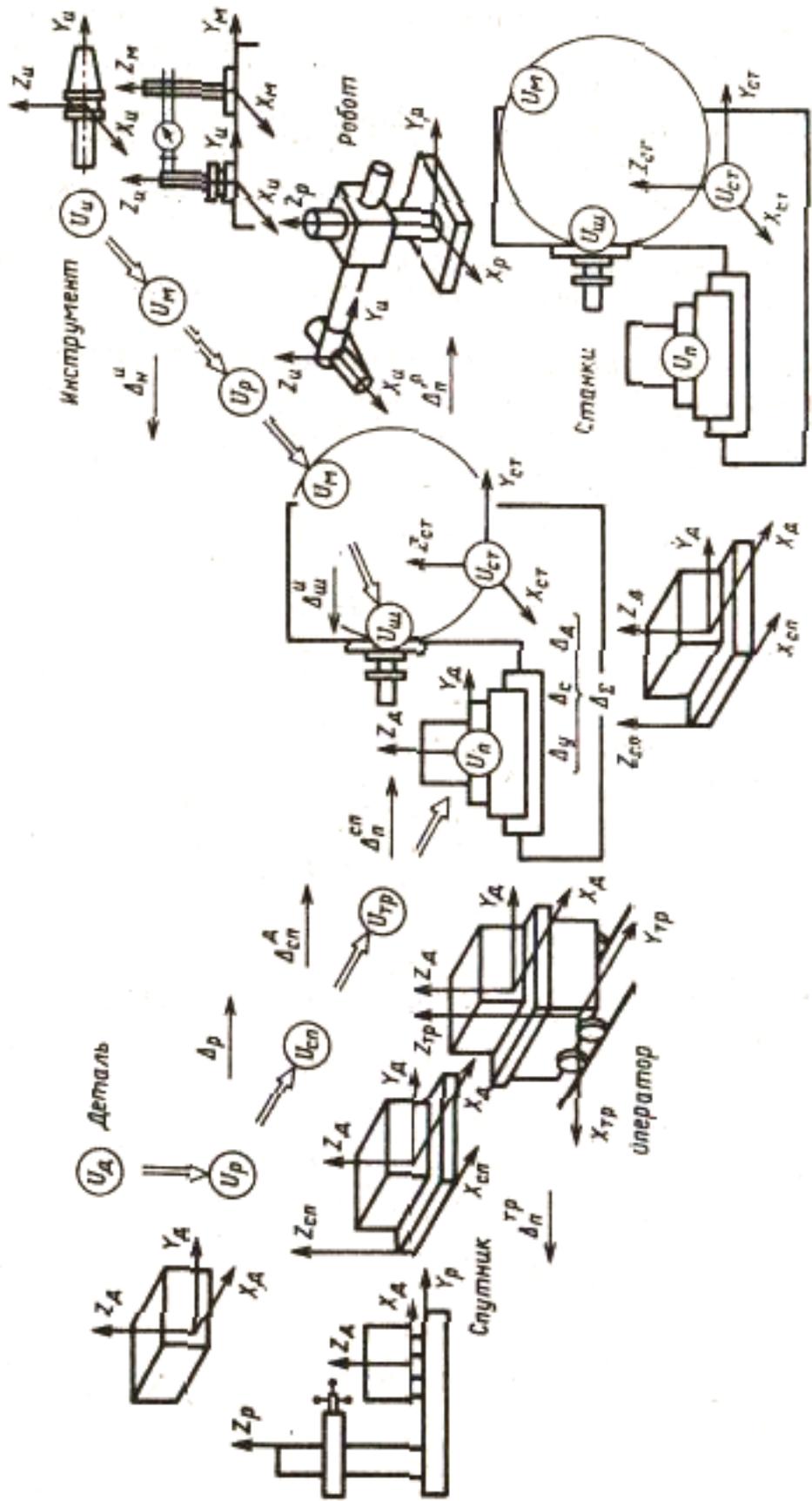


Рис. 17.1. Формирование размерных связей на этапах достижения точности при изготовлении деталей в ГПС

Отклонения, возникающие при выполнении разметки Δ_p , при установке детали на спутник Δ_{cn}^d и при установке спутника в приспособление на столе станка Δ_{cn}^n – все это составляющие погрешности Δ_y^d , формируемой на этапе установки детали:

$$\left\{ \begin{array}{ccc} |U_d| & |U_d| & |U_{cn}| \\ \Downarrow \Rightarrow \Delta_p; & \Downarrow \Rightarrow \Delta_{cn}^d; & \Downarrow \Rightarrow \Delta_{cn}^n \\ |U_p| & |U_{cn}| & |U_n| \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta_y^d.$$

В свою очередь, отклонения, возникающие при настройке инструмента на размер Δ_p^n и при его установке в шпиндель $\Delta_{ш}^n$, определяют погрешность положения исполнительных поверхностей инструмента на станке:

$$\left\{ \begin{array}{cc} |U_H| & |U_H| \\ \Downarrow \Rightarrow \Delta_H^n; & \Downarrow \Rightarrow \Delta_{ш}^n \\ |U_M| & |U_{ш}| \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta_y^n.$$

Таким образом, на этапе установки происходит формирование суммарной погрешности Δ_y со стороны детали и режущего инструмента $\Delta_y \in (\Delta_y^d; \Delta_y^n)$.

Отклонения относительного положения детали Δ_c^d и инструмента Δ_c^n в системе координат станка, возникающие при их перемещении без рабочих нагрузок, означают формирование отклонений на этапе статической настройки:

$$\left\{ \begin{array}{cc} |U_d| & |U_H| \\ \Downarrow \Rightarrow \Delta_c^d; & \Downarrow \Rightarrow \Delta_c^n \\ |U_{CT}| & |U_{CT}| \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta_c.$$

Отклонения размера динамической настройки Δ_δ формируются в процессе резания

$$\left\{ \begin{array}{cc} |U_d| & |U_H| \\ \Downarrow \Rightarrow \Delta_\delta^d; & \Downarrow \Rightarrow \Delta_\delta^n \\ |U_{CT}| & |U_{CT}| \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta_\delta.$$

Суммарные отклонения, формируемые на замыкающем звене в результате выполнения трех этапов, составляют:

$$\Delta_\Sigma = \Delta_y + \Delta_c + \Delta_\delta. \quad (17.1)$$

Отклонения, возникающие на транспортных позициях Δ_{II}^{TP} , Δ_{II}^P при перемещении спутника с деталью и инструмента с помощью каретки и робота

$$\left\{ \begin{array}{cc} |U_{CT}| & |U_{II}| \\ \Downarrow & \Downarrow \\ \Rightarrow \Delta_{II}^{TP} & \Rightarrow \Delta_{II}^P \end{array} \right\}$$

должны быть в пределах, при которых обеспечивается надежное прохождение потока деталей и инструмента.

По окончании обработки на первом станке деталь поступает на второй станок $U_{CT}^{(2)}$, где имеет место аналогичная схема формирования отклонений. Различие отклонений, формируемых на этапе установки на первом $\Delta_y^{(1)}$ и втором $\Delta_y^{(2)}$ станках, является $\Delta_y^{(1)} \neq \Delta_y^{(2)}$ дополнительным фактором, оказывающим существенное влияние на точность относительного положения поверхностей, полученных на двух станках. Влияние этого фактора еще более возрастает при переустановке детали, когда происходит смена баз.

Приведенная схема показывает, что достижение точности при изготовлении деталей в ГПС обеспечивает сложная система технологических размерных связей, образуемых на различных этапах выполнения процесса при прохождении детали и инструмента по различным позициям технологического оборудования. При этом формирование размерных связей и возникновение соответствующих отклонений происходит еще до поступления детали на рабочую позицию многоцелевого станка, размерная настройка которого означает достижение требуемой точности относительного положения координатных систем детали, инструмента, спутника и приспособления в системе координат станка. Изменение положения этих систем относительно начала отсчета в главной координатной системе станка представляет собой результат совместного влияния отклонений, формируемых на этапах установки, статической и динамической настройки. Различные по своему характеру и природе возникновения, эти отклонения проявляются на заключительном этапе обработки детали на станке как пространственные отклонения размеров и относительных поворотов замыкающих звеньев технологической системы.

Если на обычных станках и на станках с ЧПУ, обслуживаемых оператором, функции управления и контроля за ходом процесса выполняет рабочий, то на многоцелевых станках в ГПС при реализации безлюдной технологии эти задачи должны решаться с помощью сис-

тем управления. Сюда входит управление точностью установки, коррекция статической настройки, управление режимами на различных переходах, оценка параметров точности детали и состояния режущего инструмента на станке. Это означает комплексное управление размерными связями гибких технологических систем на этапах достижения точности. Эффективное решение этой проблемы определяют два аспекта: управление точностью на этапе проектирования оборудования и процесса, а также управление непосредственно на станке при выполнении технологического процесса.

Управление в процессе обработки означает создание на базе микропроцессорной техники автоматических систем, реализующих принципы адаптивного управления на различных этапах достижения точности, включая установку, статическую и динамическую настройку оборудования.

Коррекция статической настройки в исходном положении

Такая коррекция осуществляется по результатам оценки точности установки инструмента, детали и спутника. На автоматических участках многоцелевые станки работают в заранее запрограммированном жестком автоматическом цикле, в процессе которого отсутствуют контроль и компенсация отклонений при выполнении каждого из этапов достижения точности обрабатываемой детали. Такие станки работают в режиме автоматической перенастройки с обработки детали одного типа-размера на другой.

Для получения на станках с ЧПУ и многоцелевых станках требуемой точности обработки уже на первых деталях каждой новой партии необходимо обеспечить равенство фактически получаемых размеров статической настройки и размеров, заданных в управляющей программе. Это равенство размеров зависит от сохранения первоначальной точности положения режущих кромок инструмента и баз станка относительно начала отсчета. Для этого необходимо компенсировать погрешность статической настройки, получаемую в результате размерного износа режущего инструмента и температурного деформирования технологической системы, а также в результате замены режущего инструмента, спутника с деталью и перемещения рабочих органов в новое исходное положение.

Решение этой задачи достигается с помощью автоматических систем, обеспечивающих коррекцию точности статической настройки в исходном положении. Принципиальная схема системы автоматической коррекции представлена на рис. 17.2. С помощью измерительного устройства 1, состоящего из одного или нескольких датчиков, измеряется точность положения вершины режущей кромки инструмента и баз станка относительно начала отсчета размеров. Точность относительного положения измеряется перед обработкой очередной партии деталей; при этом рабочие органы станка находятся в исходном положении или выводятся по программе в определенную контрольную позицию. Информация о точности статической настройки с измерительного устройства поступает в блок коррекции 3, туда же с задающего устройства 2 подается сигнал о требуемой точности статической настройки. Получаемый в результате сравнения сигнал рассогласования, соответствующий отклонению статической настройки, подается для отработки на исполнительные механизмы станка 5.

Статическая настройка может корректироваться как с помощью специально встраиваемых в станок механизмов малых перемещений, так и с помощью исполнительных механизмов системы ЧПУ станка. В этом случае сигнал рассогласования подается в блок коррекции системы ЧПУ 4. В результате в системе ЧПУ производится автоматическая коррекция выполняемой программы по соответствующей координате в соответствии с фактическим отклонением размера статической настройки. Таким образом, все последующие детали обрабатывают с учетом внесенной коррекции. Такая коррекция учитывает погрешность статической настройки, обусловленную размерным изнашиванием режущего инструмента, температурным деформированием технологической системы и другими факторами, вызывающими изменение положения режущих кромок инструмента и баз станка относительно начала отсчета.

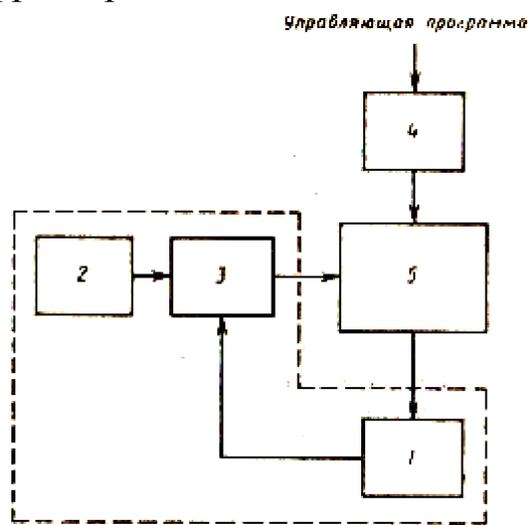


Рис. 17.2. Схема системы автоматической коррекции

Статическую настройку в исходном положении необходимо корректировать при перенастройке станка непосредственно перед обработкой первой детали очередной партии. Именно на этом этапе погрешность статической настройки, как правило, составляет наибольшее значение и ее необходимо автоматически компенсировать. Автоматическую коррекцию статической настройки можно осуществлять также непосредственно в процессе обработки партии деталей после одного или нескольких циклов. Это повышает точность обработки за счет уменьшения влияния систематически действующих факторов.

Рассматриваемый способ коррекции статической настройки основан на измерении точности положения инструмента и спутника с деталью относительно начала отсчета. Для получения информации о положении режущего инструмента и его размерном износе применяют контрольно-измерительные системы с использованием индуктивных, электроконтактных, пневматических и фотоэлектрических датчиков-преобразователей. Более универсальными считаются системы, работающие по принципу касания режущей кромки измерительного наконечника, по которым фиксируют отклонения различного инструмента (рис. 17.3).

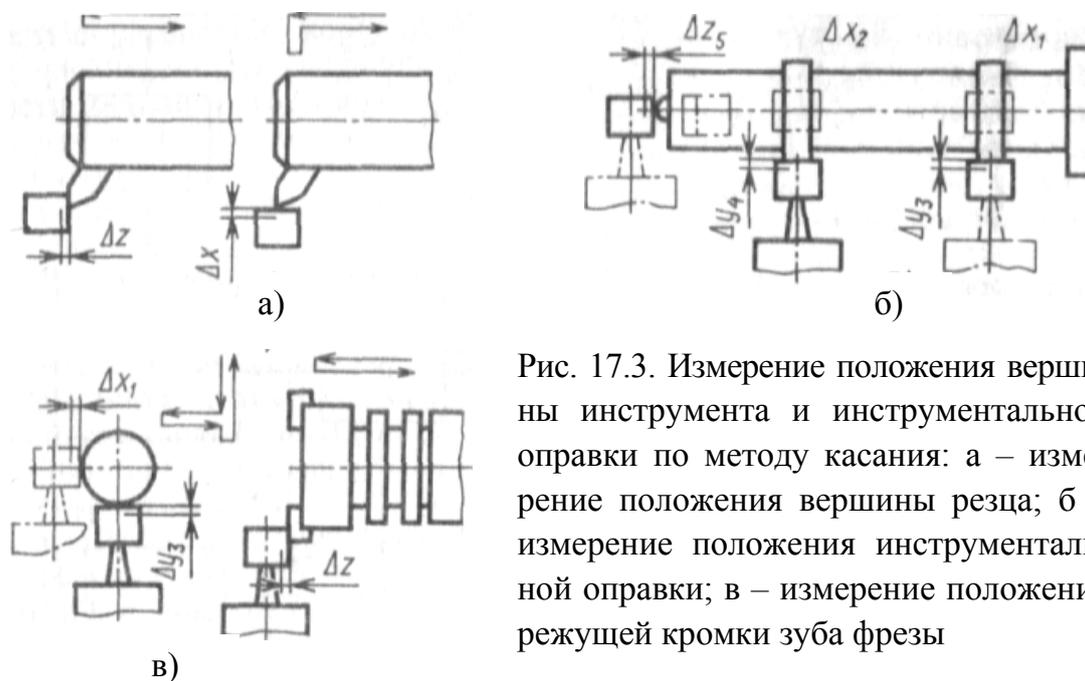


Рис. 17.3. Измерение положения вершины инструмента и инструментальной оправки по методу касания: а – измерение положения вершины резца; б – измерение положения инструментальной оправки; в – измерение положения режущей кромки зуба фрезы

Для контроля точности положения исполнительных поверхностей инструмента в трех координатных плоскостях применяют трехкоординатные измерительные головки стационарного исполнения. Использование измерительной головки позволяет определить целост-

ность инструмента и отклонения его вершины в трех координатных направлениях; параметры вектора Δ_y^u , характеризующего отклонения инструмента относительно стола станка, обусловленные совокупным влиянием погрешности его установки в шпиндель, размерным износом и температурными деформациями звеньев.

Для контроля пространственных угловых отклонений на инструментальной оправке необходимо иметь измерительные базы в виде двух поясков, соосных с осью базового конуса. Отклонения вершины инструмента измеряются автоматически по двум точкам Δ_z, Δ_x , а пространственные отклонения оправки по пяти точкам $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta y_1, \Delta y_2, \Delta z_6$ (рис. 17.3, б). Последовательность относительных перемещений задается в виде определенного цикла в программе станка.

Измерительная головка в стационарном исполнении имеет два конструктивных варианта: с электроконтактным и индуктивным преобразователями. В первом случае отклонения фиксируются с помощью измерительной системы ЧПУ станка, во втором – индуктивным преобразователем головки. При использовании головки с индуктивным датчиком цикл измерений упрощается и обеспечивается более высокая точность измерения отклонений.

Согласно выражению (5.1) отклонения относительного положения инструментальной оправки можно рассчитать

$$\begin{pmatrix} a_{y.u} \\ b_{y.u} \\ c_{y.u} \\ \lambda_{y.u} \\ \beta_{y.u} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_{23} & q_{24} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_{35} \\ q_{41} & q_{42} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_{53} & q_{54} & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \Delta y_3 \\ \Delta y_4 \\ \Delta z_5 \end{pmatrix},$$

где q_{ij} – коэффициенты, определяемые как функции координат измерительных точек $q_{ij} = f(x_i, y_i, z_i)$.

В результате отклонения вершины инструмента $\Delta x, \Delta y, \Delta z$, обусловленные погрешностью относительного положения оправки, составят:

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{y.u} \\ b_{y.u} \\ c_{y.u} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & z_p \\ -z_p & 0 \\ y_p & -x_p \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \lambda_{y.u} \\ \beta_{y.u} \end{pmatrix},$$

где x_p, y_p, z_p – вылет резца по трем координатам.

Введение отклонений ($\Delta x; \Delta y$) как корректирующих поправок $K_x = \Delta x$, $K_y = \Delta y$ в соответствующие управляемые координаты обеспечивает повышение точности положения центра растачиваемого отверстия

$$\begin{vmatrix} X^* \\ Y^* \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X \\ Y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} K_x \\ K_y \end{vmatrix}. \quad (17.2)$$

Приведенные формулы позволяют также рассчитывать и корректировать отклонения центра отверстия, получаемого центровками, сверлами, зенкерами и жестко закрепленными развертками. При использовании концевых фрез эти формулы позволяют корректировать отклонения фрезеруемых поверхностей, получаемых вследствие изменения положения оси шпинделя и инструмента.

Отклонения статической настройки резца в радиальном Δx и осевом Δz направлениях, получаемые вследствие его температурных деформаций и размерного износа, составляют:

$$\begin{vmatrix} \Delta cx \\ \Delta cz \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta x_u \\ \Delta z_u \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \Delta x \\ \Delta z \end{vmatrix}. \quad (17.3)$$

Коррекция по оси Z выполняется путем автоматического введения корректирующей поправки $K_z = \Delta cz$. Автоматическая коррекция в радиальном направлении возможна при использовании управляемых расточных оправок.

Внесение коррекции в управляющую программу станка для компенсации отклонений относительного положения режущего инструмента и обрабатываемой заготовки в исходном положении осуществляется одновременно с коррекцией позиционных отклонений. Это обеспечивается на базе применения процедуры коррекции путем введения дополнительного программного блока для вычисления необходимых корректирующих поправок согласно формулам (17.2), (17.3). Алгоритм выполнения коррекции для определенного инструмента реализуется с помощью ЭВМ. При анализе текста заданной технологической программы выявляют кадры с указанием на использование рассматриваемого инструмента на различных технологических переходах. А затем все значения управляемых координат, определяющих относительные перемещения данного инструмента, корректируют в соответствии с полученными значениями поправок. Необходимую исходную информацию в

этом случае получают с датчиков, фиксирующих отклонения положения режущего инструмента, и с системы автоматического контроля исходного положения детали и спутника. Если отклонения исполнительных поверхностей станка, возникающие по ходу обработки, можно представить в функции времени, то формирование значений корректирующих поправок также можно выразить как функции времени:

$$\begin{vmatrix} K_{x\Sigma} \\ K_{y\Sigma} \\ K_{z\Sigma} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} K_x \\ K_y \\ K_z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} K_x(\tau) \\ K_y(\tau) \\ K_z(\tau) \end{vmatrix},$$

что достигается введением в процедуру коррекции размерных связей системы дополнительного программного модуля.

Автоматическое управление точностью установки

Создание систем автоматического управления точностью установки заготовок и спутников на станках необходимо в тех случаях, когда отклонения, формируемые на этапе установки, не позволяют обеспечить высокую точность обработки деталей. Принцип работы таких систем заключается в измерении составляющих вектора погрешности установки ω_y и внесения соответствующей коррекции в управляющую программу для компенсации отклонений. Автоматическая оценка фактической точности положения спутника и заготовки на рабочей позиции многоцелевого станка возможна при использовании автоматических систем, создаваемых на базе применения измерительных головок. Измерительная головка устанавливается на одну из позиций инструментального магазина и при необходимости контроля отклонений автоматически устанавливается в шпиндель станка. Процесс измерения выполняется по определенному циклу, заложенному в управляющей программе. Для определения всех шести параметров вектора погрешности установки в общем случае необходимо выполнять измерения в шести точках. На рис. 17.4 представлена схема измерения точности пространственного положения спутника с заготовкой при установке ее на рабочую позицию станка. Измерения выполняются последовательно в шести контрольных точках (рис. 17.4, а). Участки расположения контрольных точек на спутнике выбирают заранее. При этом предусматривают меры защиты, исключающие их повреждение. С целью упрощения цик-

ла измерения точность положения спутника оценивают по результатам измерения не шести, а меньшего числа точек.

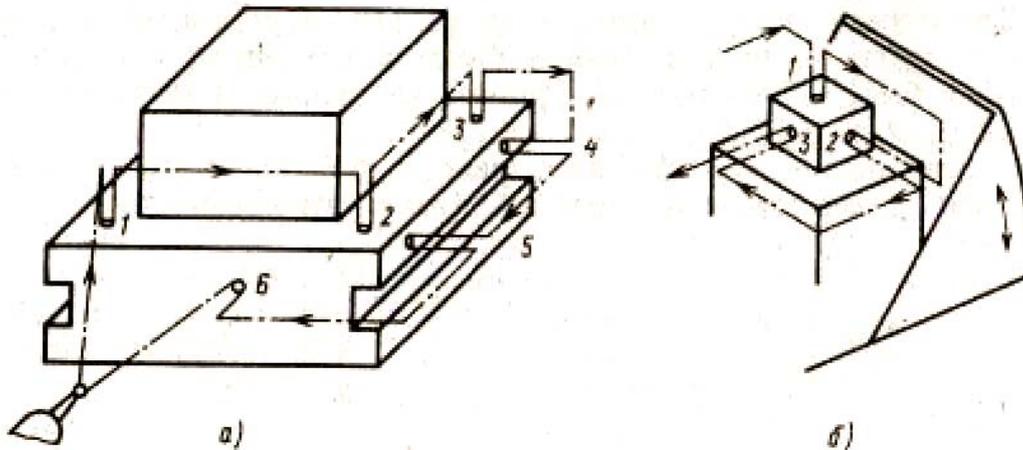


Рис. 17.4. Измерение точности пространственного положения спутника на станке: а – по шести контрольным точкам; б – по трем контрольным точкам

Однако при этом невозможно определить все шесть параметров вектора ω_y . На рис. 17.4, б дана схема измерения по трем точкам. На краю спутника установлен куб с измерительными базами, который защищен кожухом. Такая схема измерения позволяет оценить положение спутника в направлении трех координатных осей без учета угловых отклонений $\lambda_y; \beta_y; \gamma_y$:

$$a_y^* = \Delta x_2; \quad b_y^* = \Delta y_3; \quad c_y^* = \Delta z_1.$$

При необходимости получения упрощенной оценки положения спутника по высоте измерения выполняют по одной координате $c_y^* = \Delta z_1$ в точке 1. Параметры погрешности установки спутника $c_y; \lambda_y; \beta_y$, формируемые по установочной базе, на которой располагаются три теоретические опорные точки, определяют по выражению

$$\begin{vmatrix} c_y \\ \lambda_y \\ \beta_y \end{vmatrix} = \frac{1}{C} \begin{vmatrix} (x_2 y_3 - x_3 y_2) & (x_3 y_1 - x_1 y_2) & (x_1 y_2 - x_2 y_3) \\ (y_3 - y_2) & (y_1 - y_3) & (y_2 - y_1) \\ (x_3 - x_2) & (x_1 - x_3) & (x_2 - x_1) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \Delta z_1 \\ \Delta z_2 \\ \Delta z_3 \end{vmatrix}, \quad (17.4)$$

где $\Delta z_1; \Delta z_2; \Delta z_3$ – отклонения размеров в точках измерения;

$x_1; y_1; x_2; y_2; x_3; y_3$ – плановые координаты точек измерения;

C – определитель системы:

$$C = \begin{vmatrix} 1 & y_1 & -x_1 \\ 1 & y_2 & -x_2 \\ 1 & y_3 & -x_3 \end{vmatrix}.$$

Таким образом, для оценки трех параметров погрешности установки $c_y; \beta_y; \lambda_y$, формируемых по установочной базе, измерения необходимо выполнять в трех точках

$$1 (x_1; y_1; \Delta z_1); \quad 2 (x_2; y_2; \Delta z_2); \quad 3 (x_3; y_3; \Delta z_3),$$

причем для повышения точности измерения желательно программировать расположение точек с наибольшим удалением их друг от друга по площади контролируемой поверхности.

Для определения параметров погрешности установки $b_y; \gamma_y$, формируемых от направляющей базы или двойной опорной и опорной базы, измерения необходимо выполнять в двух точках:

$$4 (x_4; \Delta y_4; z_4); \quad 5 (x_5; \Delta y_5; z_5).$$

Составляющие вектора погрешности установки $b_y; \gamma_y$ рассчитывают при этом по следующей матричной формуле:

$$\begin{vmatrix} b_y \\ \gamma_y \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{x_5}{x_5 - x_4} & -\frac{x_4}{x_5 - x_4} \\ 1 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \Delta y_4 \\ \Delta y_5 \end{vmatrix}, \quad (17.5)$$

где $x_4; x_5$ – координаты точек измерения; $\Delta y_4; \Delta y_5$ – отклонения размеров в точках измерения.

Для оценки параметра погрешности установки, формируемого от опорной базы, на которой располагается одна опорная точка, измерения необходимо выполнять в одной точке 6 ($\Delta x_6; y_6; z_6$). При этом составляющая погрешности установки

$$a_y = \Delta x_6. \quad (17.6)$$

Приведенная выше формула для расчета составляющих вектора погрешности установки спутника или заготовки получена для схемы базирования, определяемой выражением $T = (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \Delta y_4, \Delta y_5, \Delta x_6)$, когда используются установочная, направляющая и опорная базы. Формулы (17.4), (5.3) могут быть использованы также для расчета составляющих вектора погрешности установки при базировании спутника или заготовки по плоскости и двум базовым отверстиям $T = (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \Delta x_4, \Delta y_5, \Delta x_6)$.

Исходные данные для определения допустимых параметров погрешности установки спутников и допустимых значений их деформаций в процессе закрепления заготовок и спутников получают исходя из требований точности изготовления детали на станке. При этом отклонения, возникающие на этом этапе достижения точности, непосредственно проявляются в формировании размеров установки, а также в колебании припусков на соответствующих технологических переходах. Ниже приведены основные формулы, связывающие отклонения размеров установки, формируемых от различных базирующих поверхностей, с параметрами вектора ω_y и габаритными размерами обрабатываемых поверхностей x, y, z .

Отклонения размера установки L_Z ($\Delta_{L_Z}^B; \Delta_{L_Z}^H$), формируемого от установочной базы (плоскость XOY , рис. 17.5) в направлении оси Z , составляют:

$$\begin{vmatrix} \Delta_{L_Z}^B \\ \Delta_{L_Z}^H \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} c_y^B \\ c_y^H \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -\beta_y^H & \lambda_y^B \\ -\beta_y^B & \lambda_y^H \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix}.$$

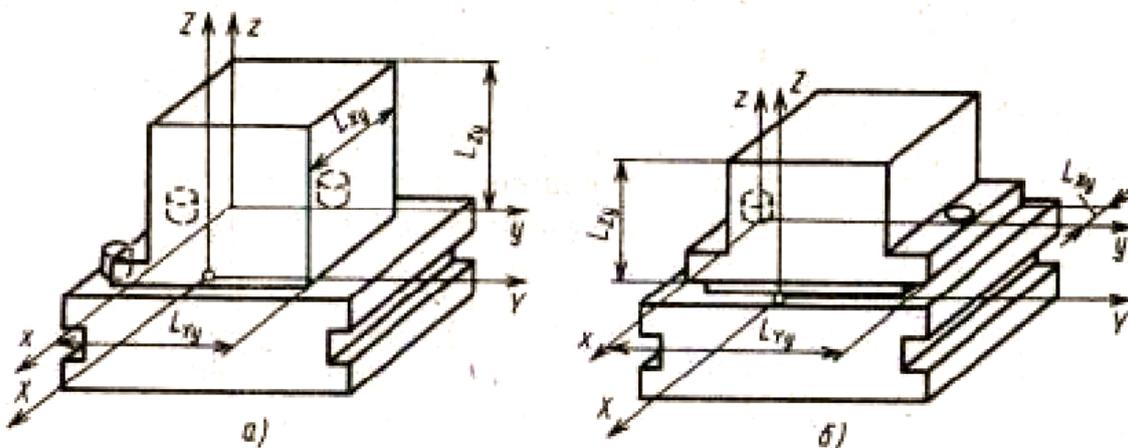


Рис. 17.5. Схемы к определению отклонений размеров установки при различных вариантах базирования заготовок на спутниках: а – базирование заготовки в координатный угол; б – базирование заготовки по плоскости и двум базовым отверстиям

Отклонения размера установки L_Y ($\Delta_{L_Y}^B; \Delta_{L_Y}^H$) от направляющей базы (плоскость XOZ) в направлении оси Y , составляют:

$$\begin{vmatrix} \Delta_{L_Y}^B \\ \Delta_{L_Y}^H \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} b_y^B \\ b_y^H \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \gamma_y^B & -\lambda_y^B \\ \gamma_y^H & -\lambda_y^H \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x \\ z \end{vmatrix}.$$

Для размера установки $L_X (\Delta_{Lx}^B; \Delta_{Lx}^H)$ от опорной базы (плоскость YOZ) в направлении оси X :

$$\begin{vmatrix} \Delta_{Lx}^B \\ \Delta_{Lx}^H \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_y^B \\ a_y^H \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -\gamma_y^H & \beta_y^B \\ -\gamma_y^B & \beta_y^H \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} y \\ z \end{vmatrix}.$$

Составляющими в приведенных выше матричных выражениях являются предельные значения погрешности установки, формируемые от трех баз: от установочной – $(c_y^B; c_y^H; \lambda_y^B; \lambda_y^H; \beta_y^B; \beta_y^H)$, направляющей – $(b_y^B; b_y^H; \gamma_y^B; \gamma_y^H)$ и от опорной базы $(a_y^B; a_y^H)$.

При базировании заготовок или спутников по плоскости и двум отверстиям вектор погрешности установки определяется выражением $T = (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \Delta x_4, \Delta y_5, \Delta x_6)$ (рис.17.5, б). Отклонения размеров установки, формируемые от двойной опорной базы, соответственно составляют:

$$\Delta L_X = a_y - \gamma_y y + \beta_y z; \quad \Delta L_Y = b_y + \gamma_y x - \lambda_y z,$$

где $(a_y; b_y)$ – параметры погрешности установки от двойной опорной базы; $(\lambda_y; \beta_y)$ – параметры погрешности установки от установочной базы; (x, y, z) – координаты краевых точек на рассматриваемых поверхностях.

Предельные отклонения размеров установки, возникающие от двойной опорной базы, соответственно составляют:

для размера установки L_X в направлении оси X :

$$\begin{vmatrix} \Delta_{Lx}^B \\ \Delta_{Lx}^H \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_y^B \\ a_y^H \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -\gamma_y^H & \beta_y^B \\ -\gamma_y^B & \beta_y^H \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} y \\ z \end{vmatrix};$$

для размера установки L_Y в направлении оси Y :

$$\begin{vmatrix} \Delta_{Ly}^B \\ \Delta_{Ly}^H \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} b_y^B \\ b_y^H \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \gamma_y^B & -\lambda_y^B \\ \gamma_y^H & -\lambda_y^H \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x \\ z \end{vmatrix},$$

где $(a_y^B; a_y^H; b_y^B; b_y^H)$ – предельные отклонения параметров погрешности установки от двойной опорной базы; $(\gamma_y^B; \gamma_y^H)$ – предельные отклонения от опорной базы; $(\lambda_y^B; \lambda_y^H; \beta_y^B; \beta_y^H)$ – предельные отклонения от установочной базы.

Рассчитав фактические значения параметров вектора погрешности установки и отклонения размеров установки, формируемых от соответ-

ствующих технологических баз, можно внести соответствующую коррекцию в управляющую программу станка для достижения требуемой точности обрабатываемой детали. Выполнение таких расчетов и внесение соответствующей коррекции в процессе изготовления детали на многоцелевом станке возможно при наличии микропроцессорной системы управления станком.

Схемы измерения пространственной точности положения заготовок на спутниках многоцелевых станков представлены на рис. 17.6. Такие измерения могут быть выполнены с помощью измерительной головки непосредственно на рабочей позиции станка перед обработкой или на координатно-разметочной машине в процессе точной установки заготовки на спутнике. Оценка параметров вектора ω_y погрешности установки заготовки непосредственно на станке позволяет внести при необходимости коррекцию в соответствующие кадры управляющей программы для гарантированного достижения требуемой точности детали в процессе обработки. Необходимость этого возникает в первую очередь при обработке наиболее ответственных поверхностей с жесткими техническими требованиями. При установке заготовки на спутнике с измерением параметров ее положения (составляющих вектора ω_y) на координатно-разметочной машине используют винтовые упоры (рис. 17.6, б), регулировка которых позволяют обеспечить необходимую точность установки заготовки.

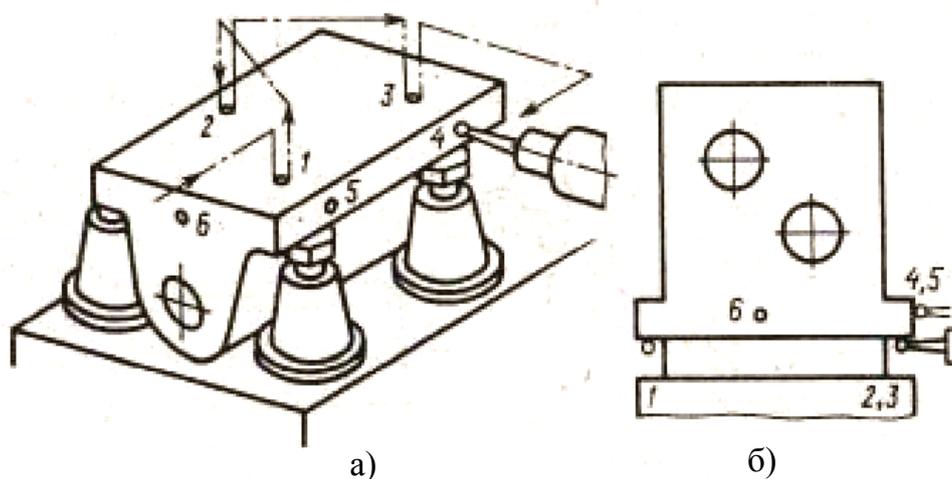


Рис. 17.6. Измерение точности положения заготовки корпусной детали на многоцелевом станке: а – базирование заготовки на винтовых регулируемых опорах; б – базирование заготовки на подкладной плите

Управление позиционными связями многоцелевых станков

Движения формообразования при обработке деталей на станках создаются соответствующими относительными перемещениями исполнительных поверхностей станка, на которых базируются заготовка и режущий инструмент. При этом требуемая траектория относительного движения исполнительных поверхностей достигается в результате перемещения по управляемым координатам X, Y, Z, φ, ψ подвижных узлов станка (столов, суппортов, кареток), базирование которых осуществляется по соответствующим направляющим.

На рис. 17.7 представлен многоцелевой станок горизонтальной компоновки, управляемые координаты которого образуют вектор управления $U = (X, Y, Z, \varphi, \psi)$. Точность позиционных перемещений каждого из перемещаемых узлов характеризует текущий вектор установки $\omega_{\Pi}^{(i)} = (a_{\Pi}^{(i)}, b_{\Pi}^{(i)}, c_{\Pi}^{(i)}, \lambda_{\Pi}^{(i)}, \beta_{\Pi}^{(i)}, \gamma_{\Pi}^{(i)})$, параметры которого меняются с изменением соответствующей управляемой координаты. При этом параметры вектора установки в данном случае имеют нижний индекс «п», так как характеризуют отклонения, возникающие при позиционировании узлов станка. Верхний индекс i обозначает номер перемещаемого узла.

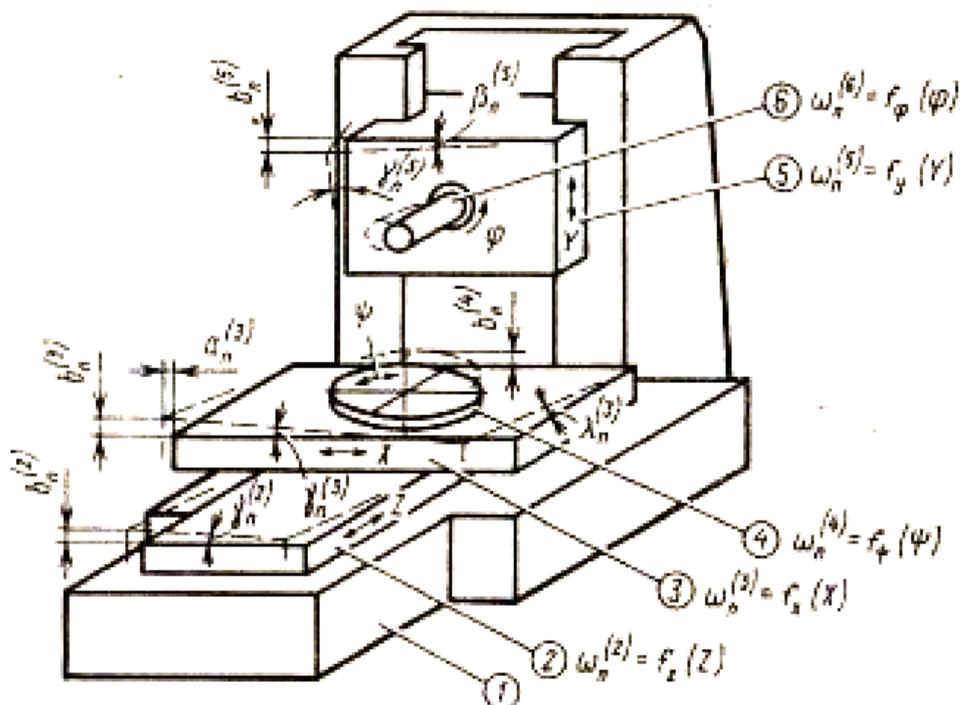


Рис. 17.7. Формирование пространственных позиционных отклонений при перемещении узлов станка по управляемым координатам

Привод по каждой управляемой координате определяет точность только одного из шести параметров вектора позиционирования определенного узла:

продольный стол $\omega_n^{(2)}(z) = (a_n^{(2)}, b_n^{(2)}, [c_n^{(2)}], \lambda_n^{(2)}, \beta_n^{(2)}, \gamma_n^{(2)})$, координата $Z \rightarrow [c_n^{(2)}]$;
 поперечный стол $\omega_n^{(3)}(x) = ([a_n^{(3)}], b_n^{(3)}, c_n^{(3)}, \lambda_n^{(3)}, \beta_n^{(3)}, \gamma_n^{(3)})$, координата $X \rightarrow [a_n^{(3)}]$;
 поворотный стол $\omega_n^{(4)}(\psi) = (a_n^{(4)}, b_n^{(4)}, c_n^{(4)}, \lambda_n^{(4)}, [\beta_n^{(4)}], \gamma_n^{(4)})$, координата $\psi \rightarrow [\beta_n^{(4)}]$;
 шпиндельная бабка $\omega_n^{(5)}(\psi) = (a_n^{(5)}, [b_n^{(5)}], c_n^{(5)}, \lambda_n^{(5)}, \beta_n^{(5)}, \gamma_n^{(5)})$, координата $Y \rightarrow [b_n^{(5)}]$.

Значения остальных пяти составляющих вектора позиционирования для рассматриваемых узлов зависят от геометрической точности станка – от прямолинейности направляющих, величины зазоров в направляющих и других систематических и случайных факторов, определяющих точность перемещения узла.

Таким образом, позиционирование узла по одной из управляемых координат приводит к возникновению на замыкающем звене пространственных отклонений по всем шести параметрам вектора ω_n . Это означает, что при перемещении по одной управляемой координате одновременно происходит формирование отклонений в других направлениях, движение по которым не программируется. При этом формируемые отклонения могут превышать точность позиционирования по соответствующей координате в 1,5...3 раза. Все эти отклонения формируются на этапе статической настройки в процессе позиционирования рабочих органов станка в соответствии с заданной управляющей программой.

Параметры вектора позиционирования ω_n в общем случае представляют собой стационарные случайные функции, аргументами которых будут соответствующие координаты перемещения узлов станка:

при перемещении каретки 2 по оси Z вектор $\omega_n^{(2)} = f_z(Z)$;

при перемещении стола 3 по оси X вектор $\omega_n^{(3)} = f_x(X)$;

при повороте поворотного стола 4 вокруг оси Y вектор $\omega_n^{(4)} = f_\psi(\psi)$;

при перемещении шпиндельной бабки 5 по оси Y вектор $\omega_n^{(5)} = f_y(Y)$;

при вращении шпинделя 6 вокруг оси Z вектор $\omega_n^{(6)} = f_\varphi(\varphi)$.

На рис. 17.8 представлены графики изменения параметров вектора $\omega_n^{(2)} = f_z(Z)$ позиционирования продольного стола при перемещении по координате Z , там же приведены схемы измерения позиционных от-

клонений, формируемых по установочной и направляющей базам. Для измерения отклонений $b_{II}^{(2)}(z)$, $\lambda_{II}^{(2)}(z)$, $\gamma_{II}^{(2)}(z)$, формируемых по установочной базе, используют индикаторы $И1, И2, И3$ (рис. 17.8, а), для измерения отклонений, формируемых по направляющей базе, используют индикаторы $И4, И5$ (рис. 17.8, б).

Оценить влияние позиционных отклонений каждого узла на точность относительного положения исполнительных поверхностей станка возможно на основе выявления структуры установочных и формообразующих движений путем приведения позиционных отклонений соответствующего узла к замыкающему звену. Позиционные отклонения на исполнительных поверхностях стола 4 (см. рис. 17.7), на которых устанавливают заготовку, определяются вектором $\Pi(z, x, \psi) = [a_{II}(z, x, \psi), b_{II}(z, x, \psi), c_{II}(z, x, \psi), \dots, \gamma_{II}(z, x, \psi)]$.

Составляющие вектора $\Pi(z, x, \psi)$ зависят от точности позиционирования каретки 2 при ее перемещении в направлении оси Z , от точности позиционирования столов 3 и 4 при перемещении по координатам X и ψ .

Формирование требуемых размеров статической настройки обеспечивается при одновременном перемещении нескольких узлов станка по различным управляемым координатам. При перемещении шпиндельной бабки 5 в направлении оси Y формируется вектор $\Pi(y)$

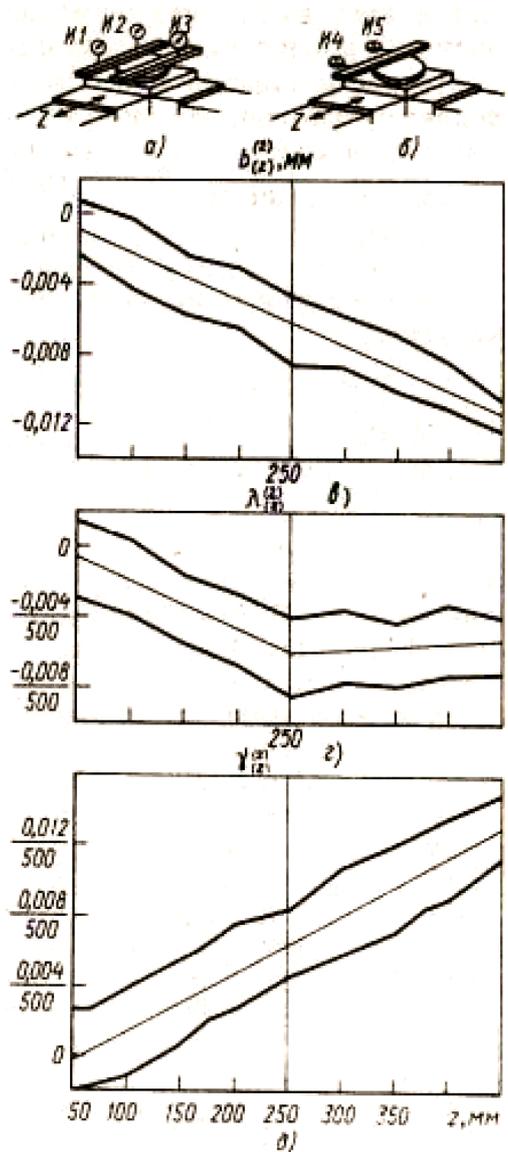


Рис. 17.8. Измерение параметров вектора позиционирования $\omega_{II}^{(2)}$ при перемещении продольного стола по оси Z : а – измерение позиционных отклонений, формируемых по установочной базе; б – измерение позиционных отклонений, формируемых по направляющей базе; в – изменение параметра смещения $b_{(z)}^{(2)}$; г – изменения параметров поворота соответственно $\lambda_{(z)}^{(2)}$ и $\gamma_{(z)}^{(2)}$

позиционных отклонений исполнительных поверхностей шпинделя, по которым базируется режущий инструмент

$$\Pi(y) = [a_{\Pi}(y), b_{\Pi}(y), c_{\Pi}(y), \lambda(y), \beta_{\Pi}(y), \gamma_{\Pi}(y)].$$

Таким образом, позиционные отклонения на исполнительных поверхностях станка, обусловленные совокупным перемещением нескольких узлов, можно определить по следующей матричной формуле:

$$\begin{vmatrix} \Pi(z, x, \psi) \\ \Pi(y) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} W_{12} & W_{13} & W_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_{15} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \omega_{\Pi}^{(2)}(z) \\ \omega_{\Pi}^{(3)}(x) \\ \omega_{\Pi}^{(4)}(\psi) \\ \omega_{\Pi}^{(5)}(y) \end{vmatrix}, \quad (17.7)$$

где $W_{12}; W_{13}; W_{14}; W_{15}$ – матрицы приведения позиционных отклонений соответствующего узла к исполнительным поверхностям станка.

Матрицы приведения позиционных отклонений имеют вид:

$$W_{ij} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & E_{zi} & -E_{yi} \\ & 1 & -E_{zi} & 0 & E_{xi} \\ 0 & 1 & E_{yi} & -E_{xi} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & E_{\gamma i} & -E_{\beta i} \\ & 0 & -E_{\gamma i} & 1 & E_{\lambda i} \\ 0 & 0 & E_{\beta i} & -E_{\lambda i} & 1 \end{vmatrix},$$

где $E_{xi}; E_{yi}; E_{zi}; E_{\lambda i}; E_{\beta i}; E_{\gamma i}$ – линейные и угловые размеры, определяющие положение исполнительных поверхностей относительно координатной системы основных баз соответствующего перемещаемого узла.

В соответствии с (17.7) получим

$$\Pi(zx\psi) = W_{11}\omega_{\Pi}^{(2)}(z) + W_{12}\omega_{\Pi}^{(3)}(x) + W_{13}\omega_{\Pi}^{(4)}(\psi); \quad \Pi(y) = W_{24}\omega_{\Pi}^{(5)}(y).$$

Суммарные отклонения вектора статической настройки

$$\Delta k_{c\Pi} = \Delta A_{c\Pi} + \Delta B_{c\Pi} + \Delta \Gamma_{c\Pi} + \Delta \lambda_{c\Pi} + \Delta \beta_{c\Pi} + \Delta \gamma_{c\Pi},$$

обусловленные погрешностями позиционных перемещений детали по X, Z, ψ и режущего инструмента по Y , определяются как разность векторов:

$$\Delta k_{c\Pi} = \Pi(y) - \Pi(z, x, \psi). \quad (17.8)$$

Таким образом, если каждому значению управляемой координаты $U = (X, Y, Z, \phi, \psi)$ поставить в соответствие связанные с ними значения параметров векторов позиционирования $\omega_{\Pi}^{(2)}; \omega_{\Pi}^{(3)}; \omega_{\Pi}^{(4)}; \omega_{\Pi}^{(5)}$, то можно определить согласно (17.8) отклонения вектора статической настройки $\Delta k_{c\Pi}$ в любой точке $N_i (x_i, y_i, z_i)$ рабочего объема станка

$$N_i (x_i, y_i, z_i) \Rightarrow \Delta_{ci} (\Delta_{cx\Pi}, \Delta_{cy\Pi}, \Delta_{cz\Pi}).$$

Схема пространственных позиционных отклонений в рабочей зоне многоцелевого станка фрезерно-расточного типа (см. рис. 17.7), полученная в результате аттестации его геометрической точности и выполнения расчетов по изложенной методике, представлена на рис. 17.9.

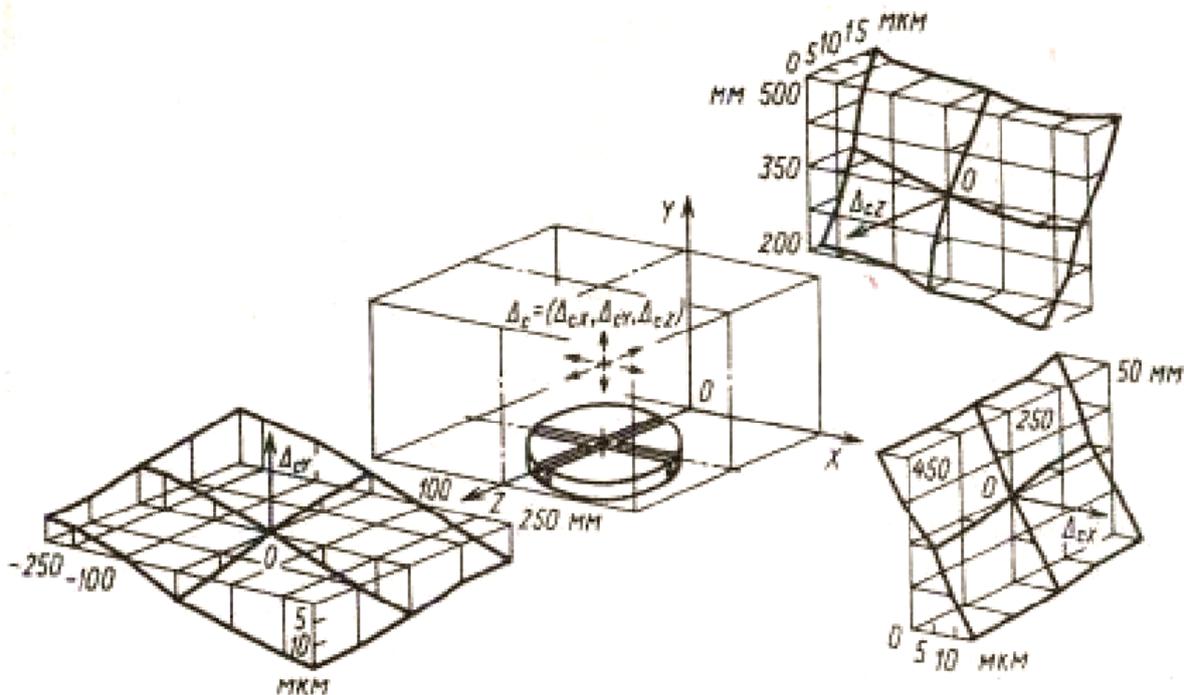


Рис. 17.9. Пространственные позиционные отклонения в рабочей зоне многоцелевого станка

Для компенсации возникающих позиционных отклонений $\Delta k_{СП}$ применяют способ коррекции. Он заключается в том, что в соответствии с выявленными значениями отклонений в определенной точке рабочей зоны станка $\Delta_{ci} = (\Delta_{cx\text{П}}, \Delta_{cy\text{П}}, \Delta_{cz\text{П}})$ автоматически вносится необходимая поправка в управляемые координаты соответствующего кадра программы

$$(K_{xi}, K_{yi}, K_{zi}) = [(-\Delta_{cxi}), (-\Delta_{cyi}), (-\Delta_{czi})],$$

для $x_i \in (x_{\max} \dots x_{\min})$; $y_i \in (y_{\max} \dots y_{\min})$; $z_i \in (z_{\max} \dots z_{\min})$.

Управление многоцелевым станком с использованием ЭВМ позволяет реализовать способ внесения коррекции в программу управления станком путем изменения текстов кадров программы непосредственно перед подачей получаемой от них информации на обработку станком. Такой способ коррекции позволяет оперативно по ходу выполнения обработки вносить требуемые изменения в текст соответствующего кадра управляющей программы. При этом ограничением корректирующей процедуры может явиться лишь время, необходимое на

изменение требуемого параметра, при котором не нарушается непрерывность процесса обработки детали.

Согласно алгоритму управления, реализуемому с помощью ЭВМ, в начале происходит чтение каждого из кадров программы, заданных в коде ISO-7bit, а затем при необходимости выполняется коррекция заданных значений управляющих координат по формулам:

$$\begin{pmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \\ \psi^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ \psi \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} K_X \\ K_Y \\ K_Z \\ K_\psi \end{pmatrix},$$

где (X, Y, Z, ψ) – координаты, заданные в исходной программе управления станком; K_X, K_Y, K_Z, K_ψ – значения коррекции по каждой из управляющих координат; X^*, Y^*, Z^*, ψ^* – откорректированные значения координат, передаваемые на обработку исполнительным механизмом станка.

Коррекция, вносимая по каждой управляющей координате, определяется, в свою очередь, выражением:

$$\begin{pmatrix} K_X \\ K_Y \\ K_Z \\ K_\psi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_x & a_y & a_z & a_\psi \\ b_x & b_y & b_z & b_\psi \\ c_x & c_y & c_z & c_\psi \\ d_x & d_y & d_z & d_\psi \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ \psi \end{pmatrix}, \quad (17.9)$$

или в краткой форме записи $K = A \cdot Y$, где A – матрица функциональных коэффициентов, учитывающих влияние текущих координат на значение корректирующего воздействия.

Элементы матрицы A определяют согласно выражению (17.8) путем составного преобразования, связанного с суммированием соответствующих элементов прямоугольных матриц, учитывая при этом связь между координатами точек обрабатываемой поверхности детали (x_d, y_d, z_d) , размерами вылета инструмента $(x_{и}, y_{и}, z_{и})$ и текущими значениями управляемых координат (X, Y, Z) .

Таким образом, при выполнении установочных и формообразующих движений обеспечивается коррекция относительных перемещений детали и режущего инструмента K_X, K_Y, K_Z с целью компенсации пространственных отклонений $\Delta_{c_i} = (\Delta_{cX}, \Delta_{cY}, \Delta_{cZ})$ в каждой точке рабочей зоны, обусловленных погрешностью позиционных перемещений и отклонениями геометрической точности оборудования.

Относительный поворот K_ψ корректируется при наличии угловых отклонений Δ_ψ в положении устанавливаемой детали и спутника. В тех случаях, когда компенсируется только часть позиционных отклонений, определяемая как «погрешность позиционирования по заданной координате», возникающая в результате неточности изготовления ходовых винтов и отработки программы, выражение (17.9) принимает вид:

$$\begin{vmatrix} K_X^* \\ K_Y^* \\ K_Z^* \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_x^* & & 0 \\ & b_y^* & \\ 0 & & c_z^* \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix}. \quad (17.10)$$

В выражении (17.10) элементы a_x^* ; b_y^* ; c_z^* представляют собой диагональные элементы матрицы A (17.9), которые учитывают отклонения трех параметров смещения по осям X , Y , Z , возникающие в результате неточности работы привода по соответствующей координате.

Автоматическое внесение требуемой коррекции в программу станка по ходу обработки означает, что заданные в исходной программе установочные и формообразующие движения дополняются малыми перемещениями, обусловленными действием корректирующих процедур.

Управление станка путем использования ЭВМ или микропроцессора позволяет реализовать предложенный способ управления точностью в виде программно-реализованной корректирующей процедуры, составленной как рабочая программа, размещенная в памяти ЭВМ. Разработанная программа коррекции точности позиционных перемещений имеет иерархическую модульную структуру. Это позволяет путем введения дополнительных программных блоков компенсировать не только отклонения геометрической точности станка, но также температурные деформации, размерный износ инструмента и другие постоянные и систематические факторы, в том числе и отклонения, обусловленные погрешностью установки детали, спутника и инструмента.

Алгоритм выполнения коррекции на основе модификации заданных в программе значений управляемых координат представлен на рис. 17.10. Выполнение корректирующей процедуры осуществляется в процессе обработки детали при трансляции управляющей про-

граммы на станок, т. е. непосредственно перед подачей соответствующего кадра на обработку в систему ЧПУ. Это означает выполнение требований управления станком в реальном масштабе времени.

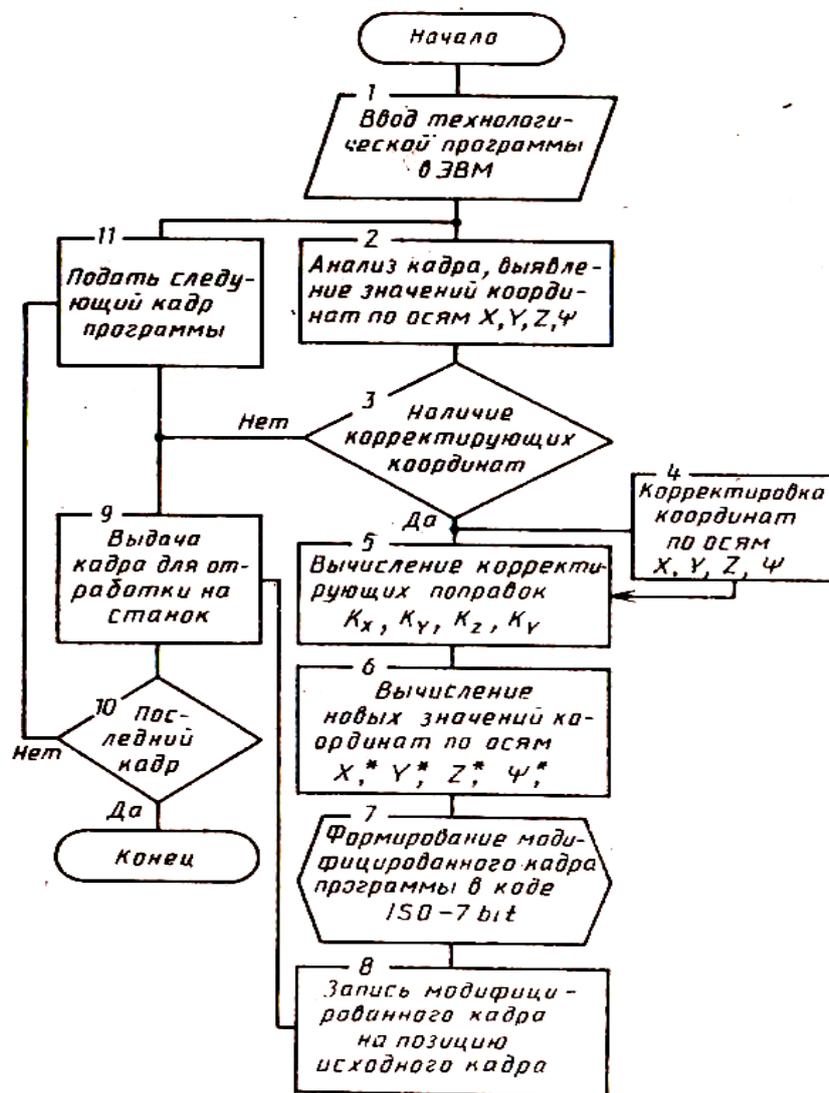


Рис. 17.10. Алгоритм коррекции управляемых координат станка, основанный на модификации соответствующих кадров задаваемой программы

В процессе трансляции поочередно просматриваются все кадры технологической программы, и для выполнения корректирующей процедуры выбираются те из них, в которых содержится информация о значении задаваемых перемещений в направлении соответствующих управляемых координат. Таким образом, основные исходные параметры, определяющие значение и точность задаваемых перемещений, получают автоматически непосредственно из технологической

программы. Обращение к программному блоку для расчета корректирующих поправок происходит на основе полученной информации. Значения функциональных коэффициентов, учитывающих влияние текущих координат на значение корректирующего воздействия, задают в ЭВМ до начала обработки.

Для введения в ЭВМ необходимой информации о геометрической точности станка могут быть использованы также программные таблицы, ставящие в соответствие значения управляемых координат X, Y, Z, ψ и необходимых корректирующих поправок K_x, K_y, K_z .

Новые значения управляющих координат, полученные после введения корректирующих поправок, помещаются на место прежних, и модифицированный кадр передается для отработки на станок. Предложенный способ пространственной коррекции позиционных отклонений может быть реализован также и на обычных многоцелевых станках и станках с ЧПУ, не имеющих канала прямого управления от ЭВМ. В этом случае корректирующая процедура выполняется до начала обработки. Для этого может быть использована расчетная ЭВМ, не предназначенная для прямого управления станками. В ЭВМ загружают технологическую программу обработки детали, и на выходе получают модифицированную управляющую программу станка, в которой учитывается геометрическая точность станочного оборудования, используемого для обработки данной детали.

17.2. Управление режимами обработки с учетом состояния оборудования и характера процесса резания. Адаптивное управление процессом обработки

Состояние технологической системы во время выполнения процесса обработки заготовки характеризует комплекс значений, к которым относятся: получаемая точность обработанной детали δ ; потребляемая мощность N ; действующие в системе нагрузки (сила резания P , крутящий момент $M_{кр}$) и порождаемые ими упругие перемещения A_δ ; температурный режим системы θ ; интенсивность изнашивания режущего инструмента μ , уровень вибраций h и характер стружкообразования. Все эти параметры представляют собой переменные состояния технологической системы. Они образуют вектор состояния системы

$$\psi = (\delta, N, I, P, M_{кр}, \theta, \mu, h, \dots).$$

Колебания глубины резания t , изменение твердости HB материала заготовки, переменная жесткость технологической системы j и различная режущая способность инструмента h_3 – все это основные возмущающие факторы, образующие соответствующий вектор:

$$v = (t, HB, j, h_3 \dots).$$

Воздействие на технологическую систему в процессе регулирования осуществляется через подачу S , частоту вращения n шпинделя, скорость резания v , размер статической настройки A_c , т. е. через переменные управления. Иногда переменными управления могут быть жесткость технологической системы j или геометрия резания, изменяемые с помощью специально встраиваемых исполнительных устройств, а также определенные колебания, специально налагаемые на элементы системы. Управляющие переменные образуют соответственно вектор управления

$$U = (S, v, A_c, j \dots).$$

В соответствии с технологическими возможностями системы, требуемой точностью получаемой детали, допускаемыми нагрузками и условиями нормального протекания процесса на переменные состояния и переменные управления накладываются ограничения. Эти ограничения либо определяют область допустимых значений переменных, либо устанавливают дополнительные зависимости между переменными состояниями и управления.

Система адаптивного управления многоцелевого станка должна обеспечивать автоматическое управление режимами обработки при выполнении различных технологических переходов, включая фрезерование поверхностей, сверление, растачивание и зенкерование отверстий.

В условиях автоматически перенастраиваемого мелкосерийного производства невозможно заранее на стадии программирования определить оптимальные режимы резания с учетом совокупного действия ряда случайных и систематически действующих факторов. Поэтому управление режимами обработки, и в частности управление подачей S и скоростью резания v , необходимо осуществлять непосредственно на станке с учетом состояния технологической системы и характера процесса резания. При этом алгоритмы управления и задаваемые уставки

для соответствующих технологических переходов являются различными, так как вытекают из конкретных технологических задач.

При управлении станка от ЭВМ возможна автоматическая коррекция программы с целью изменения скорости резания или продольной подачи на требуемом технологическом переходе. Такая коррекция может проходить на основе информации, полученной на предшествующих переходах, информации о состоянии инструмента или входных параметров поступившей заготовки. При этом возможно изменение режимов для любого применяемого инструмента.

Важным вопросом при создании адаптивных систем является выбор источников информации. Источники информации во многом определяют статическую характеристику системы и влияют на эффективность управления. Прямое измерение размера динамической настройки, т.е. измерение отклонений между режущими кромками инструмента и базами, определяющими положение заготовки, представляет значительные трудности. Поэтому используют косвенные методы измерения A_δ , основанные на измерении упругих перемещений в отдельных стыках или в специально встроенных динамометрических устройствах. Создание динамометрических устройств основано на выявлении зависимости между размером динамической настройки A_δ и составляющими силы резания $P = (P_x, P_y, P_z)$

$$A_\delta = AP_Y + BP_X + CP_Z, \quad (17.11)$$

где A, B, C – коэффициенты, характеризующие степень влияния каждой из составляющих на размер A_δ .

Для определения коэффициентов A, B, C используют специальную методику, сущность которой заключается в определении характера изменения размера A_δ при различных режимах обработки $t_{min} < t < t_{max}$ и $S_{min} < S < S_{max}$, в определении соответствующих значений составляющих P_X, P_Y, P_Z и расчете на основе этих коэффициентов A, B, C . Достоверные значения коэффициентов, при которых имеет место минимум суммы квадратов отклонений для n составленных уравнений

$$\sum_{i=1}^{i=n} [A_{\delta i} - (AP_{Yi} + BP_{Xi} + CP_{Zi})]^2 = \min,$$

рассчитывают по следующей матричной формуле:

$$\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^{i=n} A_{oi} P_{Yi} \\ \sum_{i=1}^{i=n} A_{oi} P_{Xi} \\ \sum_{i=1}^{i=n} A_{oi} P_{Zi} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^{i=n} P_{Yi}^2 & \sum_{i=1}^{i=n} P_{Yi} P_{Xi} & \sum_{i=1}^{i=n} P_{Yi} P_{Zi} \\ \sum_{i=1}^{i=n} P_{Xi} P_{Yi} & \sum_{i=1}^{i=n} P_{Xi}^2 & \sum_{i=1}^{i=n} P_{Xi} P_{Zi} \\ \sum_{i=1}^{i=n} P_{Yi} P_{Zi} & \sum_{i=1}^{i=n} P_{Xi} P_{Zi} & \sum_{i=1}^{i=n} P_{Zi}^2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} A \\ B \\ C \end{vmatrix}. \quad (17.12)$$

Решая уравнения (17.12) относительно A, B, C , получим:

$$A = \frac{\Delta_A}{\Delta}; B = \frac{\Delta_B}{\Delta}; C = \frac{\Delta_C}{\Delta},$$

где $\Delta, \Delta_A, \Delta_B, \Delta_C$ – определители системы согласно правилу Крамера.

Процесс обработки на станках связан с потреблением энергии соответствующего привода. Поэтому изменение нагрузки в технологической системе, связанное с колебанием припуска и твердости, находит отражение в изменении информационных характеристик электропривода станка и, в частности, в изменении потребляемой мощности N и силы тока I . При этом информация, получаемая о размере A_δ по информационным характеристикам привода, достоверна, так как измеряемые параметры функционально связаны с изменением одной или нескольких составляющих силы резания. Например, изменение мощности или силы тока электродвигателя главного движения характеризует изменение главной составляющей силы резания $P_z \Rightarrow (N, I)$, а изменение аналогичных параметров электродвигателя в приводе подачи характеризует изменение составляющих P_x, P_y . Возможные варианты динамометрических устройств, используемых на станках для получения информации об изменении нагрузки и упругих перемещений на замыкающем звене, представлены на рис. 17.11. При этом применяют индуктивные, тензометрические, пневматические и другие датчики. С помощью динамометрических подшипников, установленных в шпиндель многоцелевого станка (рис. 17.11, а), можно измерять нагрузку при выполнении обработки различным режущим инструментом (фрезами, сверлами, расточными оправками и др.). С помощью малогабаритного динамометрического узла (рис. 17.11, б), который можно встраивать встык или устанавливать под болт крепления режущего инструмента, возможно измерение нагрузки в различных инструментальных блоках, применяемых на многоцелевых станках токарного типа.

Использование информационных характеристик привода станка для получения данных о нагрузке и возникающих при этом отклонениях не требует создания специальных узлов и встраивания их в станок. Это наиболее удобно для многоцелевых станков, в которых применяют высокомоментные электродвигатели с короткими кинематическими цепями. Погрешность измерения и время запаздывания при получении и обработке информации при этом получаются минимальными.

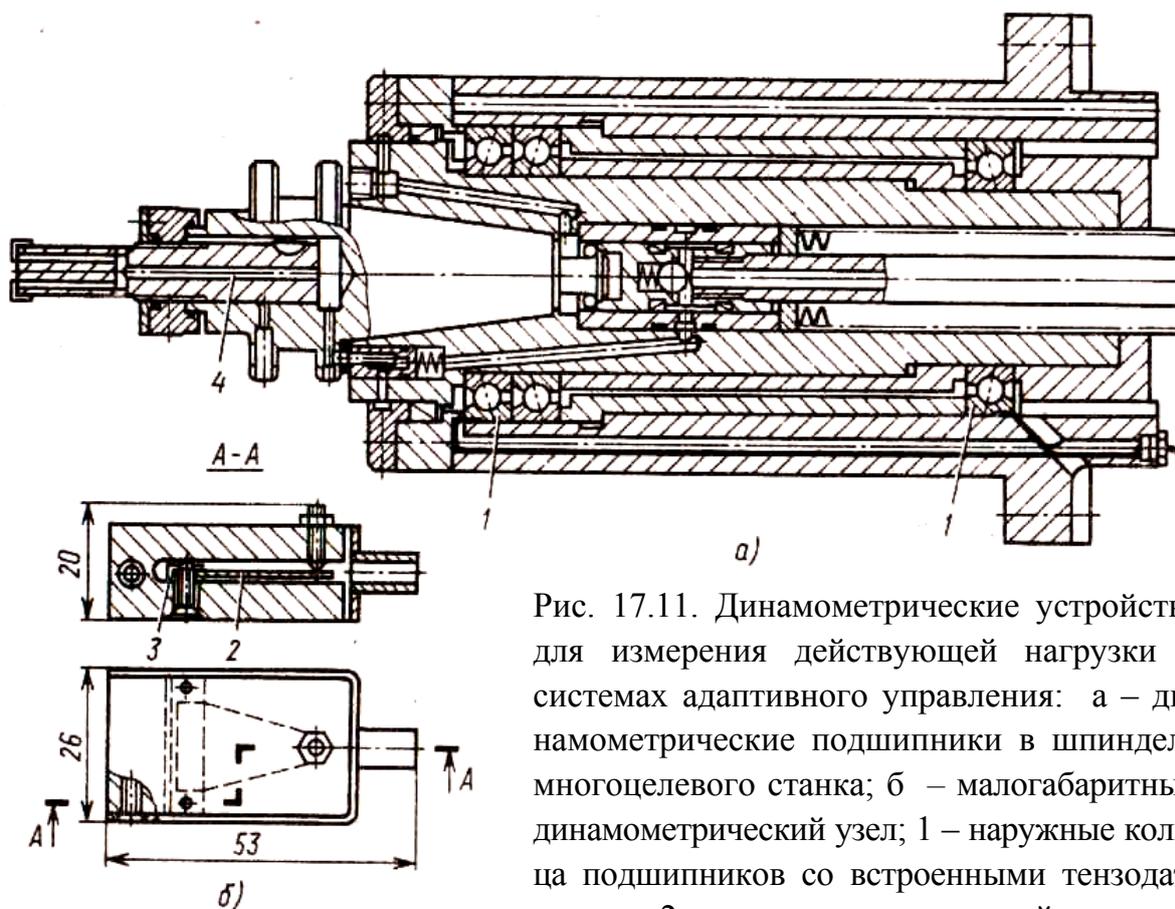


Рис. 17.11. Динамометрические устройства для измерения действующей нагрузки в системах адаптивного управления: а – динамометрические подшипники в шпинделе многоцелевого станка; б – малогабаритный динамометрический узел; 1 – наружные кольца подшипников со встроенными тензодатчиками; 2 – упругочувствительный элемент; 3 – корпус датчика; 4 – система каналов для подачи СОЖ в зону обработки через инструмент

Принципиальная схема системы измерения нагрузки в приводах главного движения и подачи многоцелевого станка представлена на рис. 17.12. Система основана на использовании микропроцессора для выполнения расчетных процедур и выдачи управляющей информации. Система измеряет нагрузки $N_{ш}$ привода главного движения и привода подачи по всем управляемым координатам N_x, N_y, N_z

(см. таблицу). Это позволяет следить за нагрузкой при выполнении различных технологических переходов с охватом всего применяемого режущего инструмента.

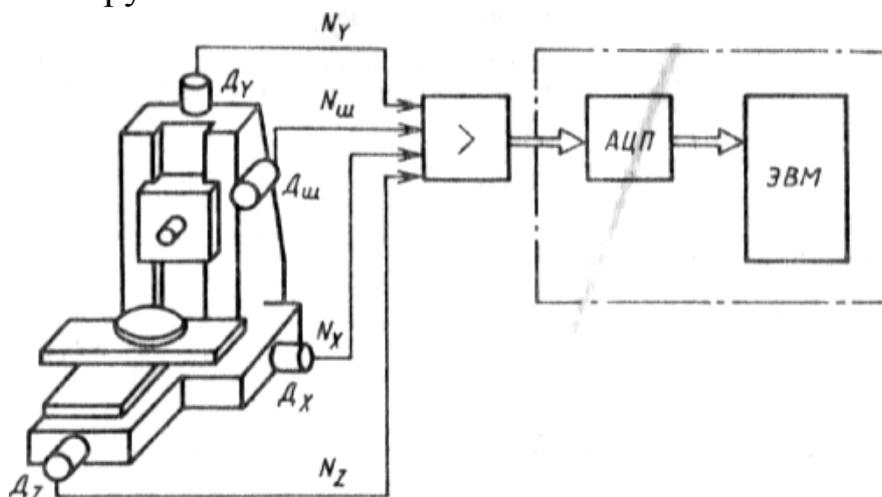


Рис. 17.12. Принципиальная схема системы измерения нагрузки по информационным характеристикам привода многоцелевого станка: $D_{ш}$, D_X , D_Y , D_Z – датчики мощности в приводе главного движения и по соответствующим управляемым координатам X , Y , Z ; АЦП – аналогоцифровой преобразователь поступающих сигналов

Использование информационных характеристик привода станка для управления на различных технологических переходах

Технологические переходы	Привод подачи по трем координатам			Привод шпинделя
Фрезерование по X	N_X			$N_{ш}$
Фрезерование по Y		N_Y		$N_{ш}$
Растачивание			N_Z	$N_{ш}$
Сверление			N_Z	$N_{ш}$
Зенкерование			N_Z	$N_{ш}$

Потребляемую мощность определяют по информации о силе тока и фактической частоте вращения вала двигателя. В соответствии с задаваемой программой система одновременно измеряет нагрузки в приводе шпинделя и в приводе подачи по одной или двум координатам. Информация о мощности двигателя шпинделя $N_{ш}$ характеризует изменение составляющей $P_z (M_{кр})$ при таких переходах, как фрезерование поверхностей, сверление, зенкерование, растачивание и развер-

тывание отверстий, зацентровка, подрезка торца, нарезание резьбы метчиками. Информация о мощностях N_x , N_y , N_z двигателей подачи характеризует соответственно значения продольных составляющих P_x , P_y при фрезеровании с S_x и S_y и значение осевой составляющей в процессе зацентровки, сверления, зенкерования, растачивания отверстий и подрезке торцов. При управлении процессом на этапе динамической настройки решается комплекс задач, связанных с управлением точностью обработки, управлением режимами резания, с определением состояния режущего инструмента и момента его замены. При этом используют системы предельного регулирования и оптимального управления.

Адаптивные системы предельного регулирования

Сущность предельного регулирования заключается в том, что с целью повышения эффективности обработки деталей на станках обеспечивается постоянство протекания технологического процесса относительно таких регулируемых величин, как, например, сила резания, потребляемая мощность, крутящий момент и др. В результате в процессе обработки непрерывно поддерживаются наибольшие предельные значения режима резания и, в частности, подачи и скорости резания, при которых исключается возможность превышения заданных ограничений.

В системах предельного регулирования, предназначенных для управления процессом черновой и предварительной обработки, когда стремятся к максимальному использованию мощности оборудования, ограничения относятся главным образом к силовым параметрам действующей в технологической системе нагрузки. В системах предельного регулирования, обеспечивающих управление процессом чистовой и получистовой обработки деталей, налагаемые ограничения, образующие систему неравенств, относятся непосредственно к параметрам, определяющим достижение требуемой точности детали. В качестве переменных управления в системах предельного регулирования используют главным образом параметры режима резания: подачу S и частоту вращения n шпинделя (скорость резания v). Размер статической настройки используют как переменную управления в системах, предназначенных для повышения точности обработки, а также в системах, обеспечивающих автоматическое распределение припуска по

рабочим ходам. Согласно принятому алгоритму управления возможно регулирование по определенному закону одной или одновременно несколькими переменными. Для этого необходимо представить переменные состояния и ограничения как функции переменных управления.

Путем регулирования продольной подачи обычно поддерживают в пределах заданных ограничений определенные значения упругих перемещений, мощности, силы резания, крутящего момента и других переменных состояния: $A_{\partial \max} - A_{\partial \min} < \delta_T$; $N < N_{\text{пр}}$; $P < P_{\text{пр}}$; $M < M_{\text{пр}}$. Одна из переменных состояния принимается при этом в качестве главной регулируемой величины. Это означает, что закон изменения продольной подачи в большей части диапазона регулирования обеспечивает постоянство данной регулируемой величины. Например, при обработке с постоянной мощностью резания закон изменения продольной подачи определяется выражением

$$S = \left| \frac{k \cdot N}{t^{x_z} v^{n_z}} \right|^{1/y_z}, \quad (17.13)$$

где $k = 60 \cdot 102 / C_z$; x_z ; y_z ; n_z ; C_z – показатели степени и коэффициент, определяющие главную составляющую P_z .

Однако когда при допустимой мощности резания одна из двух переменных состояния, например сила P_Y или крутящий момент на шпинделе $M_{\text{кр}}$, достигает предельного значения, происходит дополнительное изменение подачи, в результате чего исключается возможность превышения заданных ограничений. Закон изменения подачи в этом случае отличается от уравнения (17.13) и обеспечивает постоянство силы $P_Y = P_{\text{пр}}$ или другой регулируемой величины, достигающей предельного значения. Если переменная управления достигает заданных ограничений, обусловленных, например, требованиями шероховатости поверхности S_v или условиями стружкообразования S_p , то она становится постоянной величиной, равной заданному пределу $S_p < S < S_v$.

Скорость резания в системах предельного регулирования может поддерживаться на заданном уровне или изменяться по определенному закону. Постоянство скорости резания $v = \text{const}$ при изменении радиуса резания обеспечивается путем бесступенчатого регулирования частоты вращения шпинделя

$$n = \psi \frac{v_3}{R},$$

где $\psi = 1000/2\pi$; v_3 – заданное значение скорости резания, м/мин.

Адаптивные системы оптимального управления

Сущность работы адаптивных систем оптимального управления заключается в том, что с целью повышения эффективности обработки деталей поддерживается оптимальное протекание технологического процесса относительно заданной целевой функции. Несмотря на случайный характер потока возмущающих воздействий, адаптивная система так управляет технологическим процессом, что целевая функция непрерывно поддерживается на максимальном или минимальном уровне в пределах установленных ограничений.

При условии обеспечения требуемой точности детали эффективность технологического процесса определяют себестоимость изготавливаемой детали и производительность обработки, зависящие от затрат оперативного времени. Таким образом, к основным критериям оптимальности относятся целевая функция времени F_T , определяющая производительность обработки, и целевая функция стоимости F_c .

Целевая функция времени устанавливает связь между параметрами режима резания S , v , t и продолжительности времени, затрачиваемого на операцию. Для случая токарной обработки валов она имеет вид

$$F_T = T_{II} + E v^{q-1} S^{r-1} t^n + \frac{D}{v \cdot S}, \quad (17.14)$$

где $q = 1/m$; $r = y_v/m$; $n = x_v/m$, (здесь m , x_v , y_v – показатели степени в формулах режима резания).

Выражение (17.14) раскрывает структуру затрат времени на операцию. Первый член T_{II} определяет постоянные затраты, которые не зависят от режима обработки:

$$T_{II} = T_{II3}/n + T_B + T_{об} + T_D,$$

где T_{II3} – подготовительно-заключительное время; T_B , T_D – соответственно вспомогательное время и время на отдых; $T_{об}$ – время на обслуживание без учета времени на замену инструмента.

Второй член выражения (7.14) определяет затраты времени, связанные с заменой затупившегося режущего инструмента и соответствующей поднастройкой технологической системы:

$$E = \frac{T_H \cdot D \cdot \pi \cdot L}{C_v^q},$$

где T_H – время на замену инструмента и на размерную поднастройку; L, D – длина и диаметр обрабатываемого валика; C_v^q – коэффициент для расчета скорости резания.

Последний член выражения (17.14) определяет время резания, которое непосредственно зависит от режимов обработки $D = D \pi L$.

Анализ целевой функции времени позволяет вскрыть резервы дополнительного повышения производительности и определить оптимальные режимы резания, обеспечивающие минимальные затраты времени на выполнение операции. Целевая функция стоимости на примере обработки валика имеет вид:

$$F_c = C_H + L v^{q-1} S^{r-1} t^n + \frac{K}{v \cdot S}, \quad (17.15)$$

где

$$C_H = M + C_1 \left(\frac{T_{пз}}{n} + T_{об} + T_d \right) + C_1 T_B;$$

$$L = (C_1 T_{СИ} + C_{ИТ}) \frac{D \pi L}{C_v^q};$$

$$C_1 = C_o + C_{np} + C_{zn}; \quad K = C_1 D \pi L.$$

Здесь M – расходы на материал; C_o, C_{np}, C_{zn} – расходы в единицу времени соответственно на эксплуатацию оборудования, приспособления, расходы по заработной плате с учетом накладных расходов; $C_{ИТ}$ – стоимость инструмента за период его эксплуатации.

Таким образом, выражение (17.15) раскрывает структуру затрат, связанных с изготовлением единицы изделия. Первый член выражения определяет постоянные затраты на материал, расходы, связанные с подготовительно-заключительным временем и временем обслуживания. Второй член – затраты на режущий инструмент и простои при его замене. Последний член формулы (17.15) характеризует расходы, связанные с выполнением непосредственно процесса резания.

Для управления процессом необходимо представить целевые функции и соответствующие ограничения как функции от переменных управления

$$F_T = \gamma(S, v, t); F_c = f(S, v, t).$$

Задача оптимизации заключается в изыскании таких значений переменных управления, при которых обеспечивается экстремальное

значение соответствующей целевой функции. Взяв частные производные функций стоимости F_c и приравняв их к нулю

$$\frac{\partial F_c}{\partial v} = 0; \quad \frac{\partial F_c}{\partial S} = 0,$$

получим зависимости, определяющие оптимальные значения одной переменной управления v или S при заданном значении другой:

$$v_o = \left[\frac{K}{(1-q)LS^r t^n} \right]^{1/q}; \quad S_o = \left[\frac{K}{(1-q)Lv^q t^n} \right]^{1/r}.$$

График зависимости себестоимости токарной обработки валика от режимов резания представлен на рис. 17.13. Приведенные данные получены путем расчета целевой функции на ЭВМ для обработки вала $L=500$ мм, диаметром 70 мм из стали 45 на многоцелевом станке токарного типа с применением инструмента с твердосплавными пластинами. Из графика видно, что одинаковая себестоимость валика может быть получена при обработке с различными сочетаниями скорости резания и подачи. Область допустимых значений режима резания S находится в пределах указанных ограничений $S < S_{max}$; $v < v_{max}$; $N \leq N_{max}$. В тех случаях, когда экстремум находится за пределами области допустимых значений режима обработки, оптимальные скорости и подачи, при которых достигается возможный для данных условий минимум себестоимости, определяются на пересечении кривых $S_o = \varphi(v)$; $v_o = \psi(S)$ с линиями ограничений S_{max} , v_{max} , N_{max} .

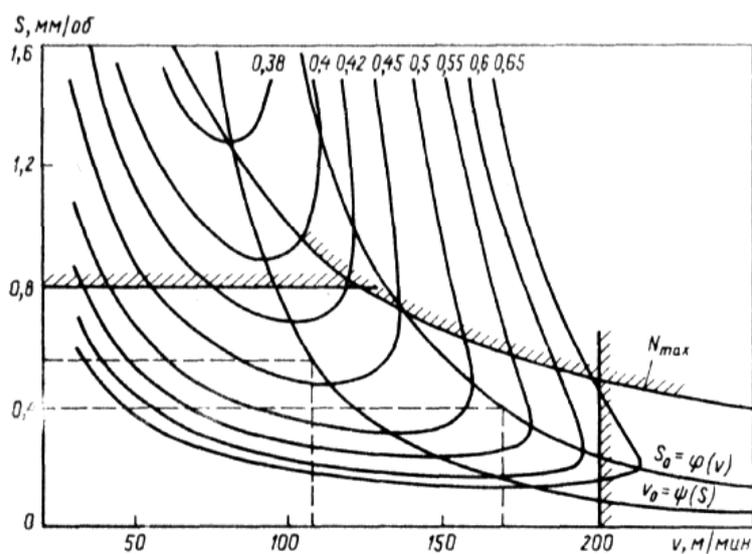


Рис. 17.13. Зависимость себестоимости токарной обработки валов на станке с ЧПУ от оптимальных значений режимов резания

Реализация рассматриваемых задач управления на многоцелевых станках требует создания систем, обеспечивающих возможность гибкого управления при выполнении различных технологических переходов. Это можно осуществить на базе микропроцессорных систем при прямом управлении многоцелевым станком от ЭВМ. На основе этого принципа была разработана система управления для многоцелевого станка 6904МФ2, работающего в составе автоматизированного участка. Система реализована на базе операционной системы управляющей ЭВМ и системы ЧПУ станка. Для получения информации использована изложенная выше схема измерения нагрузки привода, обладающая большой гибкостью, что позволяет следить за нагрузкой и управлять режимами резания на различных технологических переходах. Схема системы приведена на рис. 17.14.

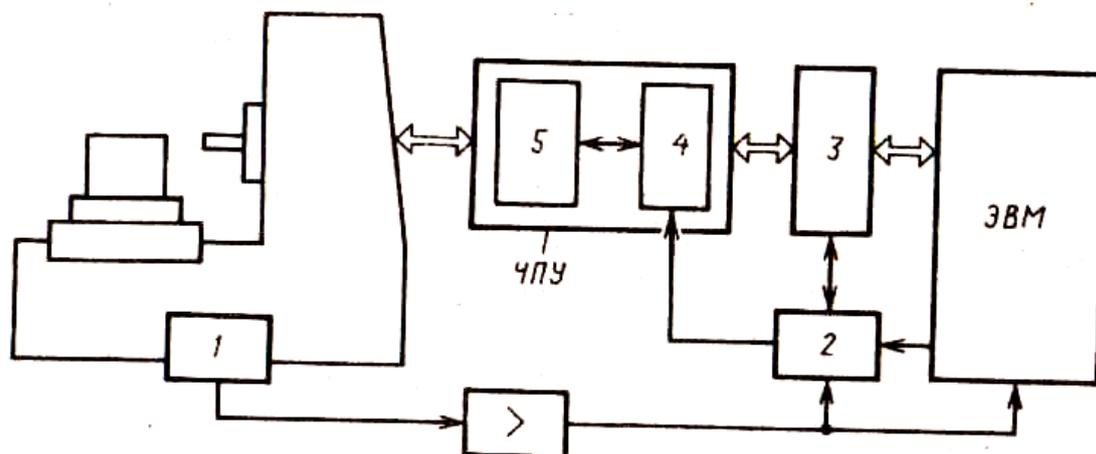


Рис. 17.14. Блок-схема системы адаптивного управления многоцелевого станка с использованием ЭВМ: 1 – измерительная схема с датчиками нагрузки, скорости, подачи и частоты вращения шпинделя; 2 – блок адаптивного управления, включающий схему цифроаналогового преобразования, усиления в коммутации; 3 – блок сопряжения станка с ЭВМ; 4 – задатчики скорости привода подачи и главного движения; 5 – тиристорный привод подачи и главного движения

При таком структурном построении системы адаптивный блок автоматически подключается в нужный момент по ходу выполнения программы и обеспечивает соответствующее управление процессом с учетом фактических условий обработки на необходимых технологических переходах (фрезерование, сверление, растачивание, зенкерование, развертывание). Адаптивное управление включается по задан-

ной в программе станка директиве, определяющей код уставки и соответствующий алгоритм управления на данном переходе.

Схема цифроаналогового преобразования обеспечивает прием и декодирование заданных в управляющей программе значений уставок для соответствующих технологических переходов. Уставки, заданные в двоичном коде, преобразуются в аналоговый сигнал, который затем подается на сравнивающее устройство. Схема коммутации осуществляет необходимые подключения адаптивной системы в привод соответствующей управляемой координаты, задействованной при выполнении определенного технологического перехода. Управление схемой осуществляется на основе информации, поступающей в блок 2. Необходимые уставки в программе задаются под шифром вспомогательных команд M12–M18. Наличие кода уставки M12 в соответствующем кадре программы одновременно означает поступление команды на включение адаптивной системы. В результате на данном переходе продольная подача по длине рабочего хода будет поддерживаться на оптимальном уровне, т. е. будет регулироваться системой согласно выражению (17.13) в соответствии с условиями обработки, заданной уставкой и введенными ограничениями. Если в кадре программы не указан код задаваемой уставки, то обработка на данном переходе выполняется с постоянной подачей, заданной в управляющей программе.

Подключение блока адаптивного управления целесообразно при фрезеровании торцевой или пальцевой фрезой поверхностей с большими колебаниями припуска, твердости, ширины фрезерования, которые возможны на деталях сложной конфигурации. Колебание размеров заготовок из чугуна, стали и цветных сплавов составляет 2,5...6 мм, а изменение твердости находится в пределах 20...35 % [1]. В результате достигаемая точность размеров будет 0,2...0,4 мм. Отклонения размера A_d при фрезеровании на станке 6904МФ2 деталей из СЧ15 при $v = 72$ м/мин, $S = 90$ мм/мин, $t = 1...3$ мм составляют 0,05 мм. При обработке с управлением по A_d обеспечиваются стабилизация размера A_d в пределах 0,015...0,02 мм и повышение производительности.

Не менее эффективным является управление при растачивании отверстий. Так, при растачивании в корпусах из СЧ15 борштангой отверстий диаметром 33 мм с $v = 93$ м/мин, $S = 0,32$ мм/об отклонение размера A_d , обусловленное колебанием припуска $t = 0,6 ... 1,3$ мм, со-

ставляет 0,07 мм. В результате точность отверстий получается в пределах $IT11...IT12$. В случае управления по A_d и стабилизации A_d до 0,03 мм точность отверстий соответствует $IT9...IT10$. Адаптивное управление при обработке отверстий наиболее эффективно при регулировании как динамической, так и статической A_c настройкой, для чего применяют специальные оправки.

Управление процессом сверления при глубине сверления $L > (4 \dots 5) D$ на основе измерения $M_{кр}$, P_0 и регулирования подачи позволяет реализовать гибкие технологические циклы, при которых глубина обработки и текущая подача определяются в соответствии с фактической нагрузкой, что значительно снижает вероятность поломки инструмента и продолжительность сверления в 1,3...2 раза.

В условиях автоматически переналаживаемого мелкосерийного производства при стохастическом характере процесса резания заданные на стадии программирования режимы резания требуют определенной коррекции непосредственно на станке с учетом состояния технологической системы, характера процесса резания, фактических отклонений размеров и физико-механических свойств деталей. При этом важное значение имеют фактор оценки состояния режущего инструмента и степень его износа в данный момент времени. Стратегия управления в данном случае может быть различной. В работах [1,15] даны алгоритмы управления, рекомендации по выбору источников информации и регулируемых значений для разных операций.

С целью автоматического управления режимами обработки на различных технологических переходах разработана процедура коррекции, реализованная в виде специальной программы, размещаемой в памяти ЭВМ, которая обеспечивает необходимое изменение заданных в управляющей программе значений скорости v и подачи S . Каждый кадр программы перед выдачей его на станок анализируется с помощью ЭВМ. В нем отыскиваются параметры режима обработки v , S и осуществляется запрос на необходимость их коррекции. В случае необходимости изменения режимов резания на данном переходе вводятся соответствующие коэффициенты для скорости v и подачи S , на основе которых рассчитывают их новые значения

$$v^* = K_n \cdot v, \quad S^* = K_S \cdot S.$$

Вводимые коэффициенты K_n , K_S являются целыми числами от - 9 до + 9, что означает возможность десятикратного изменения соответствующего параметра в бóльшую или меньшую сторону. Новые значения $n^*(v^*)$, S^* помещаются на место исходных n , S , и модифицированный кадр подается на станок. При отсутствии директивы на коррекцию кадр программы подается без изменения заданных значений n и S . Директива на выполнение коррекции может поступать перед началом обработки по оценке изношенности инструмента, после выполнения очередного прохода по оценке фактически действующей нагрузки и характера процесса резания, а также размеров заготовки или неравномерности припуска вследствие наличия погрешности установки и т. д. Во всех случаях имеет место прямая связь процесса обработки с информацией, характеризующей состояние технологической системы на данный момент.

Оценка экономической эффективности систем адаптивного управления

В соответствии с решаемой задачей системы адаптивного управления могут иметь разнообразные конструктивные варианты с различной степенью сложности их выполнения. В связи с этим затраты на создание и использование систем адаптивного управления на станках также могут быть различными. Поэтому важен вопрос определения границ экономически целесообразных затрат по созданию систем адаптивного управления на металлорежущих станках. Рассмотрим рентабельность систем адаптивного управления при условии различной степени их эффективности, получаемой в результате повышения точности обработки детали, уменьшения штучного времени и повышения стойкости режущего инструмента.

Этот показатель основан прежде всего на сравнении себестоимости детали, обработанной на обычном станке и на станке, оснащенном системой. Для того чтобы в общем случае определить границы экономически целесообразных затрат на создание систем адаптивного управления (САУ), необходимо исследовать, как велики будут затраты, связанные с системой при условии, что стоимость C_c детали, обработанной с САУ, будет меньше или в предельном случае равна стоимости C детали, обработанной обычным способом, $C_c < C$.

Уменьшение себестоимости обработки детали при использовании системы происходит в результате сокращения затрат времени на операцию, повышения стойкости инструмента, уменьшения необходимой производственной площади, достижения более полной загрузки электропривода станка. Сокращение затрат времени характеризует отношение

$$\gamma = \frac{T_{on.c}}{T_{on}},$$

где $T_{on.c}$ и T_{on} – время, затрачиваемое соответственно на операцию с применением системы и без системы.

Повышение стойкости инструмента характеризует отношение стойкости T_c при работе с системой и стойкости T при работе без системы

$$\mu = \frac{T_c}{T}.$$

Уменьшение необходимой площади характеризует отношение

$$\psi = \frac{Q_c}{Q},$$

где Q_c и Q – площади, необходимые при изготовлении детали на станках соответственно с САУ и без САУ.

Эффективность загрузки электродвигателей может характеризовать коэффициент λ , определяющий отношение КПД двигателя Q_c на станке с системой и КПД двигателя Q на станке без системы

$$\lambda = \frac{\eta_c}{\eta}.$$

Для условия уменьшения стоимости детали $C_c < C$ была получена следующая формула, определяющая предельные значения экономически целесообразных затрат на создание САУ:

$$C_c \leq C_o \left(\frac{1}{\gamma} - 1 \right) + \frac{1}{W\gamma} \left[C_{з.п} (1 - \gamma) + C_{и} \frac{\mu - \gamma}{\mu} + C_{э} \frac{\lambda - \gamma}{\lambda} + C_3 (1 - \psi\gamma) + C_{п} (1 - \gamma) \right], \quad (17.16)$$

где C_c – стоимость САУ; C_o – стоимость станка; $C_{з.п}$; $C_{и}$; $C_{п}$; $C_{э}$; C_3 – расходы в единицу времени соответственно по заработной плате, на инструмент, приспособление, электроэнергию и амортизацию здания;

$$W = \frac{a_1}{Fk100 \cdot 60} \left(1 + \frac{a_2}{100} \right),$$

здесь a_1 – процент амортизационных отчислений; F – годовой фонд времени работы станка, ч; k – коэффициент использования станка; a_2 – расходы на ремонт, определяемые как процент от амортизации станка.

Таким образом, выражение (17.16) определяет границы предельных затрат на создание САУ как функцию показателей эффективности системы, характеризующих уменьшение времени, затрачиваемого на операцию γ , повышение стойкости режущего инструмента μ , более полную загрузку станка по мощности λ , экономию производственной площади ψ . При этом учитываются такие основные экономические параметры, как стоимость станка, приспособления, режущего инструмента, расходы по заработной плате и затраты на производственную площадь.

Используя полученные зависимости, можно еще до начала проектирования САУ рассчитать исходя из ожидаемой эффективности системы экономически целесообразные затраты на ее изготовление. Знание этого предела позволяет экономически обоснованно решить вопросы выбора принципиальной схемы разработки конструкции и применения тех или иных элементов САУ.

На рис. 17.15 представлен график, показывающий границы экономически целесообразных затрат на создание систем адаптивного управления для различных по стоимости металлорежущих станков. График построен в соответствии с изложенной выше методикой расчетов по формуле (17.16). Кривые 1...3 характеризуют границы затрат на создание систем для трех различных станков токарного типа, стоимость которых соответственно равна 11000, 6000, 3000 у. е. При расчете было принято, что применяемая система позволяет повысить стойкость режущего инструмента на 20 %, что соответствует $\mu = 0,8$. По оси абсцисс отложено значение коэффициента ξ , характеризующего относительное уменьшение времени, затрачиваемого на выполнение токарной операции, $\xi = (1 - \gamma)100\%$.

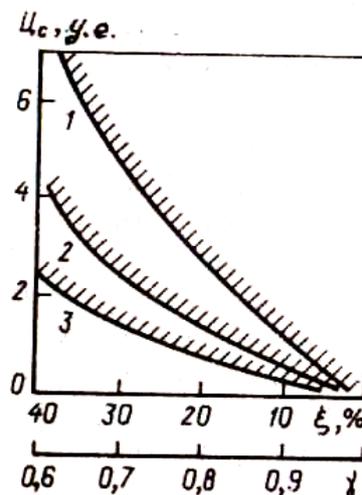


Рис. 17.15. График предельных затрат на создание САУ при заданной стоимости станка

Из графика видно, что с увеличением эффективности системы, т. е. при более высокой производительности, затраты на изготовление системы могут быть значительно большими. При этом чем больше стоимость оборудования, тем больше расходы на создание системы. Например, при $\xi = 25\%$ для станка стоимостью 3000 у. е. расходы на создание системы не должны превышать 1000 у. е., а при стоимости станка 6000 у. е. расходы на систему могут составить 2000 у. е.

17.3. Автоматическая оценка состояния режущего инструмента и определение момента его замены

Создание гибких технологических систем на базе многоцелевых станков, обеспечивающих реализацию безлюдной технологии, требует решения задач, связанных с автоматическим определением состояния режущего инструмента, необходимостью коррекции его положения или замены. Обработка заготовок корпусных деталей средних размеров на многоцелевых станках предусматривает 5...30 различных режущих инструментов (фрез, сверл, зенкеров, расточных резцов, метчиков). Одним из важных параметров, используемых для оценки состояния режущего инструмента, можно назвать продолжительность резания, т. е. время непосредственной работы инструмента на станке начиная с момента его установки. Это время

$$\tau_{\Sigma} = \sum_{j=1}^{j=n} \tau_j,$$

где τ_j – время резания при выполнении инструментом определенного перехода; n – число выполненных переходов к рассматриваемому моменту времени.

Сравнение времени резания с расчетным периодом стойкости в общем случае позволяет судить о состоянии инструмента и его возможностях. Однако, как показывает практика, фактическая стойкость инструмента может колебаться в широких пределах (изменяться в 1,5...3 раза и более). Причины этого – различное качество изготовления и заточки инструмента, а также нестационарный характер процесса резания, обусловленный изменением входных параметров заготовки. Это обстоятельство требует использования нескольких критериев, позволяющих оценить состояние режущего инструмента в ком-

плексе, с различных позиций, что возможно путем применения микропроцессоров и информационно-измерительных блоков систем адаптивного управления.

К числу таких критериев в первую очередь относятся технологические критерии, которые позволяют оценить состояние инструмента с позиции получаемых параметров точности детали. Согласно этим критериям инструмент требует поднастройки или замены, если в результате его изнашивания не обеспечиваются требуемые размеры детали или шероховатость поверхности в заданных пределах

$$\Delta_A^H \leq \Delta_A \leq \Delta_A^B,$$

где $\Delta_A^B; \Delta_A^H$ – допускаемые верхние и нижние предельные отклонения; Δ_A – отклонение параметра точности детали.

Указанные критерии дополняет силовой критерий, который позволяет оценить режущую способность инструмента путем измерения сил резания и моментов, действующих в процессе обработки. Затупление инструмента в результате изнашивания и выкрашивания режущих кромок приводит к изменению геометрии и относительному увеличению сил резания и моментов начиная с первого рабочего хода, выполняемого острым инструментом. Это позволяет определить относительное приращение нагрузки, а следовательно, и степень затупления инструмента по мере его использования. Для измерения сил резания и моментов можно применять различные по конструкции динамометрические узлы, динамометрические столы и опоры (см. рис. 17.11). Однако наиболее простым вариантом, при котором не требуется конструктивного изменения узлов станка, является оценка в технологической системе станка действующей нагрузки путем измерения силы тока или мощности двигателя, работающего по соответствующей управляемой координате станка. Получение одновременной информации с электродвигателей, относящихся к управляемым координатам станка, и оценка ее с помощью ЭВМ позволяют судить о составляющих силы резания и моментах при обработке различным инструментом (фрезами, сверлами, резцами и др.) при разных направлениях подачи. Крутящий момент $M_{кр}$ на шпинделе определяют измерением мощности главного двигателя $N_{ш} \rightarrow M_{кр}$, а осевую силу F_o – измерением мощности двигателя подачи.

На рис. 17.16 представлен график относительного изменения нагрузки на главный двигатель $N_{ш}$ и двигатель подачи N_s при сверлении острым и затупленным сверлами диаметром $D = 10$ мм на глубину $L = 3D$ в заготовке из чугуна СЧ15, износ сверла по уголкам 1,1 мм, износ по задней грани до 0,35 мм. Сверление проводилось на многоцелевом станке автоматизированного участка. При работе затупленным сверлом приращение нагрузки в приводе подачи достигает по верхнему отклонению $\Delta_{N_s}^B = 45\%$, а по нижнему $\Delta_{N_s}^H = 25\%$. При этом в качестве начальной величины, принимаемой за 100%, была выбрана наименьшая нагрузка, получаемая при работе острым сверлом. Приращение нагрузки в приводе главного движения составляет по верхнему отклонению $\Delta_{N_{ш}}^B = 22,3\%$, по нижнему отклонению $\Delta_{N_{ш}}^H = 15\%$.

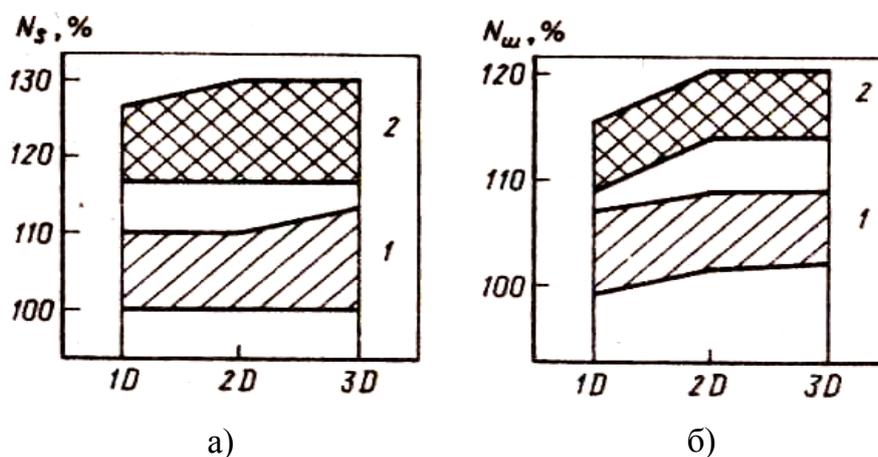


Рис. 17.16. Относительное приращение нагрузки в приводе многоцелевого станка при сверлении острым (1) и затупленным (2) сверлами: а – нагрузка на двигателе подачи; б – нагрузка на двигателе шпинделя

Если начальную нагрузку при работе острым инструментом N_n запомнить с помощью микропроцессора и принять ее в качестве исходной, то допустимое предельное значение нагрузки $N_{пр}$ можно определить путем расчета

$$N_{пр} = k N_n,$$

где k – коэффициент предельного приращения нагрузки, устанавливаемый для каждого инструмента.

Учет продолжительности работы каждого инструмента в условиях технологически гибкого мелкосерийного производства основан

на использовании ЭВМ и программных методах получения и оценки технологической информации. Управляющую программу станка транслируют через ЭВМ, в которой происходит считывание текста каждого из кадров программы и получение необходимых исходных данных для выполнения последующих расчетных процедур. В процессе просмотра программы ЭВМ определяет вид и общее число i используемого инструмента, а также многократность j его применения за один цикл обработки: $i = 1, 2, \dots, i, j = 1, 2, \dots, j$. Одновременно выявляются режимы резания, заданные в программе станка для соответствующего инструмента: продольная подача $S_1, S_2 \dots S_i$ и частота вращения шпинделя $n_1, n_2, \dots n_i$.

Путем выявления задаваемых координат, соответствующих началу X_n, Y_n, Z_n и концу X_k, Y_k, Z_k относительного перемещения инструмента на рабочей подаче S_i , ЭВМ рассчитывает длину резания для каждого инструмента ($L_1, L_2, \dots L_i$) по задаваемой координате:

$$L_{Xi} = X_{ki} - X_{ni}; \quad L_{Yi} = Y_{ki} - Y_{ni}; \quad L_{Zi} = Z_{ki} - Z_{ni}.$$

В результате в памяти ЭВМ формируется массив данных о номенклатуре применяемого инструмента, режимах резания и длины резания на каждом рабочем ходе. При необходимости ЭВМ по запросу выдает полученный массив данных в виде распечатки. На основе полученных данных ЭВМ вычисляет продолжительность резания при последовательном выполнении переходов соответствующим инструментом

$$\tau_i = (L_{Xi} + L_{Yi} + L_{Zi}) / S.$$

Полученные результаты по каждому инструменту суммируют и в результате определяют время работы каждого инструмента за цикл обработки детали

$$\tau_{1\Sigma}, \tau_{2\Sigma}, \dots \tau_{i\Sigma}, \dots \tau_{n\Sigma}.$$

На основании непрерывного слежения за числом обрабатываемых деталей вычисляется фактическое время работы режущего инструмента при данных условиях обработки и сравнивается с заданной стойкостью. Если фактическое время работы режущего инструмента достигает периода его стойкости, то возникает вопрос о необходимости его замены. Рекомендуемые значения стойкости инструментов $T_1, T_2, \dots T_n$ вводятся в память ЭВМ в виде массивов или аппроксимированных зависимостей $T = f(S, v)$.

В результате становится возможным:

- определить число однотипных деталей m_i , которые могут быть обработаны каждым инструментом за имеющийся период стойкости $m_i = T_i / \tau_{i\Sigma}$;

- выявить момент, когда время резания при обработке m однотипных заготовок инструментом i достигает периода его стойкости $m \cdot \tau_{i\Sigma} \Rightarrow T_i$;

- оценить по окончании обработки партии заготовок из m штук состояние режущего инструмента по значению оставшейся стойкости $T_{oi} = T_i - m \cdot \tau_{i\Sigma}$.

Последующую обработку заготовок нового типоразмера в общем случае можно выполнять тем же режущим инструментом, но с другими режимами резания S_j, v_j, t_j и при иных условиях обработки. Каждому из таких сочетаний режимов резания соответствует свое расчетное значение периода стойкости режущего инструмента

$$T_1 = f(S_1, v_1); T_2 = f(S_2, v_2); \dots T_n = f(S_n, v_n),$$

которое может отклоняться как в большую, так и в меньшую сторону

$$T_1(S_1, v_1) > T_2(S_2, v_2); T_1(S_1, v_1) = T_2(S_2, v_2); T_1(S_1, v_1) < T_2(S_2, v_2).$$

Период стойкости инструмента на выполнение новых переходов j с учетом использованного ресурса стойкости на предыдущем переходе $(j - 1)$ составит

$$T_j^* = T_j \cdot T_{o(j-1)} / T_{(j-1)},$$

где $T_j, T_{(j-1)}$ – расчетные периоды стойкости для условий данного и предыдущего переходов; $T_{o(j-1)}$ – период стойкости, оставшейся по окончании $(j - 1)$ перехода.

Если по окончании обработки заготовок одного типоразмера инструмент еще сохраняет определенный ресурс стойкости, то ЭВМ выполняет аналогичные расчеты и инструмент используется для последующей обработки новых заготовок. Режущий инструмент применяют до наступления момента, когда период его оставшейся стойкости достигнет нулевого значения $T_{oj} \Rightarrow 0$.

Функциональная схема системы автоматической оценки состояния режущего инструмента, позволяющая определить момент его замены с учетом технологического, временного и силового критериев, представлена на рис. 17.17.

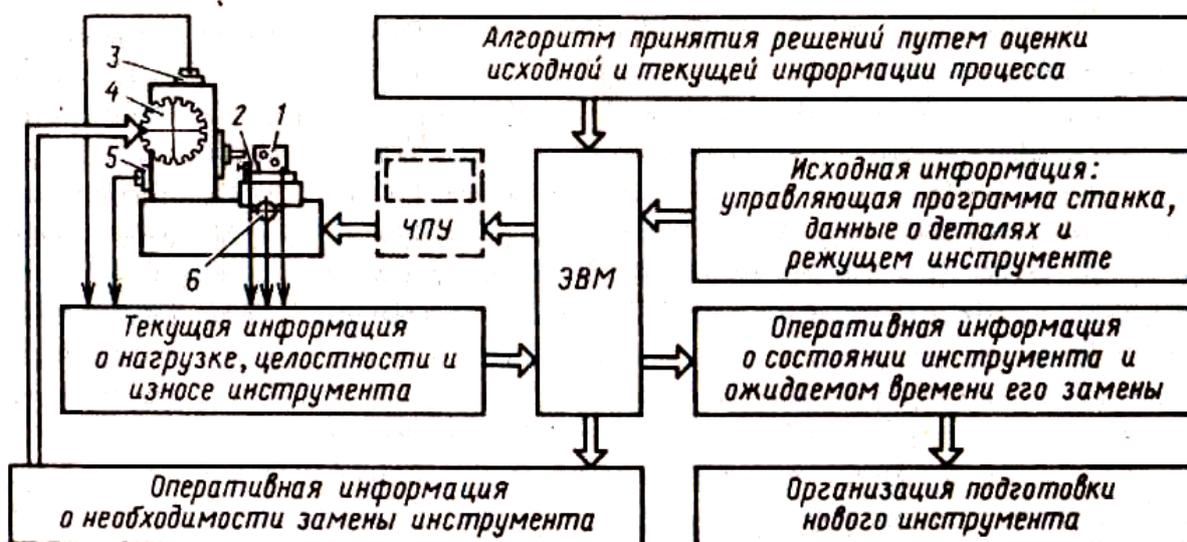


Рис. 17.17. Система автоматического определения состояния режущего инструмента и момента его замены: 1 – обрабатываемая заготовка корпуса; 2 – измерительное устройство; 3, 6 – двигатели рабочей подачи соответственно по координатам Y и X ; 4 – инструментальный магазин; 5 – двигатель шпинделя

Для определения целостности инструмента и его размерного износа с целью введения необходимой коррекции в размерную настройку станка по управляемым координатам используют специальное измерительное устройство 2. Его устанавливают вблизи рабочей зоны на кронштейне. Перед обработкой стол станка и шпиндельная бабка выводятся в положение, при котором соответствующий режущий инструмент доводится до касания с измерительным щупом. В результате измерения с устройства подается сигнал, характеризующий положение вершины режущей кромки инструмента относительно выбранного ноля отсчета.

Решение о необходимости замены инструмента принимает ЭВМ в соответствии с заданным алгоритмом принятия решения. В основе принятия решения лежит информация, которая характеризует целостность инструмента, его размерный износ, оставшийся период стойкости, нагрузку, действующую в процессе обработки отклонения получаемых параметров точности детали.

В случае поломки инструмента или значительного изнашивания, когда поднастройка на размер невозможна, следует команда на замену инструмента. Возникающая при резании нагрузка периодически измеряется, причем нагрузка на первых рабочих ходах, выполняемых

острым инструментом, запоминается в ЭВМ, а затем используется как начало отсчета приращений. Если действующая нагрузка, измеряемая по мощности двигателя главного движения или подачи, достигает предельного значения, то дается команда на замену инструмента, которая происходит также в том случае, когда расчетный период его стойкости исчерпывается $T_{oj} = 0$, а соотношение действующей и допустимой нагрузки составляет

$$N \leq 0,95N_{пр} \quad \text{при} \quad \Delta_A^H < \Delta_A < \Delta_A^B.$$

Если в результате измерения окажется, что отклонение одного из параметров точности детали достигает предельного значения $\Delta_A = \Delta_A^B$ или $\Delta_A = \Delta_A^H$, а поднастройка невозможна, то подается команда на замену инструмента. В тех случаях, когда коррекция статической настройки возможна и уровень нагрузки, действующей на инструмент, не превышает предельного значения $N < N_{пр}$, подается команда на поднастройку и на продолжение использования инструмента. Текущая информация об отклонениях параметров точности детали, обусловленных размерным износом инструмента, формируется в результате автоматического контроля точности детали на рабочем месте.

Контрольные вопросы

1. Назовите этапы достижения точности детали, изготавливаемой на многоцелевых станках в ГПС.
2. Какие причины определяют формирование погрешностей на этапе установки?
3. Назовите основные причины формирования погрешностей на этапе статической настройки.
4. Назовите основные причины формирования погрешностей на этапе динамической настройки.
5. Какие функции выполняет система коррекции статической настройки в исходном положении?
6. Объясните, каким образом можно измерить составляющие погрешности установки спутника на многоцелевом станке?
7. Объясните, как можно измерить составляющие погрешности установки заготовки на многоцелевом станке?

8. Как можно компенсировать измеренные отклонения положения заготовки и спутника на многоцелевом станке?
9. Назовите основные причины формирования отклонений, возникающих в процессе резания на этапе динамической настройки.
10. Какие системы позволяют управлять точностью обработки в процессе резания?
11. С какой целью в станок встраивают динамометрические устройства?
12. Какие данные для управления процессом можно получить по информационным характеристикам привода многоцелевого станка?
13. Какие составляющие режима обработки используют в качестве регулируемых параметров в системах адаптивного управления?
14. Как вы понимаете сущность работы адаптивных систем предельного регулирования?
15. Объясните сущность работы адаптивных систем оптимального управления?
16. Между какими параметрами устанавливает связь целевая функция времени?
17. Как вы понимаете целевую функцию стоимости?
18. С какой целью на станках с ЧПУ применяют системы автоматической оценки состояния режущего инструмента?
19. Какие критерии используют для оценки состояния режущего инструмента?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение эффективности общественного производства и ускорение научно-технического прогресса определяют необходимость широкого внедрения прогрессивных технологий сборки машин и изготовления их деталей, что позволяет осуществить ускоренный выпуск и внедрение новых изделий машиностроительного производства.

Технический прогресс в машиностроении определяется не только созданием новых конструкций машин, но и непрерывным совершенствованием технологий их изготовления. Разработка прогрессивных технологических процессов механообработки и сборки, обеспечивающих повышение качества выпускаемых машин и снижение их себестоимости, основывается на широком использовании современных достижений науки и техники.

Важнейшим направлением в решении рассматриваемых задач повышения эффективности современного машиностроительного производства являются комплексная автоматизация и механизация технологических процессов, основанная на применении гибких производственных систем (ГПС), роботизированных технологических комплексов (РТК), станков с ЧПУ и станочных модулей, управляемых от ЭВМ. Если в прошлом автоматизация касалась главным образом крупносерийного и массового производства, то в результате развития систем ЧПУ и средств вычислительной техники стала возможна автоматизация мелкосерийного и единичного производства.

Увеличение степени автоматизации и как следствие расширение технологических задач, решаемых без непосредственного участия человека, означает повышение роли инженерно-технического обеспечения в создании и управлении современным машиностроительным производством. При этом гибкость автоматизации стала той важнейшей предпосылкой, благодаря которой представляется возможным эффективное решение переменных технологических задач, определяемых запросами современной рыночной экономики.

В соответствии с этим инженеру, работающему в области машиностроительного производства, требуются глубокие знания технологии, станочного оборудования, компьютерной и информационно-измерительной техники.

Авторы учебника преследовали цель на конкретных примерах показать современные подходы, используемые при решении инженерных задач проектирования технологических процессов изготовления различных деталей машин и сборки типовых узлов машин.

Приводимые в учебнике примеры выявления и расчета конструкторских размерных цепей различных узлов позволяют читателю освоить методику анализа технических требований на узел, включая методику расчета и выбора требуемого метода достижения точности при сборке узла.

Изложенные в книге технологии изготовления корпусов, валов, ходовых винтов, шпинделей и деталей зубчатых передач позволяют читателю освоить методику проектирования технологических процессов механообработки типовых деталей машин, включая выбор заготовок и состава технологических операций, выбор схем базирования, необходимого станочного оборудования, режущего инструмента, приспособлений и измерительной оснастки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соломенцев, Ю.М. Адаптивное управление технологическими процессами / Ю.М. Соломенцев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1980. – 536 с.
2. Аршинов, В.А. Резание металлов и режущий инструмент / В.А. Аршинов, Г.А. Алексеев. – М.: Машиностроение, 1976. – 440 с.
3. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения: ГОСТ 21495-76. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 35 с.
4. Балакшин, Б.С. Основы технологии машиностроения / Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1969. – 559 с.
5. Допуски и посадки: справ. В 2 ч. / сост.: В.Д. Мягков [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1982. Ч. 1. 543 с.; Ч. 2. 448 с.
6. Лахтин, Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. – М.: Metallургия, 1985. – 510 с.
7. Машиностроение: энцикл., Т. III-3. Технология изготовления деталей машин / ред.-сост. А. Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2000. – 839 с.
8. Пуш, В.Э. Металлорежущие станки : учеб. для вузов / В.Э. Пуш [и др.]; под ред. В.Э. Пуш. – М.: Машиностроение, 1986. – 574 с.
9. Митрофанов, С. П. Групповая технология машиностроительного производства / С. П. Митрофанов. В 2 т. – Л.: Машиностроение, 1983. – 786 с.
10. Мнацаканян, В. У. Технологические основы обеспечения точности и восстановления работоспособности деталей и узлов текстильных машин: монография / В. У. Мнацаканян. – М.: Янус-К, 2006. – 143 с. – ISBN 5-8037-0329-X.
11. Новиков, М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов / М. П. Новиков. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
12. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей. Слесарно-сборочные работы по сборке машин и приборов в условиях массового, крупносерийного и среднесерийного типов производства. – М.: Машиностроение, 1991. – 159 с.
13. Мнацаканян, В. У. Основы технологии машиностроительного производства: учеб. для вузов / В. У. Мнацаканян [и др.]; под ред.

- В.А. Тимирязева. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. В 2 ч. Ч. 1. 273 с.; Ч. 2. 363 с.
14. Баранчукова, И. М. Проектирование технологии: учеб. для машиностроит. специальностей вузов / И. М. Баранчукова [и др.]; под ред. Ю. М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1990. – 415 с.
 15. Островский, М. Г. Программирование обработки деталей горных машин на станках с ЧПУ: учеб. пособие для вузов / М. Г. Островский, В. У. Мнацаканян, В. А. Тимирязев. – М.: Горная книга, 2009. – 227 с. – ISBN 978-5-98672-166-8.
 16. Баранчукова, И. М. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения: учеб. для вузов / И. М. Баранчукова [и др.]; под ред. Ю. М. Соломенцева. – М.: Высш. шк., 1999. – 416 с. – ISBN 5-06-003599-9.
 17. Лебедев, Л. В. Проектирование технологических систем и оснастки / Л. В. Лебедев [и др.]. – М.: Академия, 2009. – 335 с. – ISBN.
 18. Калашников, С. Н. Производство зубчатых колес: справ. / С. Н. Калашников [и др.]; под ред. Б.А. Тайца. – М.: Машиностроение, 1975. – 728 с.
 19. Радкевич, Я. М. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. для вузов / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе, Б. И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2007. – 791 с. – ISBN 978-5-06-004325-9.
 20. Радкевич, Я. М. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении / Я. М. Радкевич [и др.]; под ред. В. А. Тимирязева. – М.: Высш. шк., 2007. – 272 с. – ISBN 978-5-06-004277-1.
 21. Баранчиков, В. И. Справочник конструктора-инструментальщика / В. И. Баранчиков, Г. В. Боровский, В. А. Гречишников; под ред. В.И. Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1994. – 558 с. – ISBN 5-217-01849-6.
 22. Справочник технолога машиностроителя. В 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение. Т. 1, 1986, 656 с.; Т. 2 496 с.
 23. Суслов, А. Г. Технология машиностроения: учеб. для студентов машиностроит. специальностей вузов / А. Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2007. – 429 с. – ISBN 978-5-217-03371-3.
 24. Схиртладзе, А. Г. Технологические процессы в машиностроении: учеб. для вузов / А. Г. Схиртладзе. – М.: Высш. шк., 2007. – 926 с. – ISBN 978-5-06-004423-2.

25. Карунин, А. Л. Технология автомобилестроения: учеб. для вузов / А. Л. Карунин [и др.]; под ред. О. А. Дашенко. – М.: Академический проект, 2005. – 622 с. – ISBN 5-8291-0595-0.
26. Гусев, А. А. Технология машиностроения (специальная часть): учебник для машиностроит. специальностей вузов / А. А. Гусев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.
27. Лебедев, Л. В. Технология машиностроения: учеб. для вузов / Л. В. Лебедев [и др.]; 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2008 – 526 с. – ISBN 978-5-7695-5634-0.
28. Технология машиностроения: учеб. для вузов / под ред. А.В. Мухина, А.М. Дальского, Г.Н. Мельникова. – М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. Т. 1 360 с.; Т. 2 350 с.
29. Черпаков, Б. И. Автоматизация и механизация производства / Б. И. Черпаков, Л. И. Вереина. – М.: Академия, 2004. – 375 с. – ISBN 5-7695-1502-3.
30. Шишмарев, В. Ю. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. для вузов / В. Ю. Шишмарев. – М.: Академия, 2007. – 364 с. – ISBN 978-5-7695-3567-3.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
---------------	---

РАЗДЕЛ 1. СБОРКА МАШИН

Глава 1. Разработка технологического процесса сборки машин....	5
1.1. Служебное назначение машины и технические требования на ее изготовление.....	7
1.2. Анализ соответствия и достаточности технических требований служебному назначению машины.....	9
1.3. Выбор методов достижения точности. Выявление и расчёт конструкторских размерных цепей.....	10
1.4. Разработка схемы сборки.....	19
1.5. Выбор организационной формы технологического процесса сборки.....	26
Контрольные вопросы.....	39
Глава 2. Достижение требуемой точности при сборке валов.....	39
2.1. Монтаж валов на опорах скольжения.....	39
2.2. Уменьшение осевого и радиального биения валов на опорах скольжения.....	44
2.3. Монтаж валов на опорах качения.....	45
2.4. Уменьшение осевого и радиального биения валов на опорах качения.....	51
2.5. Достижение требуемой точности положения вала относительно основных баз корпусной детали.....	53
Контрольные вопросы.....	55
Глава 3. Сборка зубчатых и червячных передач.....	56
3.1. Монтаж цилиндрических зубчатых передач.....	56
3.2. Сборка конических зубчатых передач.....	65
3.3. Сборка червячных передач.....	73
Контрольные вопросы.....	82
Глава 4. Сборка соединений.....	83
4.1. Сборка разъемных соединений.....	84
4.2. Сборка неразъемных соединений.....	91
4.3. Испытания машин.....	100
Контрольные вопросы.....	101

Глава 5. Автоматизация технологического процесса сборки.....	102
5.1. Математическое описание и моделирование баз.....	102
5.2. Проработка деталей на технологичность, создание условий собираемости.....	107
5.3. Автоматизация сборки с использованием сборочных машин....	112
5.4. Автоматизация сборки с использованием промышленных роботов.....	113
Контрольные вопросы.....	114

РАЗДЕЛ 2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Глава 6. Разработка технологических процессов изготовления корпусных деталей.....	115
6.1. Служебное назначение корпусных деталей и технические требования на их изготовление.....	115
6.2. Материал и методы получения заготовок для корпусных деталей.....	129
6.3. Выбор технологических баз и последовательность обработки....	136
6.4. Методы обработки наружных поверхностей корпусных деталей.....	151
6.5. Методы обработки главных, мелких и резьбовых отверстий....	160
6.6. Отделка плоских поверхностей и главных отверстий.....	175
6.7. Контроль корпусных деталей.....	181
Контрольные вопросы.....	189
Глава 7. Изготовление корпусных деталей в автоматизированном производстве.....	190
7.1. Требования технологичности корпусных деталей и их заготовок.....	190
7.2. Выбор технологических баз.....	195
7.3. Особенности построения технологического процесса изготовления корпусных деталей в автоматизированном производстве.....	199
7.4. Гибкие производственные системы для изготовления корпусных деталей.....	210
7.5. Автоматизированный контроль корпусных деталей.....	222
7.6. Расчеты точности станочного оборудования ГПС.....	230
Контрольные вопросы	239

РАЗДЕЛ 3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВАЛОВ, ШПИНДЕЛЕЙ, ХОДОВЫХ ВИНТОВ И ФЛАНЦЕВ

Глава 8. Разработка технологических процессов изготовления

валов	241
8.1. Служебное назначение валов и технические требования.....	242
8.2. Материал и методы получения заготовок для валов.....	246
8.3. Технологические базы и последовательность обработки валов.....	250
8.4. Токарная обработка валов.....	256
8.5. Методы нарезания резьбы на валах.....	262
8.6. Методы нарезания шлицевых и шпоночных пазов на валах.....	273
8.7. Методы отделки валов.....	288
8.8. Изготовление валов в автоматизированном производстве.....	297
Контрольные вопросы	304

Глава 9. Разработка технологических процессов изготовления

шпинделей	304
9.1. Служебное назначение шпинделей и технические требования	304
9.2. Материал и методы получения заготовок.....	307
9.3. Технология изготовления шпинделей.....	308
9.4. Термическая обработка шпинделей.....	315
9.5. Контроль и балансировка шпинделей.....	317
Контрольные вопросы.....	320

Глава 10. Разработка технологических процессов изготовления

ходовых винтов	320
10.1. Служебное назначение и технические требования	320
10.2. Материал и методы получения заготовок.....	324
10.3. Технология изготовления ходовых винтов.....	325
10.4. Методы нарезания винтовых поверхностей.....	330
10.5. Контроль ходовых винтов.....	339
Контрольные вопросы.....	340

Глава 11. Разработка технологических процессов изготовления

фланцев	341
11.1. Служебное назначение и технические требования.....	341
11.2. Материал и методы получения заготовок.....	343
11.3. Технология изготовления фланцев.....	344
Контрольные вопросы	347

РАЗДЕЛ 4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Глава 12. Разработка технологических процессов изготовления цилиндрических колёс	349
12.1. Служебное назначение и технические требования.....	349
12.2. Материал и методы получения заготовок.....	357
12.3. Выбор технологических баз и последовательности обработки зубчатых колёс.....	360
12.4. Методы нарезания цилиндрических зубчатых колёс.....	373
12.5. Методы отделки зубчатого венца цилиндрических колёс.....	381
12.6. Контроль зубчатых колёс.....	387
Контрольные вопросы.....	389
Глава 13. Разработка технологических процессов изготовления конических зубчатых колёс	390
13.1. Служебное назначение и технические требования.....	390
13.2. Технология изготовления конических зубчатых колёс.....	393
13.3. Методы нарезания и отделки конических зубчатых колёс.....	399
Контрольные вопросы.....	407
Глава 14. Разработка технологических процессов изготовления червячных передач	408
14.1. Служебное назначение и технические требования.....	408
14.2. Материал и методы получения заготовок.....	410
14.3. Технология изготовления червяков и червячных колёс.....	411
14.4. Методы нарезания и отделки червяков и червячных колёс.....	418
14.5. Контроль точности деталей червячных передач.....	425
Контрольные вопросы.....	426
Глава 15. Автоматизация изготовления зубчатых колёс	427
15.1. Автоматизация токарных операций.....	428
15.2. Автоматизация зуборезных операций.....	431
Контрольные вопросы.....	435

РАЗДЕЛ 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПЕРАЦИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ

Глава 16. Разработка технологии и управляющих программ для изготовления деталей на станках с ЧПУ	436
---	-----

16.1. Программирование геометрических и технологических параметров обработки заготовок на станках с ЧПУ	436
16.2. Разработка управляющих программ для многоцелевых станков.....	449
16.3. Диалоговое программирование на станках с ЧПУ	459
Контрольные вопросы	464
Глава 17. Автоматизация управления процессом изготовления деталей на многоцелевых станках и станках с ЧПУ	465
17.1. Управление точностью на этапах установки, статической и динамической настройки станка.....	465
17.2. Управление режимами обработки с учетом состояния оборудования и характера процесса резания. Адаптивное управление процессом обработки.....	489
17.3. Автоматическая оценка состояния режущего инструмента и определение момента его замены.....	506
Контрольные вопросы	512
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	514
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	516

Учебное издание

Мнацаканян Виктория Умедовна
Морозов Валентин Васильевич
Схиртладзе Александр Григорьевич и др.

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебник

Подписано в печать 21.01.13.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 30,46. Тираж 300 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.