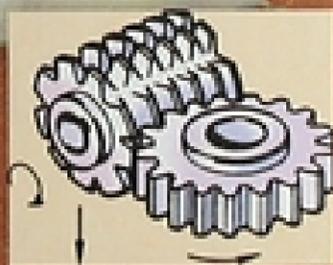


ХЕЛ
проф**ТЕХ**

В.С. Мычко

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ



В.С. Мычко

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Допущено

Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для учащихся учреждений,
реализующих образовательные программы
профессионально-технического образования по специальностям
«Механическая обработка металла на станках и линиях»,
«Техническая эксплуатация оборудования»,
«Технология обработки металлов давлением»



Минск
«Вышэйшая школа»
2011

УДК 621(075.32)

ББК 34.5я722

М95

Рецензенты: методическая комиссия станочных профессий УО «Минский государственный профессиональный лицей № 9 автомобилестроения» (Г.И. Жук); профессор кафедры «Технология машиностроения» Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор И.Л. Баршай

Выпуск издания осуществлен по заказу Республиканского института профессионального образования и при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства

ISBN 978-985-06-2014-9

© Мычко В.С., 2011

© Издательство «Вышэйшая школа», 2011

ВВЕДЕНИЕ

Машиностроение — отрасль производства, занимающаяся изготовлением машин, приборов, механизмов промышленного и бытового назначения, основа экономического развития страны. Отечественное машиностроение является базой для ракетно-, авиа-, дизелестроения, автомобильной, химической, электронной и других отраслей промышленности, обеспечивает экономическую независимость и обороноспособность нашего государства.

В настоящее время технология машиностроения представляет собой отрасль технических наук, которая разрабатывает средства, методы и приемы человеческой деятельности для изготовления новых деталей и машин заданного качества на основе применения компьютерной техники и компьютерных систем автоматизированного проектирования. Современные машины немыслимы без использования глубоких знаний в областях механики, электроники, вычислительной техники и др.

Развитие машиностроительного комплекса требует роста производительности труда, повышения эффективности производства продукции и улучшения ее качества. Решение этих задач невозможно без использования передовых технологий и разработки принципиально новых конструкций машин и механизмов, а также совершенствования или модернизации существующих.

Учение о технологии машиностроения развивалось от простой систематизации производственного опыта механической обработки заготовок и сборки машин до создания научно обоснованных положений, разработанных на базе теоретических исследований и обобщения передового опыта машиностроительных заводов.

В настоящее время учеными и работниками производства большое внимание уделяется разработке и внедрению новых высокоэффективных технологических процессов, новых материалов, в том числе и неметаллических, снижению металлоемкости изделий, экономии топливно-энергетических и трудовых ресурсов, повышению надежности и долговечности машин. В решении этих задач важное место занимает технология машиностроения.

Данная наука — одна из самых молодых наук, быстро развивающаяся вместе с возникновением новой техники и совершенствованием промышленного производства. Ее содержание непрерывно уточняется и обогащается новыми сведениями и теоретическими разработками.

Технология машиностроения как прикладная наука имеет большое значение в подготовке специалистов для различных отраслей машиностроительного комплекса. Она вооружает их знаниями, позволяющими разработать новые прогрессивные технологии и создавать машины, отвечающие современному уровню развития науки и техники.

Машиностроение, поставляющее новую технику всем отраслям хозяйства, определяет технический прогресс страны и оказывает влияние на создание материальной базы общества. В связи с этим его развитию, в частности подготовке специалистов для данной отрасли народного хозяйства, уделяется большое внимание.

Учебное пособие написано в соответствии с типовой учебной программой учебного предмета «Основы технологии машиностроения» для учреждений, реализующих образовательные программы профессионально-технического образования по специальностям «Техническая эксплуатация оборудования», «Механическая обработка металла на станках и линиях», «Технология обработки металлов давлением». Книга также поможет молодому рабочему в дальнейшем повышении его квалификации на производстве.

Глава 1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1.1. Машина как объект производства

Машиностроение — одна из ведущих отраслей народного хозяйства. Объектами производства машиностроительной промышленности являются различные виды машин. Понятие о машине формировалось на протяжении многих столетий по мере развития науки и техники. С давних времен под машиной понимали устройство, предназначенное для действия в нем сил природы сообразно потребностям человека. В настоящее время понятие «машина» расширилось и трактуется с разных позиций и в различном смысле. Например, с точки зрения механики машина — это механизм или сочетание механизмов, выполняющих целесообразные движения для преобразования энергии, материалов или производства работ.

Появление электронно-вычислительных устройств, стихийно причисленных к классу машин, вынудило рассматривать машину как устройство, выполняющее определенные целесообразные механические движения для преобразования энергии, материалов, производства работ или же для сбора, передачи, хранения, обработки и использования информации. Все машины и различные механические устройства создавались с целью замены или облегчения физического и умственного труда человека.

С точки зрения технологии машиностроения машина может быть либо объектом, либо средством производства. Поэтому для технологии машиностроения понятие «машина» можно определить как систему, созданную трудом человека для качественного преобразования исходного продукта в полезную для человека продукцию. Процесс преобразования может вестись механическим, физическим, химическим путем как каждым в отдельности, так и в сочетаниях.

В зависимости от области использования и функционального назначения различают энергетические, производственные и информационные машины.

В *энергетических машинах* один вид энергии превращается в другой. Такие машины обычно называют двигателями. Гидравлические турбины, двигатели внутреннего сгорания, паро-

вые и газовые турбины относят к так называемым тепловым двигателям. Электрические двигатели постоянного и переменного тока составляют группу электрических машин.

Число типов *производственных машин* достаточно велико. Это объясняется разнообразием производственных процессов, выполняемых этими машинами. Различаются строительные, грузоподъемные, землеройные, транспортные и другие машины. Самую большую группу составляют технологические, или рабочие, машины. К ним можно отнести, например, металлорежущие станки, текстильные и бумагоделательные машины, полиграфическое оборудование и др. Для технологических машин характерны периодически повторяющиеся перемещения их рабочих органов, которые непосредственно выполняют производственные операции.

К рабочим органам машины необходимо непрерывно подводить энергию. При этом двигатель (чаще всего электрический) и рабочие органы машины соединяются с помощью специальных устройств, называемых механизмами.

Механизмы являются составной частью как энергетических, так и производственных машин. В современных энергетических машинах используют простые виды движений (вращательное, возвратно поступательные), поэтому в них применяется небольшое число типов механизмов. Наоборот, число типов механизмов, используемых в современных производственных машинах, достаточно велико. Это объясняется большим разнообразием типов движений их рабочих органов.

Двигатель, передаточный механизм и исполнительная машина, спроектированные как одно целое и установленные на общей раме и фундаменте, представляют собой машинный агрегат.

Огромное значение для развития всех отраслей современного производства имеет все более широкое внедрение методов автоматического контроля производственных процессов. Устройства, используемые для этой цели, называют приборами.

Отдельной группой устройств, изменяющих состояния предмета труда без непосредственного участия рабочего, являются аппараты. В аппаратах происходят различные химические, тепловые, электрические и другие процессы, необходимые для обработки или изменения свойств обрабатываемых деталей. Рабочие устройства аппарата, как правило, неподвижны. Иногда аппараты включают устройства для транспортирования обрабатываемых объектов.

Группу *информационных машин* составляют вычислительные, измерительные, контрольно-управляющие и др. Энергетические и информационные машины изучаются в специальных курсах соответствующих специальностей.

Машины, механизмы, отдельные узлы и детали в процессе производства их на машиностроительном предприятии являются изделиями.

Изделием в машиностроении называют любой предмет или набор предметов производств, подлежащих изготовлению на данном предприятии. Изделием может быть машина, ее элементы в сборе и отдельные детали, если они являются конечной стадией данного производства. Например, для автомобильного завода изделием является автомобиль, для завода редукторов – редуктор, для завода поршней – поршень и т.п.

Изделия могут быть неспецифицированными и специфицированными.

Деталь – это изделие, изготавливаемое из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. Характерным признаком детали является отсутствия в ней разъемных и неразъемных соединений. Деталь представляет собой комплекс взаимосвязанных поверхностей, выполняющих различные функции при эксплуатации машины.

Детали машин различного функционального назначения отличаются формой, размерами, материалом и др. Вместе с тем независимо от функционального назначения детали машин имеют общие свойства производственного характера – они являются продуктом производства, формирующего их из исходных заготовок и материалов.

Кроме отдельных машин и их частей объектами производства машиностроительных предприятий могут быть комплексы и комплекты изделий.

Комплексом называют два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, например буровая установка, автоматическая линия, цех-автомат и т.п.

Комплект – это два и более изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, которые имеют общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например

комплект запасных частей, комплект инструмента и принадлежностей, комплект измерительной аппаратуры и т.п.

Группу составных частей изделия, которые необходимо подать на рабочее место для сборки изделия или его составной части, называют *сборочным комплектом*.

Изделие предприятия-поставщика, применяемое как составная часть изделия, которое выпускается предприятием-изготовителем, называют комплектующим изделием. Для моторного завода комплектующими изделиями могут быть, например, стартеры, генераторы, прерыватели-распределители и др.

Одной из важнейших характеристик выпускаемой продукции является ее качество. При этом в соответствии с ГОСТ 15467–79 под качеством промышленной продукции понимается совокупность свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Качество продукции фиксируется на определенный период времени с помощью различных нормативных документов, главным образом стандартов, и изменяется при появлении более прогрессивных технологий.

Качество продукции относится к числу важнейших показателей производственно-хозяйственной деятельности промышленного предприятия. Именно качество продукции обуславливает финансовую и экономическую устойчивость предприятия, темпы научно-технического прогресса, экономию материальных и трудовых ресурсов. Во всех странах мира выпуск продукции высокого качества приводит к уменьшению объема продаж, прибыли и рентабельности, к снижению экспорта и другим нежелательным последствиям.

Требования к качеству промышленной продукции формируются потребителями (заказчиками), разработчиками, изготовителями и закрепляются в соответствующих нормативно-технических документах и договорах. Качество машин закладывается в их конструкцию при проектно-конструкторских разработках, обеспечивается на заданном уровне в производстве и поддерживается в течении определенного времени в эксплуатации.

Объективная особенность продукции, проявляющаяся при ее создании, эксплуатации, хранении, транспортировке, ремонте, техническом обслуживании и в других обстоятельствах, называется *свойством продукции*.

Количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, составляющих ее качество, называется *по-*

казателем качества продукции. Номенклатура показателей качества продукции зависит от ее назначения. При этом степень совершенства машины, выражающаяся ее мощностью, производительностью, коэффициентом полезного действия, экономичностью, степенью автоматизации, точностью работы, определяет общий технический уровень машины.

Для оценки качества изделий необходима четкая система показателей качества и методов их определения. Область науки, занимающая практической и научной деятельностью по разработке теоретических основ и методов количественной оценки качества продукции, называется *квалиметрией*. С помощью методов квалиметрии можно свести отдельные свойства продукции в единую количественную оценку.

Признак продукции определяется качественной или количественной характеристикой любых ее свойств или состояний. К качественным характеристикам можно отнести, например, форму изделия, способ крепления деталей изделия (сварка, свинчивание, склеивание и др.), наличие на поверхности детали декоративного покрытия и пр.

Количественный признак продукции является ее параметром. Параметр продукции количественно характеризует любые ее свойства, в том числе входящие в состав качества продукции.

Показатели качества продукции могут быть единичными и комплексными. Единичный показатель качества характеризует одно из свойств продукции. Примером единичного показателя двигателя может быть число цилиндров, мощность, диаметр поршня и др. Комплексный (интегральный) показатель характеризует несколько свойств продукции. Его оценивают чаще всего средневзвешенной величиной. Этот показатель, в частности, может отражать общий полезный эффект от эксплуатации машины по сравнению с суммарными затратами на ее создание и эксплуатацию.

Относительная характеристика качества, основанная на сравнении значений показателей качества оцениваемой продукции с базовыми значениями соответствующих показателей, называется *уровнем качества продукции*. При этом за базовые принимают показатели качества лучших отечественных и достоверные показатели зарубежных образцов, а также показатели перспективных образцов, найденные опытным или теоретическим путем.

В случае сравнения показателей, характеризующих лишь техническое совершенство изделия, используют термин «технический уровень продукции». Технический уровень машины достигается в результате оригинальных конструктивных решений, применения новых материалов, внедрения новых прогрессивных технологических процессов, методов расчета, контроля, испытаний и др.

Оценка уровня качества продукции является основой для выработки соответствующих решений по управлению качеством продукции.

Показатели технического уровня продукции используются при выдаче технических заданий на проектирование новой техники, планировании научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИИОКР), в решении правовых вопросов, связанных с приоритетом, правом передачи лицензий, выдачей патентов и др.

Технический уровень продукции основан на сопоставлении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, с соответствующими базовыми значениями.

Общую оценку качества изделия можно произвести по его работоспособности — это такое состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией.

В соответствии с ГОСТ 22851—77 при оценке технического уровня изделия установлена следующая номенклатура основных групп показателей качества по характеризующим свойствам продукции: показатели назначения; показатели надежности; эргономические показатели; эстетические показатели; показатели технологичности; показатели транспортабельности; показатели стандартизации и унификации; патентно-правовые показатели; экологические показатели и показатели безопасности.

Современная трактовка понятия качества, закрепленная международными стандартами, такова: *качество* — это совокупность характеристик объекта, имеющая отношение к его способности удовлетворять установленные требования потребителя.

Качество машины характеризуется определенной системой показателей, учитывающей ее назначение. Степень совершен-

ства машины выражается следующими эксплуатационными показателями назначения:

- производительность;
- экономичность;
- точность работы;
- степень автоматизации;
- соответствие требованиям экологии и нормальным условиям труда, физиология человека;
- энергопотребление (энергозатраты).

Показатели назначения определяют полезный эффект использования:

- чувствительность;
- коэффициент усиления;
- быстродействия;
- точность;
- мощность.

На показатели установлены определенные допуски.

Показатели точности связаны с работоспособностью машины (изделия), т.е. с таким состоянием, когда основные параметры (показатели позиционирования) соответствуют установленным требованиям, например показатели точности к точке, от одного интервала времени к другому.

Значение того или иного показателя зависит не от его номинального значения, а от того, какова способность машины сохранять это значение в реальных условиях эксплуатации на протяжении «жизненного цикла» изделия.

Рассмотрим важнейшие эксплуатационные показатели качества машины.

Надежность – свойство объекта сохранять в установленных пределах значение всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Надежность – сложное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения состоит из сочетаний свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Безотказность – свойство объекта сохранять работоспособность в течение некоторого времени до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению причин возникновения отказов, повреждений, поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта.

Наработка на отказ – продолжительность или объем работы объекта; выражается в единицах объема выполненной работы за промежуток времени или время функционирования.

Срок службы – календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

Ресурс – регламентированное время работы изделия, определяющее его долговечность.

Станкоемкость – продолжительность времени, в течение которого должны быть заняты станки или другое оборудование для изготовления всех деталей изделий, единицей измерения является станко-час.

Производственный цикл – интервал времени от начала до конца процесса изготовления или ремонта изделия.

Конструктивная преемственность изделия – свойство изделия, определяющее возможность использования в нем деталей и сборочных единиц, применяемых в других изделиях.

Технологическая преемственность изделия – свойство изделия, определяющее возможность использования отдельных технологических операций, средств технологического оснащения для изготовления или ремонта.

С точки зрения технолога-машиностроителя, при оценке качества машин определяются следующие неразрывные показатели процесса изготовления: *технические, организационные и экономические.*

Стабильность:

- точность технологического процесса (ТП) – свойство процесса сохранять без дополнительных регулировок точность во время обработки партии деталей с одной настройки станка;

- технологическая стабильность ТП – характеризуется расположением параметров всех обработанных деталей партии в пределах допуска;
- статистическая стабильность ТП – определяется постоянством значений статистических параметров рассеивания отклонений размеров, формы и расположения поверхностей за время обработки партии заготовок;
- надежность ТП – свойство процесса сохранять в заданных пределах значения основных характеристик в течение определенного времени;
- уровень автоматизации ТП – характеризует степень уменьшения воздействия обслуживающего персонала (его вмешательство в ход процесса);
- материалоемкость (металлоемкость) – свойство, определяющее техническое совершенство и экономичность процесса, характеризующее расход материала (металла) на единицу продукции;
- производительность ТП – определяется качеством или стоимостью изделий, приходящихся на единицу трудозатрат;
- технологическая себестоимость – характеризуется себестоимостью изготовления изделия (за вычетом стоимости покупных изделий и сборочных единиц);
- технологическая трудоемкость ТП – определяется суммарной трудоемкостью изготовления изделий (без учета трудоемкости покупных изделий и сборочных единиц);
- экономичность ТП – определяет его экономическую эффективность для предприятия и народного хозяйства в целом и является обобщающим свойством.

Показатели *назначения* характеризуют полезный эффект от использования продукции, т.е. определяются теми функциями, для выполнения которых и предназначена продукция.

Долговечность – это свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Предельное состояние изделия определяется невозможностью его дальнейшей эксплуатации и оговаривается в технической документации. Показателями долговечности могут быть, например, срок службы, ресурс, назначенный ресурс. При этом под сроком службы понимают календарную продолжительность эксплуатации изделия до момента возникновения пре-

дельного состояния, оговоренного в технической документации, или до списания.

Предельное состояние ремонтируемых изделий определяется неэффективностью их дальнейшей эксплуатации из-за старения и частых отказов или увеличения затрат на ремонт. Предельное состояние изделия может наступить также по причине его морального старения. Ресурсом называется показатель, характеризующий долговечность изделия по наработке. Назначенный ресурс — это наработка изделия, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от состояния изделия. Различают ресурс и срок службы до первого капитального ремонта, между капитальными ремонтами и до их списания. Технический ресурс изделия назначается в технической документации исходя из соображения безопасности и экономичности.

Для многих неремонтируемых изделий (зубчатые колеса, осветительные лампы, элементы радио- и электроприборов) предельное состояние совпадает с отказом. Иногда предельное состояние определяется наступлением периода повышенной интенсивности отказов.

Ремонтопригодность характеризует способность изделия восстанавливать работоспособность путем каких-либо ремонтных воздействий, например путем технического обслуживания, текущего или капитального ремонта, восстановления изношенных деталей, замены отдельных деталей или узлов на новые.

Показатели *эргономичности* характеризуют систему человек — машина — среда и учитывают все факторы, которые влияют на работника со стороны эксплуатируемого изделия. Это, например, гигиенические показатели (влажность, температура, шум, запыленность, токсичность, вибрация); антропометрические показатели, учитывающие соответствие конструкции машины размерам тела человека и его отдельных частей, форме и массе человеческого тела; физиологические показатели, учитывающие скоростные и силовые возможности человека, а также пороги слуха и зрения. Кроме того, на органах управления должны соблюдаться так называемые мнемонические правила, когда направления поворота ручек соответствуют направлению изменения движения.

Эстетические показатели характеризуют информационную выразительность, оригинальность внешнего вида, рацио-

нальность формы, цвета, совершенство исполнения и стабильность товарного вида.

Технологичность изделия можно оценить, например, такими показателями, как простота его конструкции, трудоемкость и материалоемкость, степень использования новых прогрессивных материалов, технологическая себестоимость изготовления и др.

Транспортбельность изделия характеризуется удобством и безопасностью его транспортирования различными видами транспорта: по железной дороге, автомобильным или морским транспортом.

Показатели *стандартизации* и *унификации* характеризуют степень использования в машине стандартизированных и унифицированных отдельных деталей, узлов и других конструктивных элементов.

Патентно-правовые показатели качества характеризуют патентную чистоту и патентную защиту промышленной продукции и новых технических решений, которые были использованы при создании этой продукции. Эти показатели в значительной степени обуславливают конкурентоспособность и возможность реализации продукции на мировом рынке.

Экологические показатели характеризуют влияние изделия на окружающую среду в процессе его эксплуатации, транспортирования, хранения и утилизации.

Кроме эксплуатационных показателей качество машины можно оценить объемом капиталовложений в ее производство, себестоимостью единицы продукции, производимой этой машиной.

Интервал календарного времени от начала до окончания процесса изготовления или ремонта изделия называют ***производственным циклом***. Длительность производственного цикла и ритмичность работы предприятия в значительной степени зависят от организации всего производственного процесса, четкого управления производством и персоналом, своевременного снабжения предприятия сырьем, материалами, инструментом, запасными частями, комплектующими изделиями и другими средствами производства. Важное значение для ритмичности и экономичности работы предприятия имеет своевременная реализация изготовленной промышленной продукции.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение понятия «машина».
2. Какие виды машин вы знаете в зависимости от области использования и функционального назначения?
3. Какие вы знаете основные типы производственных машин?
4. Дайте определение понятия «качество промышленной продукции».
5. Назовите основные группы показателей качества изделий.
6. Что означает комплексность свойств понятия надежности изделия?
7. Что такое долговечность изделия?
8. Что такое ресурс и срок службы изделия?
9. Что такое уровень качества продукции?
10. Дайте определение понятия «производственный цикл». Перечислите факторы, влияющие на длительность производственного цикла.

1.2. Основные понятия о производственном и технологическом процессах

Производственным процессом называется совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых для изготовления выпускаемых изделий на данном предприятии.

В зависимости от характера выполняемых работ в пределах машиностроительного предприятия различают технологические процессы механической, термической, литейной, кузнечной обработок и др.

В производственный процесс входят не только процессы, связанные с изменением форм и свойств исходных заготовок и сборкой узлов, но и процессы, обеспечивающие выпуск готовой продукции – транспортировка и хранение, изготовление инструмента, ремонт, учет и отчетность, входной и выходной контроль и т.д.

Состав производственных процессов предприятия зависит от его специализации, объема выпуска продукции, объема кооперирования смежных предприятий и характера технологических процессов.

Технологический процесс – это часть производственного процесса, содержащая действия по изменению и последующему определению состояния предмета труда. То есть в технологический процесс входят действия по изменению состояния заготовок, деталей, узлов, изделий, касающиеся изменения формы,

размеров, шероховатости поверхности, относительного положения деталей, внешнего вида изделия.

Для последовательного осуществления технологического процесса его разделяют на отдельные части и элементы: операции, установки, позиции, переходы, рабочие ходы, отличающиеся между собой объемом выполняемых работ.

Таким образом, под технологическим процессом обработки конкретной детали надо понимать часть производственного процесса, непосредственно связанного с изменением формы, размеров, шероховатости поверхностей и состояния заготовки с целью получения готовой детали. При механической обработке изменяются формы и размеры заготовки, при термической — объемные физико-механические свойства заготовки или детали либо поверхностей.

К технологическим процессам относят также контроль качества, очистку и транспортировку, которые, хотя и не изменяют объект производства, тесно связаны с процессами обработки и сборки или входят в них составной частью.

Технологические процессы машиностроительного предприятия можно разделить на четыре группы: заготовительные, обрабатывающие, сборочные, сервисные.

Заготовительные процессы осуществляются в литейном, кузнечном и других заготовительных цехах, где из исходных материалов изготавливаются заготовки деталей машин (литые, кованные, штампованные, отрезанные из проката и сварные).

Обрабатывающие процессы предназначены для того, чтобы придать заготовкам требуемые форму, размеры и механические свойства. Их осуществляют в механических, термических и гальванических цехах.

Сборочные процессы проводят в сборочных цехах или на участках механосборочных работ, где из деталей машин, изготовленных на предприятии, покупных деталей и изделий собирают узлы и машины.

К *сервисным процессам* относят энерго- и теплоснабжение, транспортировку и складирование, ремонт технологического оборудования, изготовление технологической оснастки, технологическую подготовку производства, планирование, контроль, управление и т.д. Значительное внимание в последнее время уделяется сервисным процессам в связи с внедрением на машиностроительных предприятиях международных стандартов серии ISO 9000.

Прежде чем приступить к изготовлению детали в целом, рабочий должен четко представить себе технические требования, предъявляемые к предстоящей работе, способы установки заготовок на станке, необходимые приспособления и инструменты, режимы резания. Все это и определяет теоретическое содержание технологического процесса механической обработки.

Технологический процесс существенно влияет на экономические показатели предприятия, поэтому при осуществлении процесса должны обеспечиваться не только необходимые качества изделия и высокая производительность труда, но и наименьшие материальные затраты.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определения производственного и технологического процессов.
2. Что определяет технологический процесс?

1.3. Структура технологического процесса

Технологический процесс — это часть производственного процесса, включающая последовательное изменение размеров, формы, внешнего вида или внутренних свойств предмета производства и их контроль. Элементы технологического процесса приведены на рис. 1.1.

Технологическая операция — это законченная часть технологического процесса, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте над одним или несколькими одновременно обрабатываемыми или собираемыми изделиями, одним или несколькими рабочими.

Состав операции устанавливают не только из чисто технологических соображений, но и из организационной целесообразности. При этом учитывается условие непрерывности операций.

Технологическая операция является основной единицей производственного планирования и учета. С ее помощью определяются:

- трудоемкость изготовления изделия;
- нормы времени и расценки;
- требуемое количество рабочих, оборудования, приспособлений, инструментов;
- себестоимость обработки.



Рис. 1.1. Элементы технологического процесса

На основе технологической операции осуществляется календарное планирование производства, контроль качества и сроков выполнения работ.

Условие непрерывности операции означает выполнение предусмотренной работы без перехода к обработке другого изделия. Например, обработка ступенчатого валика в центрах на токарном станке представляет собой одну технологическую операцию, если ее выполняют в такой последовательности: устанавливают заготовку в центрах, точат валик с одного конца (рис. 1.2, а), снимают заготовку, переустанавливают хомутик и вторично устанавливают заготовку в центрах, точат валик с другого конца (рис. 1.2, б).

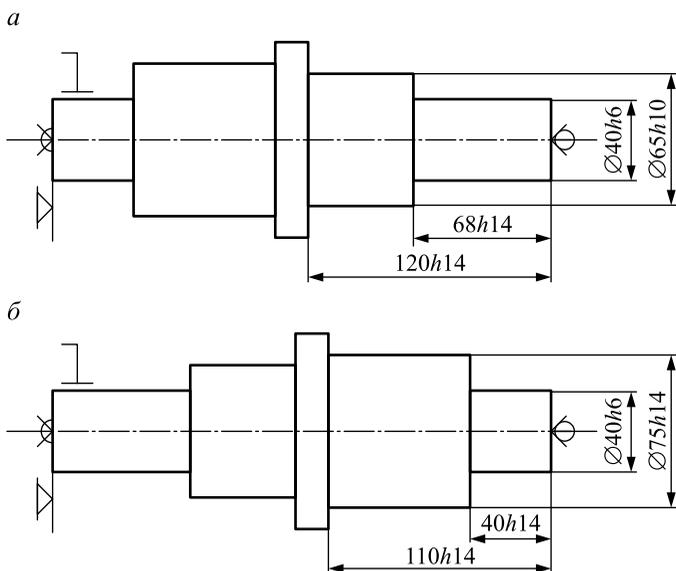


Рис. 1.2. Обработка ступенчатого валика в центрах

Аналогичную по содержанию работу над валиком можно выполнить и за две операции:

- закрепить хомутик, установить заготовку в центрах, обточить с одного конца и снять хомутик;
- закрепить хомутик на другом конце заготовки, установить ее в центрах и точить с другого конца, если вторичная установка и обработка второго конца валика последует не сразу после обработки первого, а с перерывом до обработки других загото-

вок партии (т.е. сначала все заготовки обрабатываются с одного конца, а потом все — с другого).

Приведенный пример показывает, что состав операции устанавливается не только на основе чисто технологических соображений, но и с учетом организационной целесообразности.

Кроме технологических операций в состав технологического процесса в поточном производстве, при обработке на автоматических линиях и в гибких технологических комплексах включаются вспомогательные операции (транспортные, контрольные, маркировочные, по удалению стружки и т.д.). Эти операции не изменяют размеров, формы, внешнего вида или свойств обрабатываемого предмета, но необходимы для осуществления технологических операций.

В условиях автоматизированного производства несколько станков связаны автоматическими транспортно-загрузочными устройствами. В этом случае под операцией понимается часть технологического процесса, выполняемая непрерывной автоматической линией.

В условиях гибких автоматизированных производств (ГАП) непрерывность выполнения операции может нарушаться направлением обрабатываемых заготовок на промежуточный склад в период между отдельными позициями, выполняемыми на разных технологических модулях.

Установ — часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении заготовки или сборочной единицы.

Позиция — фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования, для выполнения определенной части операции.

Технологический переход — законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке.

Применительно к условиям механической обработки технологический переход представляет собой законченную часть технологической операции, выполняемую над одной или несколькими поверхностями, одним или несколькими одновременно работающими инструментами без изменения или при

автоматическом изменении режимов работы станка. В случае использования обычных станков технологические переходы осуществляются при неизменных режимах их работы. В станках с адаптивным управлением и в станках с программным управлением внутри одного технологического перехода имеет место автоматическое изменение режимов обработки.

Понятие *элементарного перехода* удобно при проектировании технологической операции и расчете основного времени обработки на станках с ПУ, когда внутри технологического перехода производятся изменения режимов работы станка. Например, при обработке фасонных контуров на станках с ПУ во многих случаях внутри перехода изменяется припуск на обработку или условия резания. Это вызывает необходимость введения в программу другой величины подачи на соответствующих участках обрабатываемого контура. Длина участков поверхности, обрабатываемой с неизменной подачей, и соответствующее ей основное время обработки определяют величину элементарного перехода.

Вспомогательный переход — часть операции, при которой не изменяются допуски, размеры, шероховатость, но которая необходима для выполнения технологического перехода (установка заготовки, смена инструмента).

Рабочий ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхности и свойств заготовки.

Вспомогательный ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождаемого изменением размеров, формы, качества поверхности или свойств заготовки, но необходимого для подготовки рабочего хода.

Прием — законченная совокупность действий человека, применяемых при выполнении перехода или его части и объединенных одним целевым назначением.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы элементы технологического процесса?
2. Дайте определения элементов технологического процесса.

1.4. Типы машиностроительного производства

Одной из характеристик производственного процесса является объем выпуска продукции, т.е. число изделий, изготовленных в единицу времени, например в год.

Содержание технологического процесса в значительной степени зависит от организации производства или его типа. Тип (вид) производства — классификационная категория производства, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска продукции. В машиностроении различают 3 основных типа производства: единичное, серийное и массовое. Главным признаком их является количество (величина партии) и степень повторяемости изготавливаемых деталей.

Основной принцип построения технологических процессов — совмещение технических, экономических и организационных задач:

- технических — обеспечение выполнения требований к качеству изделия;
- экономических — обеспечение выполнения технических требований при наименьших затратах труда и минимальной себестоимости;
- организационных — изготовление изделий в нужном количестве и в сроки, установленные производственной программой.

В зависимости от широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска производство подразделяется на единичное, серийное и массовое (ГОСТ 140040–83).

Тип производства в соответствии с ГОСТ 3.1119–83 определяется на основе коэффициента закрепления операций $K_{з.о}$:

$$K_{з.о} = \frac{\sum P_o}{\sum P_{я}},$$

где $\sum P_o$ — суммарное число различных операций, выполняемых в течение месяца; $\sum P_{я}$ — явочное число рабочих подразделения, выполняющих различные операции (число рабочих мест (станков), на которых выполняются эти операции).

Коэффициент закрепления операций отражает периодичность обслуживания рабочего всей необходимой информацией, а также снабжение рабочего места всеми вещественными

элементами производства. Поэтому $K_{3,0}$ оценивается применительно к явочному числу рабочих подразделения из расчета работы в одну смену:

- для массового производства $K_{3,0} = 1$;
- для крупносерийного $1 \leq K_{3,0} \leq 10$;
- для среднесерийного $10 \leq K_{3,0} \leq 20$;
- для мелкосерийного $20 \leq K_{3,0} \leq 40$;
- для единичного $K_{3,0} > 40$.

При выборе типа (вида) производства используют следующие исходные данные:

- годовая программа изделий $N_{и} = \dots$ шт.;
 - количество деталей на изделие $m = \dots$ шт.;
 - запасные части $\beta = \dots$ %;
 - режим работы предприятия \dots смен/сут.
- Годовая программа определяется по формуле

$$N_{г} = N_{и} \cdot m \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100}\right).$$

Для выбора типа производства технологический процесс изготовления детали (сборки узла) разделяется на технологические операции и переходы по обработке элементарных поверхностей, определяется основное время выполнения каждого перехода и штучное ($T_{шт}$) или штучно-калькуляционное время ($T_{шт-к}$) для каждой операции. На данном этапе пользуются приближенными формулами.

Единичное производство характеризуется широкой номенклатурой и малым объемом выпуска изделий в год, единицами или малыми партиями, которые в дальнейшем не повторяются или повторяются через неопределенное время. Примерами такого производства являются экспериментальные и ремонтные цеха и участки, в которых изготовление деталей носит разовый характер. Технологический процесс при этом типе производства предусматривает обработку возможно большего количества различных заготовок на одном станке.

Используется универсальное оборудование, которое устанавливается по технологическим признакам (токарные, фрезерные станки и т.д.).

Станки, приспособления, режущие и измерительные инструменты должны быть универсального типа, обеспечивающие изготовление деталей широкой номенклатуры. Количество заготовок, поступающих на рабочее место, исчисляется штуками и десятками.

Применяются простейшие способы получения заготовок (литье в землю, горячекатаный прокат, поковки) с малой точностью и большими припусками. Требуемая точность достигается методом пробных ходов и измерений с использованием разметки.

Широко применяется пригонка по месту, взаимозаменяемость ограничивается резьбовыми соединениями, обработкой посадочных поверхностей для подшипников качения.

Основные черты единичного производства:

- разнохарактерность и неравномерность по времени поступления в производство;
- широкая и разнообразная номенклатура изготавливаемых изделий;
- отсутствие заранее известной повторяемости операций на рабочих местах;
- различие в требованиях к изделию в отношении точности, качества материала и вида заготовки;
- широкая универсальность оборудования;
- высокая квалификация рабочих.

Серийным производством называют производство, в котором изготовление деталей совершается периодически повторяющимися партиями. Их обработка выполняется в основном на универсальных и частично специализированных и специальных станках, оснащенных инструментами и приспособлениями, а также на станках с программным управлением. Оборудование, предназначенное для обработки заготовок, выпускаемых в большом количестве, располагают по ходу технологического процесса, часть оборудования располагают по типам станков. Цикл изготовления продукции при серийном производстве по сравнению с единичным производством короче, а себестоимость выпускаемой продукции ниже. Продукцией серийного производства являются металлорежущие станки, стационарные двигатели внутреннего сгорания, гидротурбины небольших электростанций, насосы, компрессоры и т.п.

Объем выпуска колеблется от десятков до тысяч регулярно повторяющихся изделий. Широко используются станки с ПУ, ОЦ, ГАП. Оборудование расставляется по технологическим группам с учетом направления основных грузопотоков по предметно-замкнутым участкам. Используются групповые поточные линии и переменнo-поточные автоматические линии (АЛ).

В зависимости от величины партии различают *мелкосерийное, среднесерийное* и *крупносерийное производство*. По такому типу организованы станкостроительные, инструментальные и некоторые другие цеха и заводы.

Для серийного производства характерно применение более высокопроизводительных станков, где наряду с универсальным применяют специализированное оборудование, а также использование станков с программным управлением и обрабатывающих центров. Количество деталей в партии для одновременного запуска можно определить по формуле

$$n = \frac{N \cdot \alpha}{254},$$

где N — годовая программа выпуска, шт.; α — периодичность запуска, дн.

Большое распространение находит универсально-сборная, переналаживаемая оснастка. Для получения заготовок используются горячекатаный и холоднотянутый прокат, точное литье и точные штамповки.

Целесообразность применения тех или иных методов обосновывается технико-экономическими расчетами. Определение характера и степени технической оснащенности требует понимания реальной производственной обстановки, перспектив развития, умения проводить сложные технико-экономические вычисления.

Форма организации технологических процессов (ГОСТ 14.312–83) зависит от установленного порядка выполнения операций, расположения технологического оборудования, количества изделий и направления движения в процессе изготовления.

Установлены две формы организации технологических процессов — групповая и поточная.

Суточная производительность поточной линии должна быть не ниже 60%. Поэтому определяют заданный суточный выпуск изделий при двухсменной работе.

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1} T_{\text{шт } i}}{n},$$

где $T_{\text{шт } i}$ – штучное время одной основной операции (мин); n – количество основных операций.

Если заданный суточный выпуск изделий меньше суточной производительности поточной линии при условии загрузки на 65...75%, то применение однономенклатурной поточной линии нецелесообразно.

Массовым производством называют производство, характеризуемое изготовлением одних и тех же изделий в течение длительного времени. Обработка их ведется преимущественно на агрегатных и многоцелевых станках с программным управлением, специальных и автоматизированных станках, которые наиболее полно оснащаются высокопроизводительными специальными приспособлениями и инструментами. Оборудование размещается в строгой технологической последовательности, каждая операция закрепляется за определенным рабочим местом. По такому типу организованы автомобильные, тракторные, подшипниковые и подобные им заводы.

В соответствии с ГОСТ 3.1109–83 для массового производства коэффициент закрепления операций равен единице, т.е. на каждом рабочем месте закрепляется выполнение одной постоянно повторяющейся операции.

Используется специальное высокопроизводительное оборудование, которое устанавливается по поточному принципу (по ходу технологического процесса). Оборудование связывается транспортными устройствами с постами промежуточного автоматического контроля, промежуточными складами-накопителями, автоматическими перегружателями (манипуляторами, автооператорами). Применяются многошпиндельные автоматы и полуавтоматы, автоматические линии и автоматизированные производственные системы, управляемые ЭВМ, заготовки с минимальными припусками (литье под давлением и точное литье, горячая объемная штамповка, калибровка, чеканка).

Требуемая точность достигается методами автоматического получения размеров на настроенных станках при обеспечении взаимозаменяемости. На настроенных станках работают рабочие-операторы более низкой квалификации. Имеются высо-

коквалифицированные наладчики станков, специалисты по электронике, гидropневмоавтоматике.

Технологическая документация разрабатывается более тщательно, технические нормы рассчитываются и экспериментально уточняются.

При непрерывно-поточном методе производства время, затрачиваемое на выполнение одной операции, равно или кратно такту производства.

Такт выпуска (τ) — интервал времени между выпуском двух следующих одна за другой обработанных деталей. Такт выпуска измеряется в минутах, затрачиваемых на производство единицы изделия, и рассчитывается по формуле

$$\tau = \frac{60 \cdot F}{\Pi},$$

где F — фонд рабочего времени, ч; Π — производственная программа по выпуску данного изделия, шт.

Фонд рабочего времени и производственная программа определяются по отношению к одному и тому же календарному сроку — неделя, месяц, квартал, год.

Примеры оборудования массового производства — автоматические станочные линии и сборочные конвейеры.

Основные черты массового производства:

- установившийся объем и характер работ на рабочих местах, что определяет простоту нормирования как отдельных технологических операций, так и всего технологического процесса в целом;
- расположение рабочих мест в порядке выполнения простых технологических операций, что позволяет использовать рабочих с более низкой квалификацией;
- широкое применение специальных высокопроизводительных станков автоматов и полуавтоматов, что создает условия для работы рабочих-многостаночников и не требует больших затрат для автоматизации отдельных этапов технологических процессов;
- полная взаимозаменяемость деталей и отсутствие ручных пригоночных работ при сборке. Сборка, как правило, автоматизирована.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы основные принципы построения технологических процессов?
2. Дайте краткую характеристику различным типам производства.

1.5. Точность механической обработки

Погрешностью обработки называется отклонение действительных размеров и формы изготовленной детали от заданных. Погрешности, возникающие по различным причинам, определяют точность обработки. Величина допуска не совсем полно характеризует точность обработки, поэтому в качестве единицы точности, с помощью которой можно установить зависимость изменения допуска при изменении диаметра, принимается единица допуска. При любом виде обработки нельзя получить деталь точно заданных размеров. Размеры деталей должны находиться в пределах допусков, назначаемых конструктором машины и указанных на чертеже детали. Все детали, у которых действительные размеры не будут выходить за пределы поля допуска, будут одинаково годны для работы в машине.

Поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды, называется реальной поверхностью. Эта поверхность образуется в процессе обработки и в отличие от номинальной поверхности, изображаемой на чертежах, имеет неровности различных форм высоты.

Под поверхностным слоем понимают саму поверхность и ее некоторый слой, примыкающий к поверхности, который по своим физико-механическим свойствам отличается от материала сердцевины детали.

Под качеством поверхности понимают свойства поверхностного слоя детали, которые формируются в результате воздействия на поверхность одного или нескольких последовательно применяемых технологических процессов.

Качество поверхности определяется геометрическими показателями (шероховатость, волнистость, отклонение формы) и физико-механическими характеристиками поверхностного слоя (микротвердость, остаточное напряжение, структура).

В условиях единичного и мелкосерийного производства необходимая точность деталей достигается методом пробных рабочих ходов, т.е. снятием припуска при последовательных рабочих ходах под контролем измерительного инструмента.

Такой метод не применяют в условиях крупносерийного и массового производства как неэкономичный. В серийном и массовом производстве требуемая точность детали достигается методом автоматического получения размеров. Станки предварительно настраивают на заданный размер, т.е. рабочим звеньям станка, приспособлениям и инструменту придается определенное, конечное взаимное положение, которое и обеспечивает автоматическое получение требуемого размера детали.

Под *точностью обработки* понимают степень соответствия обработанной детали требованиям чертежа и технических условий. Точность детали складывается из точности выполнения размеров, формы, относительного положения поверхностей детали и шероховатости поверхностей. Под точностью формы поверхностей понимают степень приближения ее к геометрической форме. Например, плоские поверхности могут иметь отклонения формы в виде непрямолинейности, т.е. отклонения проверяемой поверхности в заданном направлении от прилегающей прямой.

Цилиндрические поверхности в поперечном сечении могут иметь отклонения от прилегающей окружности: овальность, огранку. В продольном сечении – бочкообразность, седлообразность, конусообразность, изогнутость.

Точность относительного положения определяется отклонением от номинального расположения рассматриваемой поверхности, ее оси или плоскости симметрии относительно баз и отклонений от номинального взаимного расположения рассматриваемых поверхностей. Относительное положение поверхностей определяется обычно параллельностью, перпендикулярностью или симметричностью ее относительно других поверхностей или осей.

Обеспечение заданной точности детали – основное требование к технологическому процессу. Для проектирования технологического процесса, гарантирующего достижение этой точности, необходимо знать и учитывать погрешности, возникающие при обработке.

Основными причинами погрешностей обработки на металлорежущих станках являются следующее:

- собственная неточность станка, например непрямолинейность направляющих станины и суппортов, непараллельность или неперпендикулярность направляющих станины к оси шпинделя, неточности изготовления шпинделя и его опор и т.п.;

- деформация узлов и деталей станка под действием сил резания и нагрева;
- неточность изготовления режущих инструментов и приспособлений и их износ;
- деформация инструментов и приспособлений под действием сил резания и нагрева в процессе обработки;
- погрешности установки заготовки на станке;
- деформация обрабатываемой заготовки под действием сил резания и зажима, нагрева в процессе обработки и перераспределения внутренних напряжений;
- погрешности, возникающие при установке инструментов и их настройке на размер;
- погрешности в процессе измерения, вызываемые неточностью измерительных инструментов и приборов, их износом и деформациями, а также ошибками рабочих в оценке показаний измерительных устройств.

Собственная точность станков, т.е. точность их в ненагруженном состоянии, установлена ГОСТ 3.1109–83 для всех основных типов станков. По мере износа собственная точность станка уменьшается. Особое значение имеет износ подшипников и шеек шпинделей, а также направляющих станин. Биение шпинделя с овальной шейкой приводят к получению овальности у обрабатываемой заготовки. Вследствие износа направляющих у токарного станка возникает, например, непрямолинейное движение суппорта, что приводит к искажению формы обрабатываемой цилиндрической заготовки.

В процессе обработки под действием сил резания узлы станка деформируются. Это вызывается неточностями пригонки стыковых поверхностей отдельных сопрягаемых элементов узлов. В результате таких деформаций могут получиться погрешности формы и относительного положения обрабатываемой поверхности. Величина упругой деформации тем больше, чем больше силы резания и меньше жесткость узлов станка.

Под жесткостью применительно к станкам и их узлам понимается способность узла сопротивляться появлению упругих отжатий. Жесткость узла измеряется отношением приращения нагрузки к получаемому при этом приращению упругого отжатия, т.е.

$$j = \frac{\Delta P}{\Delta a},$$

где ΔP – приращение нагрузки, кгс; Δa – приращение упругого отжатия, мм.

Жесткость узлов станков определяется экспериментальным путем.

На точность обработки влияет изменение линейных размеров частей станка при нагреве их под действием трения в опорах, что имеет особенное значение при обработке на шлифовальных станках. При обработке почти вся работа резания превращается в тепло. Температура в системе станок – приспособление – инструмент – заготовка (СПИЗ) повышается, что приводит к температурным деформациям, вызывающим соответствующие погрешности обработки. Например, нагрев проходного резца средней величины на 20 °С приводит к увеличению его длины на 0,01 мм, что вызывает уменьшение диаметра обрабатываемой заготовки на 0,02 мм. Обрабатываемая заготовка в процессе резания может нагреваться неравномерно, в этом случае изменяются не только размеры заготовки, но и форма. Тонкостенные заготовки нагреваются при обработке в большей степени, чем массивные, и больше деформируются.

Инструмент изготавливается с определенными погрешностями размеров, формы и взаимного положения его отдельных элементов. Такие погрешности инструментов – зенкеров, разверток, протяжек, фасонных резцов, фрез и подобного – влияют на точность размера или формы обработанной поверхности.

При обработке проходными резцами неточность их размеров и формы не влияет на точность обработки, но в процессе обработки износ инструмента может повлиять на точность обработки данной заготовки, например при точении длинного вала на конечном участке.

Неточность изготовления и износ отдельных элементов приспособления приводят к неправильной установке заготовки в приспособлении и являются источниками погрешностей при обработке.

Нежесткие заготовки под действием сил резания деформируются. Например, вал большой длины, обрабатываемый при установке по центровым отверстиям на токарном станке, прогибается и на концах будет иметь меньший диаметр, чем в середине. В отливках и кованных заготовках в результате неравномерного охлаждения возникают внутренние напряжения. При снятии верхних слоев металла резанием происходит перераспределение напряжений и заготовка деформируется. Для уменьшения внут-

ренных напряжений отливки (станины станков, цилиндры и др.) подвергают естественному или искусственному старению. В первом случае отливки вылеживаются после грубой обработки в течение длительного времени, а во втором — отливки выдерживаются в течение нескольких часов в печи в подогретом состоянии при температуре 450...500 °С. Внутренние напряжения появляются в теле заготовки или поверхностных слоях при термической обработке, холодной правке, сварке.

При настройке станка на обработку партии заготовок режущий инструмент устанавливают в определенном положении и при этом, как правило, возникают погрешности обработки из-за неточности установки инструмента.

Рассеяние размеров при обработке. Погрешности, возникающие в процессе обработки, бывают систематические и случайные. Систематические погрешности имеют постоянный характер или закономерно изменяются при переходе от одной обрабатываемой детали к другой. Примером постоянной систематической погрешности является погрешность детали, получаемая в результате неправильно выдержанного расстояния между осями направляющих втулок сверлильного кондуктора. Примером переменной систематической погрешности является погрешность детали, получаемая в результате износа шлифовального круга или резца, который увеличивается с обработкой каждой детали.

Случайные погрешности — это погрешности, не имеющие постоянного характера, получаемые из-за колебания механических свойств обрабатываемого материала, изменения величины припуска, разной силы закрепления заготовки в приспособлении и др. Вследствие систематических и случайных погрешностей действительные размеры деталей будут переменными, т.е. наблюдается рассеяние размеров. Суммарную погрешность обработки определяют расчетным или статическим методом.

Расчетный метод часто не может быть использован из-за отсутствия исходных данных. Например, невозможно рассчитать увеличение диаметра (разбивку) отверстия при сверлении спиральным сверлом. В таких случаях пользуются статистическим методом, основанным на определении суммарной погрешности путем измерения обработанных деталей и анализа результатов измерений методом математической статистики.

При использовании статистического метода суммарная погрешность и характер рассеяния размеров выявляются путем

составления кривых распределения. Для получения кривой распределения рекомендуется произвести 50–100 измерений фактических величин данного размера.

Допустим, имеем n измерений $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$.

1. Определяем поле рассеяния $x_{\max} - x_{\min}$, т.е. разность между максимальным и минимальным размерами, и откладываем эту величину на оси абсцисс.

2. Поле рассеяния (рис. 1.3) делим на равные интервалы.

3. Определяем частоту каждого интервала, т.е. число деталей, размеры которых лежат в пределах данного интервала.

4. Определяем относительную частоту, т.е. отношение абсолютной частоты к общему количеству деталей в партии.

5. К серединам интервалов восстанавливаем перпендикуляры, на которых откладываем относительную частоту.

6. Полученные точки соединяем ломанной. В ходе технологического процесса построения таким путем кривая приближается к кривой нормального распределения Гаусса, уравнение которой

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

Здесь x и y – текущие координаты; $e = 2,718$ – основание натуральных логарифмов; σ – среднее квадратичное отклонение,

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - a)^2 + (x_2 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum (x - a)^2}{n}}.$$

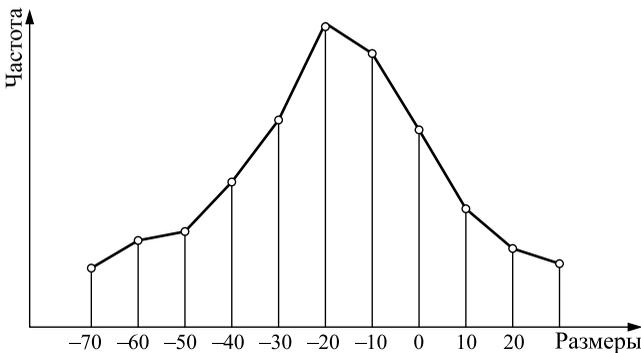


Рис. 1.3. Схема рассеяния размеров при обработке

Среднее арифметическое \bar{X} величин x определяется следующим образом:

$$a = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n},$$

где n – общее число измерений.

Кривая нормального распределения Гаусса симметрична относительно середины поля рассеяния и асимптотически приближается к оси абсцисс (рис. 1.4). Если форма построенной кривой распределения отличается от кривой Гаусса, то это означает наличие каких-то отклонений в ходе технологического процесса.

Экономическая и достижимая точность обработки. Под *экономической* понимают такую точность, для достижения которой затраты при данном способе обработки будут меньше затрат при применении другого способа обработки той же поверхности. Понятие «экономическая точность обработки» относительно, так как величина ее может изменяться в зависимости от конкретных условий обработки. Под *достижимой* понимают точность, которая может быть получена при обработке высококвалифицированным рабочим на станке, находящемся в отличном состоянии, при неограниченной затрате труда и времени на обработку. Измерение затрат на обработку в зависимости от ее точности приведено на рис. 1.5. Чистовое точение экономичнее шлифования. Граница экономи-

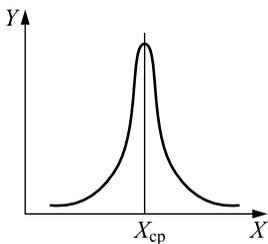


Рис. 1.4. Кривая нормального распределения Гаусса

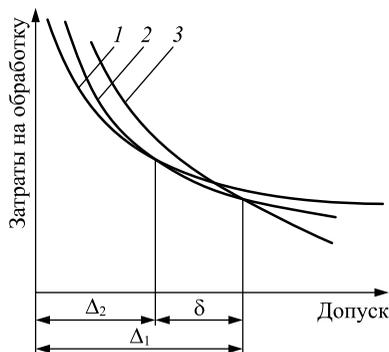


Рис. 1.5. Экономическая точность: 1 – при притирке; 2 – при шлифовании; 3 – при точении

ческой точности притирки определяется величиной Δ_2 . Величина δ характеризует границы экономической точности шлифования.

Достигается следующая экономическая точность обработки цилиндрических наружных поверхностей (валов):

12–13-й квалитет точности – при черновом точении на токарных станках;

10-й квалитет – при чистовом обтачивании;

9–10-й квалитет – при предварительном круговом шлифовании;

6–7-й квалитет – при чистовом круговом шлифовании;

5-й квалитет – при окончательной притирке.

Экономическая точность обработки отверстий приблизительно следующая:

11–12-й квалитет – при сверлении без кондуктора;

11-й квалитет – при рассверливании;

10-й квалитет – при зенкеровании;

9-й квалитет – при растачивании резцом; при черновом развертывании;

9–10-й квалитет – при черновом внутреннем шлифовании;

8-й квалитет – при чистовом развертывании; при чистовом протягивании;

7-й квалитет – при отделочном протягивании;

5–6-й квалитет – при тонком шлифовании.

Экономическая точность обработки разных видов поверхностей приведена в технологических справочниках.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите факторы, влияющие на точность обработки.
2. Какие отклонения имеют цилиндрические поверхности в поперечном и продольном сечениях?

1.6. Точность обработки на станках с ПУ

Станки должны обеспечивать требуемую траекторию взаимного перемещения обрабатываемой заготовки и инструмента. Однако вследствие элементарных погрешностей реальная траектория отличается от требуемой. В некоторых случаях (при

рассмотрении отклонений формы, расположения поверхностей детали) погрешности станка являются доминирующими. Необходимо уменьшить погрешности станка до величин, в 3–5 раз меньших по сравнению с наименьшими допустимыми погрешностями поверхностей деталей, обрабатываемых с использованием этого станка.

Необходимая точность станков обусловлена совершенством их конструкции, погрешностями, возникающими при изготовлении деталей и сборке станка, и погрешностями, допустимыми при наладке и регулировании технологической системы. В наибольшей степени на точность обработки влияют погрешности станка (включая кинематическую точность механизмов, погрешность позиционирования рабочих органов станка и т.п.). Кроме этого, важным является уменьшение чувствительности станка к внешним и внутренним воздействиям (силовым, тепловым и т.п.). По мере изнашивания начальная точность станка меняется. Поэтому следует осуществлять контроль, осмотры, проверку точности и периодическое регулирование узлов станка, которые обеспечивают длительное сохранение требуемой точности.

Точность позиционирования рабочих органов не только определяется точностью самого станка, но и зависит от типа системы ПУ (конструкции, места установки ИП, точностных параметров ИП и т.д.). Так, при использовании шагового привода погрешность перемещения рабочих органов станка определяется погрешностью отработки шаговым двигателем командных импульсов, погрешностями гидроусилителя, зубчатой передачи и передачи винт – гайка, а также погрешностями рабочего органа станка.

При применении следящего привода подачи с замкнутой схемой управления наблюдается два вида погрешностей, снижающих точность перемещений рабочих органов:

- погрешности элементов привода подачи и рабочего органа, не охватываемые системой обратной связи;
- погрешности результатов измерения перемещения или угла поворота рабочего органа станка измерительным преобразователем.

Первая группа погрешностей появляется, в основном, при использовании систем обратной связи с круговым ИП. Преобразователи устанавливаются на ходовом винте или измеряют перемещение рабочего органа через реечную передачу. В первом

случае система обратной связи не учитывает погрешности передачи винт — гайка (накопленная погрешность по шагу ходового винта; зазоры в соединении винт — гайка и в опорах винта; упругие деформации ходового винта, его опор и соединения винт — гайка; тепловые деформации ходового винта и др.), а также погрешности рабочего органа (отклонения от прямолинейности и параллельности перемещений; зазоры в направляющих; упругие деформации рабочего органа и др.). Во втором случае на точность измерений влияют погрешности реечной передачи (накопленная погрешность по шагу рейки, ее тепловые деформации, зазоры в зацеплении и др.).

Погрешность результатов измерения угла поворота или перемещения рабочего органа станка обуславливается погрешностью ИП, вызванной погрешностями его изготовления и установки на станке, погрешностями, которые появляются в процессе эксплуатации ИП и станка. Так, при эксплуатации линейных ИП может меняться величина зазора между его подвижными и неподвижными элементами.

В общем балансе погрешностей обработки на станках с ПУ значительную долю занимают погрешности, обусловленные тепловыми деформациями механизмов станка, приводящими к изменению относительного положения инструмента и заготовки в направлениях осей координат X , Y , Z и угловых поворотов вокруг этих осей. Их значение и направление действия в значительной степени определяется компоновкой и конструкцией базовых деталей и механизмов станка и размещением выделяющих элементов относительно базовых деталей и механизмов станка, они зависят от качества изготовления и сборки станка и условий его эксплуатации.

Наибольшее влияние на температурные деформации оказывают собственные источники тепла станка и устройства ПУ, выделяющие тепло вследствие:

- превращения электрической энергии;
- превращения механической энергии (потери на трение в подшипниках шпинделя, в зубчатых и червячных передачах, в передаче винт — гайка, в фрикционных муфтах и тормозах, в направляющих, в местах уплотнения валов и др.);
- потери энергии в гидроустройствах станка.

Электрические и механические потери в станке могут достигать 30% мощности, подводимой к станку. Значительными внутренними источниками тепла в станке являются опоры

шпинделя. Температурные деформации подшипников шпинделей изменяют предварительный натяг в них и могут привести к повышенному изнашиванию подшипников.

При работе станка с ПУ происходит неравномерный нагрев его механизмов и деталей, вызывающий изменение их размеров, формы и относительного положения в пространстве, что приводит к изменению положения оси шпинделя относительно стола координат нулевой точки отклонению от прямолинейности перемещения подвижных органов станка, нарушению стабильности работы систем обратной связи и др.

Точность станков с ПУ повышается путем рациональной компоновки и конструирования основных базовых деталей и механизмов, применения в приводах подач высокомоментных электродвигателей постоянного тока, синхронных и асинхронных двигателей с водяным охлаждением, беззазорных механизмов и устройств, имеющих высокий КПД, направляющих с малыми потерями на трение, стабилизации или компенсации отдельных погрешностей станка предыскажением программы управления, введением корректирующей программы в память системы ПУ при применении дополнительных обратных связей.

Влияние температурных деформаций на точность станков с ПУ снижается путем их компенсации (предварительным нагревом до стабилизации теплового поля и температурных деформаций); уменьшением количества тепла, выделяющегося при работе станка; снижением чувствительности станка к изменению температуры нагрева деталей и узлов станка.

Количество тепла, выделяемое в станке, можно уменьшить двумя путями:

- выносом тепловыделяющих механизмов (насосных установок, приводных двигателей, масляных баков, гидроаппаратуры и др.) из станины или других базовых деталей станка;
- использованием конструкций с небольшим тепловыделением, что достигается применением шпиндельных подшипников с меньшим тепловыделением; использованием соответствующего смазочного материала; сокращением длины кинематических цепей. Зубчатые и клиноременные передачи рекомендуются размещать так, чтобы потоки воздуха уносили часть выделяемого тепла.

Уменьшение «чувствительности» станка к изменению его тепловых полей достигается изготовлением деталей станка из материалов с малым коэффициентом линейного расширения,

теплоизоляцией источников тепла, созданием термосимметричной конструкции станка и его механизмов. Влияние температурных деформаций может быть уменьшено соответствующим взаимным расположением фиксирующих элементов, например упорных подшипников в шпинделе (в передней или задней опоре), места крепления шпиндельной бабки на станине и др.

Эффективным методом снижения температурных деформаций является охлаждение станка, включая его активные элементы (подшипники шпинделя, муфты, тормоза, электродвигатели и др.) и пассивные элементы, переносящие тепло (масла и охлаждающие жидкости) путем создания естественного или искусственного потока воздуха, отвода тепла с помощью охлаждающих устройств и др.

При обработке заготовок деталей на станках с ПУ точность диаметральных размеров зависит от погрешности наладки инструмента вне станка, погрешностей изготовления прибора для наладки инструмента, оправок, конусного отверстия в шпинделе станка. Обычно применение инструмента, налаженного вне станка, обеспечивает получение диаметральных размеров по 8–9-му качеству. При более высоких требованиях к точности необходима подналадка инструмента на станке.

Погрешность формы в продольном сечении отверстия определяется отклонением от прямолинейности перемещений шпинделя или стола станка в осевом направлении, упругими и температурными деформациями технологической системы, размерным износом инструмента, уводом инструмента.

Погрешность формы отверстия в поперечном направлении определяется периодическими смещениями инструмента и заготовки в процессе обработки (за один оборот), обусловленными изменением параметров режима (в первую очередь глубины резания из-за неточности заготовки), параметров станка (кинематических погрешностей, неравномерной жесткости) и технологической оснастки (например, неодинаковой жесткости кулачков патрона).

Погрешности воспроизведения на детали контура, заданного программой управления, складываются из многих факторов как конструктивных, определяемых принципом действия устройства ПУ, приводов, конструкций элементов станка, так и технологических, обусловленных режущим инструментом, приспособлением, режимом обработки материалом детали и т.д.

К типовым конструктивным погрешностям обработки, свойственным станкам с ПУ, относят:

- скоростную погрешность следящего привода;
- погрешность, возникающую в связи с неравенством и непостоянством коэффициентов усиления приводов подач по разным координатам перемещения станка, а также с изменением их при изменении подачи; такие явления имеют место, например, при нелинейности (несимметричности, синусоидальности) статической характеристики фазового дискриминатора в рабочей зоне;
- погрешность вследствие зазоров в кинематических цепях станка, не охваченных обратной связью;
- погрешность в результате колебательности приводов, которая приводит к ухудшению качества обработки в основном из-за появления неравномерной волны на обрабатываемой поверхности, шаг которой зависит от скорости подачи, частота колебаний привода сохраняется примерно постоянной;
- погрешность вследствие периодической внутришаговой погрешности датчиков обратной связи, главным образом фазовых; эта погрешность выражается в появлении волны на обрабатываемой поверхности, шаг l которой зависит от цены оборота фазы приводов и от угла наклона обрабатываемого контура детали к направлениям перемещений рабочих органов по координатам станка.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие требования предъявляются к точности обработки на станках с ПУ?
2. Как повышается точность станков с ПУ?
3. Как влияют температурные деформации на точность станков с ПУ?
4. Назовите типовые конструктивные погрешности обработки на станках с ПУ.

1.7. Качество поверхности

Качество поверхности, обработанной режущими инструментами, определяется шероховатостью и физическими свойствами поверхностного слоя.

Обработкой резанием не может быть получена идеально ровная поверхность. Режущие кромки инструментов оставля-

ют неровности в виде впадин и выступов различной формы и размеров. Поверхностный слой после обработки резанием существенно отличается от основной массы металла, так как под действием инструмента его твердость и кристаллическое строение изменяются. Толщина дефектного поверхностного слоя зависит от материала заготовки, вида и режима обработки и при некоторых видах черновой обработки достигает 0,5...1 мм.

От качества поверхности зависят следующие эксплуатационные характеристики деталей: износостойкость поверхностей трущихся пар, характер посадок подвижных и неподвижных соединений, усталостная или циклическая прочность при переменной нагрузке, противокоррозионная стойкость поверхности, аэро- и гидродинамические свойства обдуваемых газом или обтекаемых жидкостью поверхностей.

Износостойкость детали определяется стойкостью ее поверхностного слоя против разрушения при трении о соприкасающуюся деталь. Из-за неровностей на поверхности соприкосновения трущихся деталей происходят не по всей номинальной площади соприкосновения, а лишь по вершинам выступов обоих трущихся поверхностей. Таким образом, давление одной детали на другую передается лишь на фактически не находящиеся в контакте выступы, которые могут сниматься или даже срезаться при движении одной поверхности по другой. Смятие вершин выступов происходит интенсивно в начале работы двух трущихся поверхностей, пока они не приработаются, т.е. на неровности заглаживаются, а суммарная площадь контакта увеличится.

Схема износа поверхностей приведена на рис. 1.6. По оси абсцисс отложено время работы, по оси ординат — величина износа. В начале работы трущихся поверхностей износ в течении отрезка времени T_0 нарастает интенсивно до достижения ве-

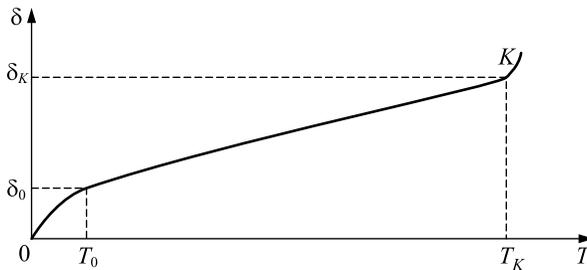


Рис. 1.6. Кривая изнашивания

личины δ_0 (первичный износ в период «приработки»). При этом зазор между трущимися поверхностями быстро увеличивается. Затем интенсивность износа уменьшается и становится приблизительно постоянной до достижения некоторой величины δ_K (точка K), после чего вновь начинает возрастать до наступления момента разрушения трущихся поверхностей (катастрофический износ). Направление штрихов на трущихся поверхностях влияет на износ, так как в зависимости от направления штрихов смазка лучше или хуже удерживается и распределяется по трущимся поверхностям. Износ зависит также от твердости поверхностного слоя.

Характер посадок подвижных соединений зависит от качества поверхности, потому что при значительной шероховатости сопряженных поверхностей первоначальная посадка после кратковременной работы подвижного соединения переходит в более свободную вследствие изнашивания этих поверхностей. При неподвижных посадках фактически натяг, получающийся при запрессовке детали с более шероховатой поверхностью, оказывается иным, чем при запрессовке деталей с менее шероховатой поверхностью. Это объясняется тем, что деталь контролируют при контакте измерительного инструмента с вершинами выступов, которые при запрессовке сминаются.

Усталостная прочность детали зависит от шероховатости обработанных поверхностей, потому что риски, получаемые при обработке резанием, вызывают концентрацию напряжений и вначале приводят к появлению мелких трещин, которые в дальнейшем увеличиваются и разрушают деталь.

Противокоррозионная стойкость поверхностей с незначительной шероховатостью выше, так как общая площадь поверхностей, соприкасающихся с корродирующей средой, меньше. Вещества, вызывающие коррозию, задерживаются на дне впадины, и поэтому чем больше глубина впадины и меньше радиус закругления их дна, тем больше действие коррозии.

Аэро- и гидродинамические свойства поверхности зависят от шероховатости, так как при обтекании поверхности жидкостями и газами сопротивление движению возрастает или уменьшается в зависимости от высоты неровностей поверхности.

На качество обработанной поверхности влияют многие факторы, например материал обрабатываемой заготовки, вид обработки, жесткости системы станок – приспособление – инстру-

мент – заготовка, характер, форма, материал и степень остроты режущих инструментов, режим обработки и вид СОТС.

При обработке резанием металл впереди резца переходит в пластичное состояние под действием сил резания и повышенной температуры. При точении, фрезеровании, протягивании, т.е. при процессах, происходящих с относительно небольшими скоростями, но с большими силами резания, поверхностный слой наклепывается на значительную глубину. При шлифовании вследствие высоких температур в поверхностном слое возникают структурные превращения на глубине нескольких сотых миллиметра.

На качество поверхности влияют смазочно-охлаждающие технические средства (СОТС). Они уменьшают трение между инструментом и заготовкой и понижают температуру трущихся поверхностей. Наклеп и шероховатость поверхности зависят от вибрации станка, инструмента и заготовки. Колебательные движения в направлении, перпендикулярном к обрабатываемой поверхности, приводят к попеременному сближению и удалению режущей кромки инструмента с обрабатываемой поверхностью, создавая на ней то впадины, то выступы. При высоких частотах и малых амплитудах колебательные движения приводятся к беспорядочному расположению возвышений и впадин.

Колебательные движения, возникающие при резании металлов, разделяют на вынужденные и самовозбуждающиеся, или автоколебания. Вынужденные колебания вызываются действием внешних возмущающих сил. Причины вынужденных колебаний могут быть дефекты зубчатых передач в механизме привода станка, создающие непостоянство скорости рабочего движения, дефекты подшипников шпинделя, недостаточная уравновешенность, быстровращающихся частей (обрабатываемой заготовки, патрона, шкивов и т.п.), вызывающие появление динамичных нагрузок, неравномерность снимаемого слоя металла.

Самовозбуждающиеся колебания, или автоколебания, возникают, потому что любая автоколебательная система обладает способностью преобразовывать энергию постоянного источника в периодические импульсы, возбуждающие и поддерживающие колебательные движения. Основными причинами возникновения автоколебаний при резании металлов являются или периодические изменения сил трения режущих поверхностей инструмента о стружку и поверхность заготовки, или периодический характер пластических деформаций металла при отделении стружки.

Контрольные вопросы и задания

1. Чем определяется качество продукции?
2. Назовите показатели, характеризующие качество машины.
3. Как от качества поверхности зависят эксплуатационные характеристики деталей?

1.8. Нормы шероховатости поверхности

Шероховатость поверхности – совокупность микронеровностей с относительно малыми шагами на базовой длине l (рис. 1.7).

Микронеровности на обработанной поверхности образуются в результате пластической деформации поверхностного слоя материала детали, копирования микронеровностей режущих кромок инструмента. Шероховатость поверхностей оказывает большое влияние на прочность соединений, усталостную прочность деталей, стойкость против коррозии и т.д.

В основу нормирования и количественной оценки шероховатости поверхности положена система средней линии профиля m .

Средняя линия профиля m – базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратичное отклонение профиля до этой линии минимально.

Базовая длина l – длина базовой линии, используемая для выделения микронеровностей, характеризующих неровность поверхности, и для количественной оценки ее параметров.

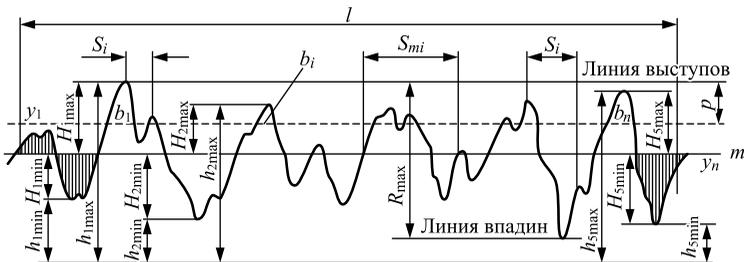


Рис. 1.7. Профилограмма шероховатости поверхности:

S_i – шаг неровностей по вершинам; S_{mi} – шаг неровностей; y_1, \dots, y_n – отклонение профиля от средней линии; $H_{1\max}, \dots, H_{5\max}$ – высота наибольших выступов; $H_{1\min}, \dots, H_{5\min}$ – глубина наибольших впадин; p – уровень сечения; b_1, \dots, b_n – отрезки выступов, отсекаемые на заданном уровне сечения; R_{\max} – высотный параметр

Числовые значения базовой длины выбирают из ряда: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 2,5; 8,0; 25 мм.

Нормирование и количественная оценка шероховатости поверхности осуществляется с помощью высотных параметров R_z , R_a , R_{\max} , шаговых параметров S_m , S и параметра формы t_p – относительной опорной длины профиля.

Высота микронеровностей по десяти точкам R_z – сумма средних арифметических абсолютных отклонений точек пяти наибольших максимумов и пяти наибольших минимумов в пределах базовой длины:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |H_{\max i}| + \sum_{i=1}^5 |H_{\min i}|}{5},$$

где $H_{\max i}$ – высота i -го наибольшего выступа профиля; $H_{\min i}$ – глубина i -й наибольшей впадины профиля.

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a – среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля y от средней линии в пределах базовой длины:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где l – базовая длина; n – число суммируемых отклонений профиля y_i .

Наибольшая высота микронеровностей профиля R_{\max} – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины:

$$R_{\max} = H_{\max} + H_{\min},$$

где H_{\max} – высота наибольшего выступа; H_{\min} – глубина наибольшей впадины.

Средний шаг неровностей профиля S_n – среднее арифметическое значение шага микронеровностей профиля в пределах базовой длины:

$$S_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi},$$

где n – число шагов в пределах базовой длины; S_{mi} – шаг неровностей профиля, равный длине отрезка средней линии, пересекающего профиль в трех соседних точках и ограниченного двумя крайними точками.

Средний шаг неровностей по вершинам S – среднее значение шага неровностей профиля по вершинам в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

где n – число шагов неровностей по вершинам; S_i – шаг неровностей профиля по вершинам, равный длине отрезка средней линии между проекциями на нее двух наивысших точек соседних выступов профиля.

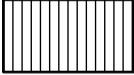
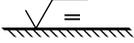
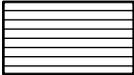
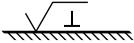
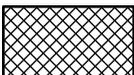
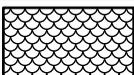
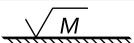
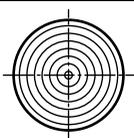
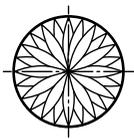
Относительная опорная длина профиля t_{Π} – отношение суммы длин отрезков b_i в пределах базовой длины, отсекаемых на заданном уровне сечения p в материале выступов профиля линией, эквидистантой средней линии, к базовой длине l (в процентах):

$$t_{\Pi} = \frac{1}{l} \sum_{i=q}^n b_i \cdot 100\%,$$

где n – число отрезков b_i .

В соответствии с ГОСТ 2789–73 различают 6 направлений неровностей, изображенных в табл. 1.1. Требования к шероховатости конкретной продукции устанавливают на основании значения связи параметров шероховатости с функциональными показателями данного изделия. К настоящему времени накоплен значительный теоретический и экспериментальный материал по связи параметров шероховатости с важнейшими функциональными показателями деталей, узлов машин и приборов, такими как износостойкость при всех видах трения, контактная жесткость поверхности, износостойкость при переменных нагрузках, прочность прессовых соединений, отражательная способность и затухание в волноводах, прочность сцепления при склеивании, коррозионная стойкость и качество лакокрасочных покрытий, точность измерения, соотношение между допусками размера и шероховатостью поверхности и т.д.

Таблица 1.1. Направление неровностей

Направление неровностей	Схематическое изображение	Обозначение направления рисок
Параллельное		
Перпендикулярное		
Пересекающееся		
Произвольное		
Кругообразное		
Радиальное		

Этот материал может служить основанием для правильного формулирования требований к шероховатости поверхности.

В табл. 1.2 приведены некоторые важнейшие эксплуатационные свойства поверхности, зависящие от шероховатости, и номенклатура параметров, при помощи которых обеспечиваются показатели этого свойства поверхности.

Из данных, приведенных в таблице, следует, что для полного описания какого-либо эксплуатационного свойства поверхности недостаточно только высотных параметров. Так, износостойкость поверхности при трении скольжения и качения, контактная жесткость и герметичность соединений зависят от опорной поверхности. Такие эксплуатационные характеристики поверхности, как прочность при циклических нагрузках, виброустойчивость, сопротивление (затухание) в волноводах, связаны с амплитудой неровностей (высотными параметрами) и существенно зависят от шаговых параметров S_m и S .

**Таблица 1.2. Взаимосвязь эксплуатационных свойств
с параметрами шероховатости поверхности**

Эксплуатационное свойство поверхности	Параметры и характеристики шероховатости поверхности, определяющие эксплуатационное свойство
Износостойкость при всех видах трения	$Ra(Rz), t_{п}$, направление неровностей
Виброустойчивость	$Ra(Rz), Sm, S$, направление неровностей
Контактная жесткость	$Ra(Rz), t_{п}$
Прочность соединений	$Ra(Rz)$
Прочность конструкций при циклических нагрузках	R_{max}, Sm, S , направление неровностей
Сопrotивление в волноводах	Ra, Sm, S

На чертежах шероховатость поверхностей указывается символом (знаком) и числовым значением.

Условные знаки: $\sqrt{\quad}$ – вид обработки не указан; $\sqrt{\quad}$ – обработка поверхности со снятием слоя металла; $\sqrt{\quad}$ – обработка поверхности без снятия слоя металла (штамповка, ковка, литье); $\sqrt{\quad}$ – шероховатость по контуру.

Числовые значения шероховатости указываются в микрометрах (мкм). Параметр Ra является предпочтительным (например, $\sqrt{Ra3,2}$ – шероховатость указанной поверхности $Ra3,2$ мкм).

Если шероховатость всех поверхностей одинакова, то их шероховатость указывается в правом верхнем углу чертежа. Шероховатость сопрягаемых поверхностей указывается на изображениях чертежа, а необозначенных поверхностей – в правом верхнем углу чертежа символом в скобках (например, $\sqrt{Ra3,2(\sqrt{\quad})}$) (рис. 1.8, 1.9).

На чертежах параметр шероховатости указывается в зависимости от вида обработки (табл. 1.3).

Таблица 1.3. Параметры шероховатости в зависимости от вида обработки

Вид обработки	Ra , мкм
Фрезерование:	
черновое	6,3...50
чистовое	3,2...6,3
тонкое	1,6
скоростное	0,8...3,2

Вид обработки	Ra, мкм
Точение:	
обдирочное	25...100
получистовое	6,3...12,5
чистовое	1,6...3,2
тонкое, алмазное	0,4...0,8
скоростное	1,6

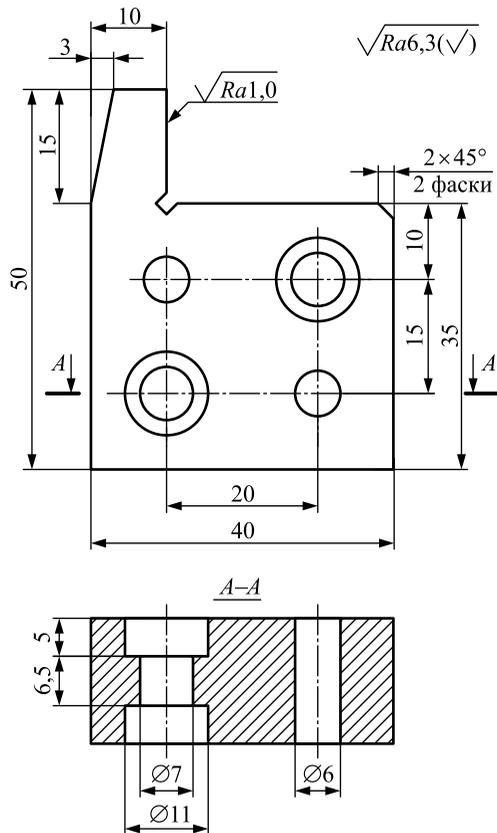


Рис. 1.8. Обозначение шероховатости поверхностей (пример 1)

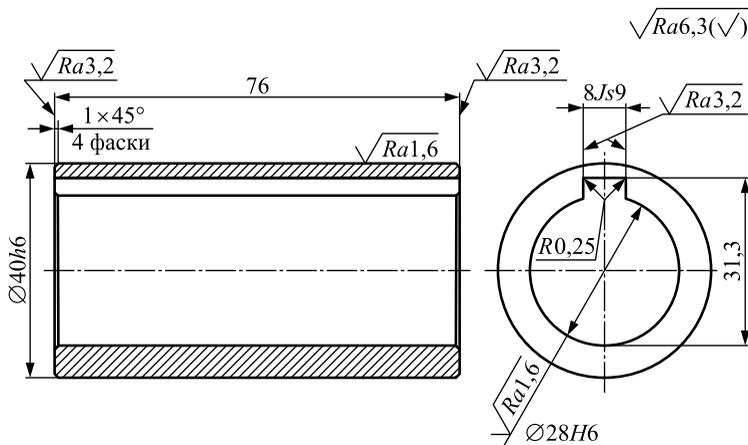


Рис. 1.9. Обозначение шероховатости поверхностей (пример 2)

Контрольные вопросы и задания

1. Что понимают под шероховатостью поверхностей?
2. Как осуществляется нормирование и количественная оценка шероховатости поверхностей?
3. Назовите единицы измерения шероховатости поверхностей.

1.9. Заготовки деталей машин

Предмет производства, из которого изменением формы, размеров, шероховатости и свойств материала изготавливают деталь, называется *заготовкой*. По размерам она больше детали на величину общего припуска на обработку (всего срезаемого слоя), который в свою очередь делится на операционные припуски — слои металла, срезаемые в каждой технологической операции.

При проектировании машин конструктор назначает марку материала, из которого будет изготовлена деталь, руководствуясь характером работы детали в машине, требуемой прочностью и геометрической формой. Одной из первых задач, решаемых при разработке технологического процесса, является выбор заготовки. Технолог, руководствуясь чертежом, определяет способ получения заготовки в зависимости от марки материала, формы и размеров детали, производственной программы,

предусматривая возможно большую экономию средств и времени на изготовление заготовки. Например, если на чертеже детали указан материал детали сталь Ст5, 12ХРЗА, 40Х и подобный, то заготовки из этих материалов получают кузнечным способом или из проката; если указан материал литая сталь, чугун, цветные сплавы (бронза, силумин и т.п.), то заготовки получают литьем.

Заготовка по форме и размерам должна приближаться к форме и размерам готовой детали. Выбрать заготовку — это значит установить тип производства, способ ее получения, наметить припуски на обработку каждой поверхности, рассчитать ее размеры и указать допуски на неточность изготовления.

Для единичного и мелкосерийного производства используют заготовки из сортового проката круглого, прямоугольного, шестигранного и специального сечения разнообразных размеров. Форма и размеры проката должны быть близки к размерам детали. Применяют сортовой прокат следующих видов: прутки, профили, полосы, трубы, проволоку. Выбор заготовки из сортового проката заключается в установлении формы и размера сечения заготовки и ее длины.

Прокат обычно выполняется с большей точностью, чем отливки и поковки, поэтому припуски для заготовок из проката принимают несколько меньшими. С увеличением размеров деталей возрастают возможные погрешности их изготовления, следовательно, и припуск должен быть большим.

Различают три основных способа получения заготовок-поковок: свободной ковкой, горячей и холодной штамповкой. В единичном, мелкосерийном производстве поковки изготавливают *свободной ковкой* с помощью молотов и прессов. Для экономии металла и уменьшения припусков на обработку изготавливают поковки по минимальным допускаемым размерам. Такой способковки дает существенную годовую экономию металла. Для получения поковок более точных размеров рекомендуется применять прокладные штампы.

Горячую штамповку широко используют в серийном и массовом производстве.

Штампованные заготовки можно получить следующими способами:

- комбинированной ковкой и горячей объемной штамповкой;
- штамповкой в прокладных штампах;
- штамповкой в закрепленных штампах;

- штамповкой в закрытых безоблойных штампах;
- штамповкой истечением (выдавливанием);
- штамповкой жидкого металла;
- периодической прокаткой;
- раскаткой заготовок в сочетании с горячей штамповкой;
- прессованием полосовых заготовок разного профиля;
- холодной штамповкой-высадкой.

Способ комбинированнойковки и горячей штамповки заключается в разделении процесса на предварительную свободную ковку и последующую штамповку, выполняемую на кривошипном процессе. Этот способ позволяет уменьшить расход металла на 40...50% по сравнению со свободной ковкой и применяется для изготовления поковок массой не более 70 кг в условиях мелкосерийного производства. При изготовлении средних и мелких поковок простой формы используют подкладные штампы. Более сложные поковки обрабатывают в закрепленных штампах. Это наиболее распространенный способ получения штампованных заготовок в серийном и массовом производстве. Для получения заготовок повышенной точности используют многократную штамповку в закрепленных штампах. В этом случае заготовку последовательно штампуют в двух-трех ручьях с обрезкой облоя. Каждый последующий ручей обеспечивает все большее приближение форм и размеров заготовки к формам и размерам детали. Штамповка в открытых штампах сопровождается потерей металла на образование облоя (до 20% массы заготовки).

Для сокращения расхода металла, увеличения прочности заготовки, точности и отсутствия заусенцев и облоя новаторы производства освоили безоблойную штамповку в закрытых штампах. Сущность безоблойной штамповки заключается в применении закрытых штампов, исключая образование облоя, и в более точной дозировке исходной заготовки: допускаемые отклонения по массе составляют $\pm 5\%$.

Типовыми деталями, обрабатываемыми безоблойной штамповкой, являются зубчатые колеса, фланцы и также круглые детали, имеющие стержни, хвостовики и подобное, подготавливаемые в заготовительных ручьях штампов. Безоблойную штамповку используют также для изготовления арматуры из латунных сплавов. Большое преимущество по сравнению с ковкой на молотах и прессах имеет ковка на горизонтально-ковочных машинах. Эти машины позволяют использовать штампы за-

крытого типа для безоблойной штамповки, штамповать заготовки сложных форм благодаря наличию разъемных много-ручьевых матриц, получать заготовки без штамповочных уклонов, за исключением внутренних полостей. Горизонтально-ковочные машины (ГКМ) обеспечивают более высокую производительность процесса штамповки и меньшую себестоимость штампованных заготовок.

На ГКМ штампуют стержни с утолщениями на концах и в середине, кольца разнообразных форм, втулки, зубчатые колеса, фланцы с двумя буртами и более, со сквозной и несквозной прошивкой и т.п. Штамповкой истечением (выдавливанием) на прессах получают заготовки более точных размеров, чем под молотами и даже на горизонтально-ковочных машинах. Для получения более точных размеров штампованных заготовок применяют доводочную кузнечную операцию — чеканку, которую выполняют на чеканочных прессах.

Сущность горячей штамповки жидкого металла заключается в следующем. Свободно залитый в форму металл выдавливается под действием пуансона, заполняет полость формы и затвердевает. Припуск на обработку резанием составляет 0,5...1,0 мм на сторону, точность размеров соответствует 7-му качеству.

Периодическую прокатку заготовок с изменяющимся поперечным сечением по длине выполняют на специальных станках; она отличается высокой производительностью, превышающей производительность других способов штамповки. Периодической прокаткой можно получать лишь заготовки сравнительно простой формы.

Для получения тонкостенных заготовок, а также кольцеобразных заготовок различного сечения применяют горячую штамповку в сочетании с последующим раскатыванием заготовок на раскатных машинах.

Заготовки сложного профиля в виде полос из цветных сплавов и стали получают прессованием. Пуансон оказывает давление на заготовку, уложенную в приемник, и выпрессовывает ее через матрицу, рабочее сечение которой соответствует заданному профилю заготовки. Этот процесс используют как в массовом, так и в серийном производстве, так как матрица значительно дешевле калиброванных валков для прокатки.

Холодную штамповку-высадку производят на высадочных автоматах. Этим способом изготавливают заготовки болтов, винтов, гаек и других простых деталей. Холодная высадка приме-

нима для стальных продуктов диаметром не более 25 мм, диаметр высаживаемой части 50 мм. Производительность холодно-высадочных автоматов во много раз выше производительности металлорежущих автоматов.

Прогрессивным методом холодного деформирования металлов является редуцирование. Редуцирование применяют для оттяжки концов и получения местных уточнений на заготовках в виде стержней как сплошных, так и полых. Детали диаметром 0,12...15мм редуцируют в холодном состоянии, а диаметром до 100 мм и трубы – в нагретом состоянии. Редуцирование обеспечивает точность размеров 2-го класса, шероховатость поверхности $Ra0,32...0,63$ мкм, экономию металла на 15...20% и производительность, в 5–6 раз большую, чем при обработке резанием.

Существует несколько способов получения заготовок литьем в зависимости от назначения детали, ее формы, размеров и программы выпуска:

- заготовки простых форм с плоской поверхностью отливают в песчано-глинистые, полученные ручной формовкой по деревянным моделям (в единичном и мелкосерийном производстве);
- средние и мелкие заготовки, имеющие форму тел вращения в серийном и массовом производстве отливают, применяя машинную формовку по металлическим моделям. Масса таких заготовок на 8...12% меньше массы заготовок, полученных при ручной формовке по деревянным моделям;
- отливки сложной формы изготавливают по выплавляемым моделям, что позволяет получить точность размеров 4–5-го класса; этим способом получают заготовки из любых сталей и сплавов. Процесс производства заготовок по выплавляемым моделям заключается в литье восковых моделей в специальные пресс-формы и изготовлении литейных форм по восковым моделям. При этом методе литья форму нагревают выше температуры плавления материала модели. Модель при этом расплавляется и вытекает из формы. Такой способ извлечения модели не требует вторичного соединения полуформ, что повышает точность отливок. Форму заливают жидким металлом. Выплавляемые модели изготавливают из смеси парафина, церезина, стеарина и др. Такая смесь перемешивается в расплавленном состоянии и под давлением подается в металлическую пресс-форму. Этот метод литья применяют в серийном массовом производстве;

- различные втулки, венцы червячных колес, заготовки из чугуна и бронзы заливают в кокиль (разъемную металлическую форму, заливаемую жидким металлом, которую раскрывают после затвердения металла). При больших программах выпуска широко применяют центробежное литье, при котором под действием центробежной силы металл прижимается к стенкам формы и отливка получается уплотненной с минимальным припусками под обработку резанием. Литье сложных по форме заготовок в кокиль экономично только в массовом производстве;

- мелкие ответственные заготовки из цветных сплавов изготавливают на специальных литейных машинах в металлических пресс-формах под высоким давлением. Это позволяет не подвергать заготовки обработке резанием или обрабатывать только их рабочие поверхности;

- заготовки, получаемые литьем в оболочковые разъемные формы; при этом обеспечивается точность размеров 0,3...0,7 мм и шероховатость поверхности $Rz10...40$ мкм. Данный способ литья по качеству получаемых заготовок превосходит способ литья в песчаные формы, а в отдельных случаях является более эффективным по экономическим показателям, чем литье по выплавляемым моделям под давлением.

Прессование тонких металлических порошков в смеси с неметаллическими порошками под давлением до 6000 кгс/см^2 и последующее спекание при температуре ниже температуры плавления основного компонента позволяет получить детали из тугоплавких металлов (молибдена, вольфрама и др.), не требующие последующей обработки.

Сваркой можно получить детали различной конфигурации. При этом достигается значительная экономия металла и уменьшаются затраты на изготовление детали. Сварку применяют для соединения штамповочных и литых частей.

Если заготовку можно получить различными способами, то ее выбирают на основе технико-экономических расчетов, которые дополняют коэффициентом использования материала K_M , характеризующим отношение фактической массы готовой детали к массе заготовки:

$$K_M = q/Q \geq 0,8.$$

Чем выше коэффициент использования материала, тем меньше необходимо снимать припуски на обработку, меньше расходуется материал, электроэнергия, инструмент и т.п.

Для снижения затрат на изготовление заготовок и повышения производительности труда создаются заводы по централизованному изготовлению и снабжению заготовками машиностроительных заводов всей отрасли или ряда отраслей. Создание крупных заводов по изготовлению заготовок позволяет ввести технологическую специализацию. Появляются возможность широкого внедрения механизации и автоматизации процессов изготовления заготовок даже для машин, выпускаемых мелкими сериями.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется заготовкой?
2. Как различают заготовки по способу изготовления?
3. Укажите, от чего зависит величина припуска на обработку.

1.10. Базирование заготовок при обработке

При разработке технологического процесса механической обработки важным является правильное базирование заготовки. При обработке заготовок базирование необходимо для установки и закрепления заготовки в определенном положении относительно станка и режущего инструмента. Погрешности, связанные с траекторией относительно движения инструмента, зависят от расположения системы координат относительно приспособления, связанного с элементами станка, а также заготовки в системе координат заготовка – приспособление. И в том и другом случае ориентировка осуществляется базированием и созданием неподвижности. Эта задача расширяется наложением определенных ограничений (связей) на возможные перемещения заготовки в переносном и относительном движениях.

Возможное перемещение – всякое воображаемое бесконечное малое перемещение точек механической системы, допускаемое наложением на систему связями, т.е. перемещение, которое возможно без нарушения связей.

Под *связями* подразумевают ограничения позиционного (геометрического) или кинематического характера, накладываемые на движение точек рассматриваемого тела (заготовки). Практически это тело, с которым соприкасается система при своем движении. Математическое выражение связей в виде уравнений содержит координаты точек механической систе-

мы, время и скорости точек данной системы. Связи подразделяются на стационарные и нестационарные, удерживающие и недерживающие, голономные и неголономные. В технологии машиностроения рассматриваются все виды связей.

Нестационарный механизм, выходное звено которого меняется во времени, положен в основу горячей и холодной прокатки цилиндрических заготовок. Типичным представлением неголономности является метод обкатки при обработке шариков.

Базой называется исходная поверхность, линия, точка или их совокупность, которая определяет положение детали при ее работе в машине или при установке на станке.

Существует нижеследующая классификация баз.

По назначению:

- конструкторская база — используется для определения положения детали или сборочной единицы в изделии;
- основная база — конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии;
- вспомогательная база — конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения положения присоединяемого к ним изделия;
- технологическая база — используется для определения относительного положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта. По виду обработки технологические базы делятся на черновые и чистовые;
- измерительная база — используется для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

По лишаемым степеням свободы:

- установочная база — лишает заготовку или изделие трех степеней свободы — перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей (поверхность наибольшей площади);
- направляющая база — лишает заготовку или изделие двух степеней свободы — перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси (поверхность наибольшей длины);
- опорная база — лишает заготовку или изделие одной степени свободы — перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси (поверхность наименьшей площади);

- опорная направляющая база — лишает заготовку или изделие четырех степеней свободы — перемещения вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей;
- опорная поворотная база — лишает заготовку или изделие двух степеней свободы — перемещения вдоль двух координатных осей.

По характеру проявления:

- скрытая база — база заготовки или изделия в виде воображаемой плоскости, оси или точки;
- явная база — база заготовки или изделия в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

Положение любой поверхности заготовки может быть определено только относительно других поверхностей, условно принимаемых за координатные. Абсолютно твердое свободное тело имеет относительно координатных осей шесть степеней свободы. Эти шесть степеней свободы сводятся к трем возможным перемещениям вдоль трех осей координат и трем возможным вращениям относительно тех же осей, т.е. положение тела определяется шестью координатами относительно трех координатных плоскостей. Любая координата лишает твердое тело одной степени свободы.

При базировании призматической заготовки (рис. 1.10) три координаты, связывающие нижнюю поверхность заготовки с координатной плоскостью XOY , определяют расстояние между тремя точками этой поверхности, лишая одновременно заготовки трех степеней свободы, т.е. возможности перемещаться вдоль оси OZ и вращаться вокруг осей OY и OX . Две координаты, определяющие расстояния между двумя точками другой поверхности заготовки относительно координатной плоскости XOZ , одновременно лишают ее возможности перемещаться

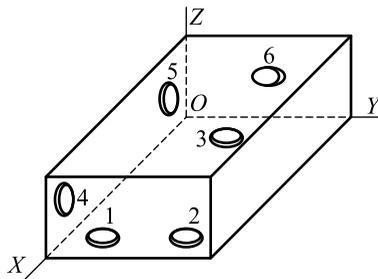


Рис. 1.10. Схема базирования заготовки по шести точкам

вдоль оси OY , и вращаться вокруг оси OZ , т.е. лишают заготовку еще двух степеней свободы. Шестая координата определяет положение одной точки третьей поверхности заготовки относительно координатной плоскости ZOY , лишая ее последней степени свободы – перемещения вдоль оси OX . Если рассматривать координатные плоскости как поверхности станка или приспособления и приводить в соприкосновение с ними соответствующие поверхности устанавливаемой заготовки, то шесть координат превратятся в шесть опорных точек (1–6). Таким образом, для определения положения заготовки необходимо и достаточно шести опорных точек.

Для сохранения заготовкой неизменного положения в процессе обработки необходимо сохранить определенность ее базирования. Под определенностью базирования заготовки понимается неизменяемость ее положения на станке или в приспособлении в процессе обработки. Для определенности базирования характерна непрерывность контакта между сопряженными поверхностями обрабатываемой заготовки. Кроме того, силы, создающие и сохраняющие контакт между сопряженными поверхностями, должны быть приложены раньше сил, стремящихся нарушить этот контакт.

Для базирования необходимо:

- выбирать надлежащие базирующие поверхности;
- выбирать точки приложения сил, создающих контакт между сопряженными поверхностями, против опорных точек для уменьшения собственных деформаций обрабатываемой заготовки, при недостаточной жесткости заготовки создают дополнительные опоры, которые подводятся до соприкосновения с поверхностями заготовки и затем фиксируются и на время обработки превращаются в неподвижные;
- создавать уменьшение контактной деформации путем расчета, установления и выдерживания при обработке необходимых допусков на отклонение сопряженных поверхностей от теоретически правильной геометрической формы и класса шероховатости.

При обработке *фасонных заготовок* необходимо правильно выбрать базу для первой операции. Это особенно важно, если заготовки обрабатывают в приспособлениях. Для заготовок, не обрабатываемых кругом, в качестве черновых баз следует принимать поверхности, не подлежащие обработке резанием. В этом случае обработанные поверхности будут иметь наимень-

шие смещения относительно необработанных поверхностей. При наличии у заготовки нескольких необрабатываемых поверхностей надо принимать за черновые базы такие из них, с которыми обрабатываемая поверхность связана размером или относительным положением (параллельна, соосна и т.п.).

Для заготовок, *обрабатываемых шлифовальным кругом*, за черновые базы следует принимать поверхности с наименьшим припуском. Это служит гарантией, что не получится брака из-за недостатка припуска на этой поверхности, когда она будет обрабатываться. Черновые базирующие поверхности должны быть по возможности ровными и чистыми; на них не должно быть заусенцев, литников, выпоров, штамповочных и литейных уклонов.

В качестве черновых баз следует использовать поверхности ровные и гладкие, без поверхностных дефектов, с которых следующей операцией должен быть снят равномерный припуск (направляющие у станин, отверстия цилиндров, двигатель внутреннего сгорания и т.п.).

При выборе баз на последующих операциях следует руководствоваться некоторыми указаниями.

Во-первых, необходимо использовать принцип совмещения баз, т.е. в качестве установочной базы принимать поверхность, являющуюся конструкторской или измерительной базой. Наибольшая точность будет получена, если установочная база совпадет с измерительной и с конструкторской. Если измерительная база не совпадает с установочной, возникает погрешность базирования. Погрешность базирования зависит от выбора базовых поверхностей, т.е. тех поверхностей, которыми заготовка при обработке упирается на установочные поверхности приспособления. В качестве таких баз рекомендуется выбирать поверхности, связанные точным размером с поверхностью, подлежащей обработке на данной операции. Например, при обработке поверхности (рис. 1.11, *а*) надо выдержать размер h с допуском δ_h до поверхности 3, обработанной, как и поверхность 2, на предыдущей операции; размер H является свободным размером (дано с допуском 7-го качества точности). В качестве базы для установки заготовки при обработке поверхности 1 надо выбрать поверхность 3 и относительно нее настроить режущий инструмент. Если базировать деталь не по поверхности 3, а по поверхности 2 (рис. 1.11, *б*) и настроить относительно нее установку режущего инструмента (на высоту H), то $h = H - h_1$, что и вызовет

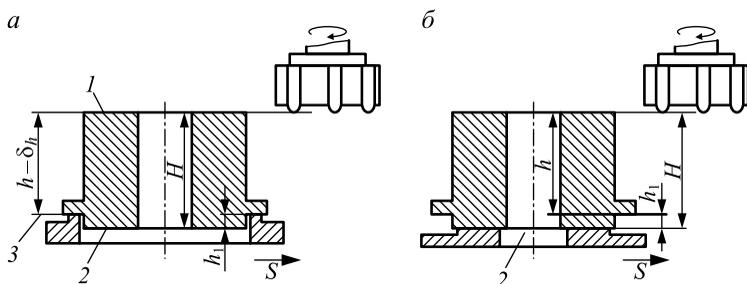


Рис. 1.11. Зависимость погрешности базирования от выбора базовых поверхностей

погрешность базирования, так как точность размера h будет зависеть от точности размеров H и h_1 ($\delta_h = \delta_H - \delta_{h_1}$).

Во-вторых, необходимо соблюдать принцип постоянства базы на основных технологических операциях, т.е. использовать в качестве установочных баз одни и те же поверхности.

В-третьих, если постоянство базы не может быть выдержано, то за новую установочную базу необходимо выбирать какую-либо обработанную поверхность и производить пересчет допусков на ее размеры, применяя, если нужно, ужесточение этих допусков.

И наконец, в-четвертых, опорная установочная база должна иметь точную геометрическую форму.

Иногда конфигурация заготовки не позволяет выбрать удовлетворительную установочную базу, тогда приходится создавать новые поверхности, служащие только для установки заготовки. Такие установочные базы называют искусственными. Примером искусственных баз являются центровые гнезда для обработки валом, центрирующие канавки в юбке поршней, отверстия в базовых поверхностях корпусных деталей.

Выбрав базы как на первой, так и на последующих операциях, необходимо рассчитать погрешности установки, вызванные отклонениями размеров, и сопоставить их с допусками на поверхностях, обрабатываемых от этих баз. Допуск на заданный размер должен быть равен или больше погрешности установки.

При закреплении заготовки в приспособлении могут возникнуть упругие деформации влияющие на точность обработки. Даже при правильном расположении опор и зажимных устройств в поверхностных слоях установочной базы и опор

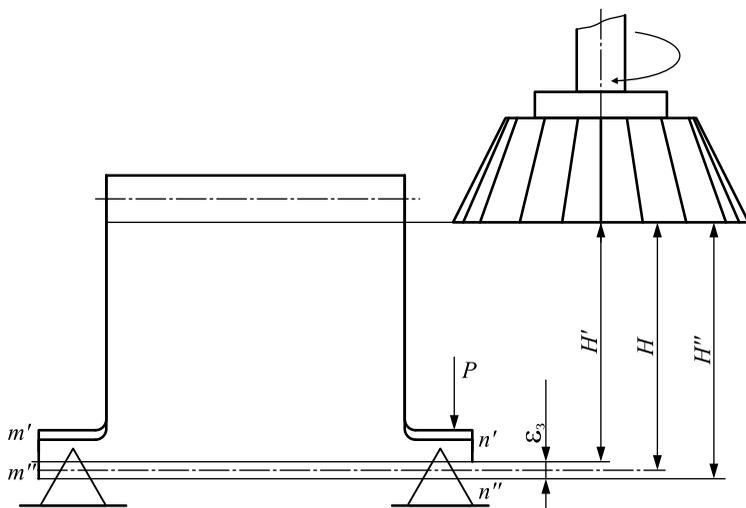


Рис. 1.12. Схема осадки заготовки при закреплении с силой P , направленной перпендикулярно к опорной базе

под действием зажимных сил и массы заготовки возникают деформации и происходит осадка заготовки. Деформация поверхностных слоев для всех заготовок партии не может быть одинакова из-за неоднородности поверхности установочной базы и изменения массы, т.е. у каждой заготовки будет различная осадка. Допустим, при настройке станка на обработку партии заготовок инструмент был установлен на размер H' при наименьшей осадке заготовки (рис. 1.12). Номинальный размер H будет изменяться в пределах от H' до H'' при наибольшей осадке, так как при неизменном положении инструмента установочная база смещается из положения $m'n'$ в положение $m''n''$. Выдерживаемый размер H будет дополнительно изменяться на величину погрешности закрепления $\varepsilon_3 = H'' - H'$. Рассматриваемая погрешность обычно невелика, но для тяжелых заготовок, зажимаемых с большими силами, она может иметь большую величину. При закреплении заготовки возможно смещение ее из положения, определяемого установочными базами. Например, заготовка, имеющая погрешность угла установки α между установочной базой и боковой поверхностью, при закреплении может повернуться. Сила закрепления P , перпендикулярная к боковой поверхности, создает момент $M = PB$. Под действием ука-

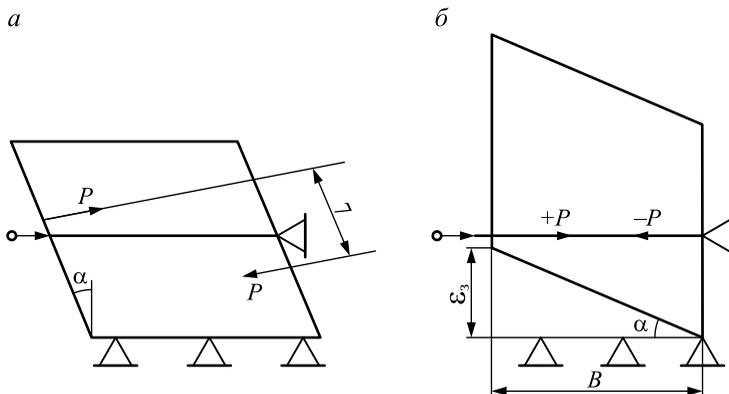


Рис. 1.13. Схема поворота заготовки при закреплении:
a – начальное положение заготовки; *б* – конечное положение заготовки

званного момента заготовка поворачивается на угол α , и возникает погрешность установки $\varepsilon_3 = B \sin \alpha$.

Для выполнения схем базирования заготовок вводят следующие условные обозначения установочных элементов технологических баз (рис. 1.13).

Принцип совмещения (единства) баз. При назначении технологических баз для точной обработки заготовки в качестве технологических баз следует принять поверхности, которые одновременно являются конструкторскими и измерительными базами детали, а также используются в качестве баз при сборке изделий.

При совмещении технологических, конструкторских и измерительных баз обработка заготовки осуществляется по размерам, проставленным на рабочем чертеже, с использованием всего поля допуска на размер, предусмотренный конструктором.

Если технологическая база не совпадает с конструкторской или измерительной базой, технолог вынужден производить замену размеров, проставленных в рабочих чертежах от конструкторских и измерительных баз, более удобными для обработки технологическими размерами, проставленными непосредственно от технологических баз. При этом происходит удлинение соответствующих размерных цепей заготовок и поля допусков на исходные размеры, проставленные от конструкторских баз, распределяются между вновь введенными промежуточными размерами, связывающими технологические базы

конструкторскими базами и с обрабатываемыми поверхностями. Это приводит к ужесточению допусков на размеры, выдерживаемые при обработке заготовок, к удорожанию процесса обработки и понижению его производительности.

При обработке паза на глубину $10h14$ (рис. 1.14, а) для упрощения конструкции приспособления удобно установить заготовку на нижнюю поверхность В (рис. 1.14, з). Так как дно паза С связано с размером $10^{+0,36}$ с верхней плоскостью А, эта плоскость является для паза конструкторской и измерительной базами. В данном случае технологическая база – поверхность, которая не совпадает с конструкторской и измерительной базами и не связана с ними ни размером, ни условием правильного взаимного расположения.

Поскольку при работе на настроенном станке расстояние от оси фрезы до плоскости стола сохраняется неизменным ($k = \text{const}$), а следовательно, постоянен и размер c , отсутствующий на чертеже, то размер глубины паза $a = 10^{+0,36}$ мм не может быть выдержан, так как на его колебание непосредственно

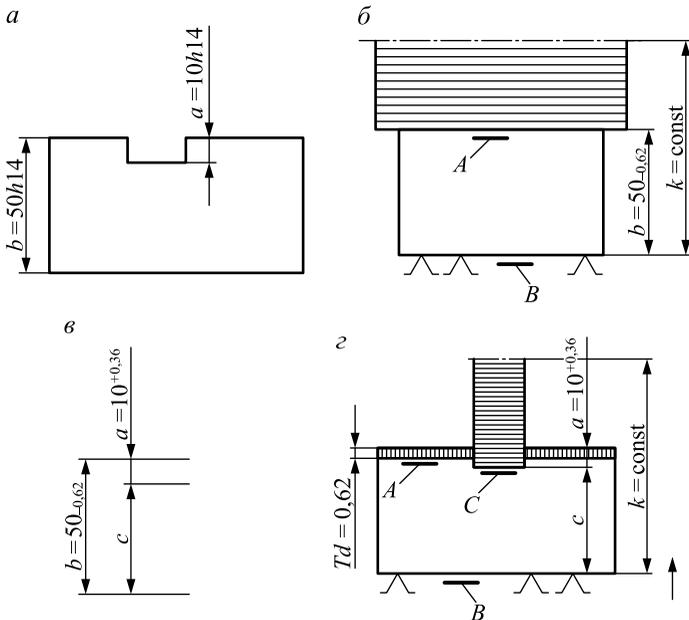


Рис. 1.14. Фрезерование паза от опорной технологической базы, не совпадающей с конструкторской (а–з)

влияет погрешность размера $b = 50_{-0,62}$ мм, выдерживаемого на предыдущей операции (рис. 1.14, б). Очевидно, что на операционном эскизе фрезерования паза в таком случае следует поставить технологический размер c , точность которого не зависит от предыдущей операции, а конструкторский размер $a = 10^{+0,36}$ мм целесообразно с эскиза снять.

Допуск размера c определяется из той же размерной цепи, в которой исходным размером является конструкторский размер $a = 10^{+0,36}$, так как весь расчет производится на основании предпосылки, что размер a должен быть автоматически получен в пределах заданного конструктором допуска при выполнении составляющих размеров цепи b и c в пределах установленных для них допусков;

$$Ta = Tb + Tc,$$

откуда

$$Tc = Ta + Tb.$$

Подставляя соответствующие значения, получаем $Tc = 0,36...0,62$.

Так как допуск — величина существенно положенная и отрицательной быть не может, полученное уравнение не может быть решено без увеличения уменьшаемого или без уменьшения вычитаемого. Допуск размера a задан конструктором и не может быть увеличен, поэтому единственным способом решения поставленной задачи является уменьшение вычитаемого, т.е. ужесточение допуска на размер b . Уменьшение Tb следует произвести таким образом, чтобы на размер b и на технологический размер c были установлены технологически выполнимые допуски. Так как с технологической точки зрения сложность выполнения размеров b и c одинакова (оба размера лежат в одном интервале размеров и получают на горизонтально-фрезерном станке от опорной технологической базы), допуск размера b ужесточается до величины $Tb = 0,18$ мм, равной половине допуска исходного размера a . В этом случае на технологический размер c можно назначить допуск, близкий установленному допуску размера b .

Окончательно размер b назначается с допуском, равным ближайшему стандартному с сохранением установленного чертёжом минусового отклонения поля допуска от номинала, т.е. $b = 50_{-0,16} = 50h11$.

Тогда расчетный допуск технологического размера

$$T_c = 0,36 - 0,16 = 0,20 \text{ мм.}$$

Предельные значения технологического размера c определяются из размерной цепи, представленной на рис. 1.13, в, т.е. $a = b - c$:

$$a_{\max} = b_{\max} - c_{\min}; c_{\min} = b_{\max} - a_{\max} = 50 - (1 + 0,36) = 40_{-0,36};$$

$$a_{\min} = b_{\min} - c_{\min}; c_{\max} = b_{\max} - a_{\min} = 50 - 0,16 - 10 = 40_{-0,16}.$$

Расчетная величина размера $c = 40_{-0,36}^{+0,16}$ мм. Окончательно принимается ближайшее стандартное значение этого размера $c = 40_{-0,36}^{-0,16}$, соответствующее значению 40b11.

Проверочный расчет на максимум и минимум $a_{\max} = 50 - (40 - 0,33) = 10^{+0,33}$; $a_{\min} = 50 - 0,16 - (40 - 0,17) = 10^{+0,01}$ показывает, что предельные значения исходного конструкторского размера a находятся на границах предельных размеров, установленных чертежом, и пересчет размеров сделан правильно.

В случаях, когда стандартный размер, ближайший к расчетному технологическому размеру c , значительно отличается по величине своего поля допуска от расчетного, окончательно может быть принят расчетный размер c .

На основании проведенного расчета в операционных эскизах заготовки вместо чертежных размеров 10H14 и 50h14 должны быть поставлены новые размеры: $b = 50h11$ и $c = 40b11$. Таким образом, в связи с несовпадением технологической и конструкторской (измерительной) баз рабочему фактически приходится выдерживать заметно более жесткие допуски по сравнению с допусками, установленными конструктором. В рассмотренном случае вместо допусков по H14, установленных чертежом, должны быть выдержаны допуски по h11 и b11.

Если столь значительное повышение требуемой точности обработки приведет к чрезмерному снижению производительности и возрастанию себестоимости продукции, то может оказаться целесообразным использовать специальное приспособление, позволяющее осуществить фрезерование паза непосредственно от конструкторской базы A.

Схемы обозначения опор и зажимов и примеры схем установки изделий приведены на рис. 1.15, 1.16.

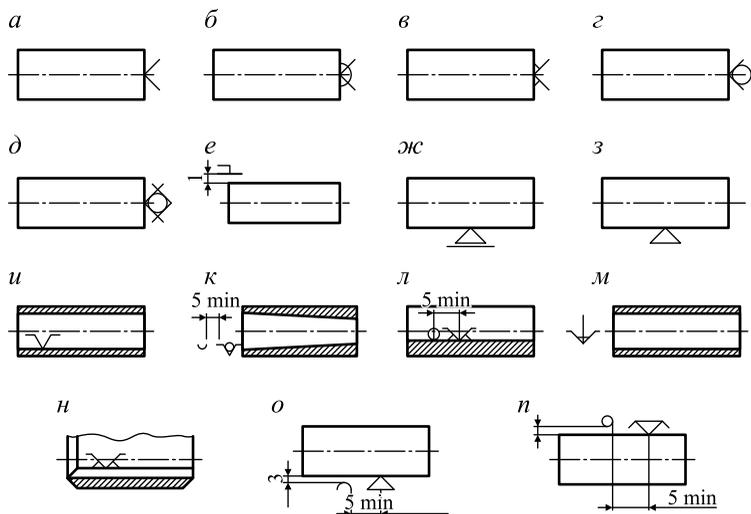


Рис. 1.15. Схемы обозначения опор и зажимов:

a – неподвижный (гладкий) центр; *б* – плавающий центр; *в* – рифленый центр; *з* – вращающийся центр; *д* – обратный центр с рифленой поверхностью; *е* – патрон поводковый; *ж* – люнет подвижный; *з* – люнет неподвижный; *и* – оправка цилиндрическая; *к* – оправка коническая роликовая; *л* – оправка резьбовая цилиндрическая с наружной резьбой; *м* – оправка цанговая; *н* – оправка шлицевая; *о* – опора регулируемая со сферической выпуклой рабочей поверхностью; *п* – зажим пневматический с цилиндрической рифленой рабочей поверхностью

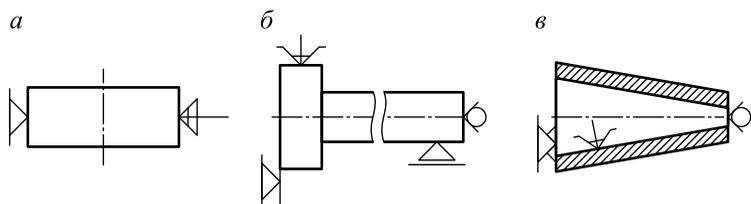


Рис. 1.16. Примеры схем установки изделий:

a – в тисках с призматическими губками и пневматическим зажимом; *б* – в трехкулачковом патроне с механическим зажимом, с упором в торец, с вращающимся центром и с использованием подвижного люнета; *в* – на конической оправке с гидропластовым устройством зажима, с упором в торец на рифленую поверхность и с вращающимся центром

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите классификацию баз.
2. Какие поверхности называются установочными базами?

3. В чем сущность принципа единства баз?
4. Почему желательно совмещать технологическую и измерительную базы?

1.11. Припуски на механическую обработку

Припуском называется слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обработанной поверхности (размер, форма, шероховатость поверхности).

Общий припуск – слой металла, удаляемый в процессе обработки заготовки для получения готовой детали.

Промежуточный (межоперационный) припуск – слой металла, удаляемый при выполнении отдельной операции (перехода).

Различают общий номинальный (расчетный), минимальный и максимальный припуски.

Общий номинальный припуск – разность номинальных размеров заготовки и готовой детали. Номинальный припуск необходим для изготовления технологической оснастки (приспособления, штампов, пресс-форм моделей и т.п.).

Минимальный припуск – разность наибольшего предельного размера заготовки на предшествующей операции (переходе) и наименьшего предельного размера на выполняемой операции.

Максимальный припуск – разность наименьшего предельного размера заготовки на предшествующей операции и наибольшего предельного размера на выполняемой. Этот припуск необходим для определения силы резания, мощности станка, силы закрепления заготовки в приспособлении.

Вопрос о выборе припусков имеет большое значение. Величина припуска влияет на себестоимость обработки. Большой припуск увеличивает затраты труда, расход материала и режущего инструмента, а также электроэнергию. Однако уменьшение припуска заставляет повышать точность обработки, что увеличивает себестоимость изготовления деталей. В механических цехах слишком малые припуски усложняют установку заготовок, вследствие чего требуется большое время и более высокая квалификация рабочего.

Общий припуск определяется следующими факторами: масштабом производства, материалом обрабатываемой заготовки, размером и конструктивной формой заготовки, видом заготовки (поковка, штамповочная заготовка, отливка, прокат

и т.д.), деформацией заготовки при ее изготовлении, состоянием оборудования, на котором изготавливают заготовки, толщиной дефектного поверхностного слоя.

Чугунные отливки имеют поверхностный слой, содержащий раковины, песочные включения; поковки, полученные горячей штамповкой, имеют обезуглероженный поверхностный слой. Дефектный слой чугуновых отливок по деревянным моделям составляет 1...6 мм, у поковок — 1...3, у штамповочных заготовок — 0,5...1,5, у горячекатанного проката — 0,5...1,0 мм.

Межоперационный припуск зависит от точности и шероховатости поверхности, получаемых на предшествующей операции, и от деформаций и дефектов поверхностного слоя, возникающих также на предшествующей операции (например, деформация и обезуглероживание после термической обработки).

Действительный слой металла, снимаемый при какой-либо операции, может колебаться в широких пределах. Как правило, операционные допуски направляют в тело детали (для отверстий — плюс, для валов — минус). Такое направление допусков удобно ввиду меньшей опасности получения дефектов.

Контрольные вопросы и задания

1. Как подразделяются припуски на обработку?
2. Перечислите факторы, определяющие общий припуск.

1.12. Технологическая документация и ее оформление

Разработанные технологические процессы оформляют в соответствующих технологических документах, степень подробности, заполнения которых устанавливается в зависимости от типа и характера производства, а также от сложности и точности обрабатываемых изделий. Единая система технологической документации (ЕСТД) устанавливает формы технологической документации, применяемой в машиностроении. Согласно ЕСТД существуют следующие формы технологической документации:

- документы общего назначения:
 - титульный лист (ТЛ) по ГОСТ 3.1105–84;
 - карта эскизов (КЭ) по ГОСТ 3.1105–84;
 - технологическая инструкция (ТИ) по ГОСТ 3.1105–84;
- документы специального назначения (основные из них):

- маршрутная карта (МК) по ГОСТ 3.1118–82;
- карта технологического процесса (КТП) по ГОСТ 3.1412–87;
- операционная карта (ОК) по ГОСТ 3.1404–86;
- карта наладки (КН) по ГОСТ 3.1404–86;
- другие виды ведомостей технологических карт, а также чертежи приспособлений, режущего и мерительного инструментов.

Выбор комплекта форм документов для технологического процесса производят в зависимости от типа производства и видов разрабатываемых и применяемых технологических процессов (табл. 1.4).

Таблица 1.4. Виды технологических документов

Вид документа	Условное обозначение	Нормативный документ, регламентирующий форму
1	2	3
Документы общего назначения		
Титульный лист	ТЛ	ГОСТ 3.1105–84
Карта эскизов	КЭ	ГОСТ 3.1105–84
Технологическая инструкция	ТИ	ГОСТ 3.1105–84
Документы специального назначения		
Маршрутная карта	МК	ГОСТ 3.1118–82
Карта технологического процесса	КТП	ГОСТ 3.1412–87 ГОСТ 3.1428–91 ГОСТ 3.1121–84
Карта типового (группового) технологического процесса	КТТП	ГОСТ 3.1121–84
Операционная карта	ОК	ГОСТ 3.1403–85 ГОСТ 3.1404–86 ГОСТ 3.1407–86 ГОСТ 3.1409–86 ГОСТ 3.1428–91
Карта технологической информации	КТИ	ГОСТ 3.1402–84
Комплектовочная карта	КК	ГОСТ 3.1123–84
Карта регистрации результатов испытания	КРПИ	РД 50-65-88
Карта наладки	КН	ГОСТ 3.1404–86
Ведомость технологических маршрутов	ВТМ	ГОСТ 3.1122–84
Ведомость оснастки	ВО	ГОСТ 3.1122–84
Ведомость оборудования	ВОБ	ГОСТ 3.1122–84
Ведомость материалов	ВМ	ГОСТ 3.1123–84

1	2	3
Ведомость специфицированных норм расхода материалов	ВСН	ГОСТ 3.1123–84
Ведомость удельных норм расхода материалов	ВУН	ГОСТ 3.1123–84
Технологическая ведомость	ТВ	ГОСТ 3.1122–84
Ведомость применяемости	ВП	ГОСТ 3.1122–84
Ведомость сборки изделия	ВСИ	
Ведомость операций	ВОп	ГОСТ 3.1502–85
Ведомость деталей, изготовленных из отходов	ВДО	ГОСТ 3.1402–84
Ведомость технологических документов	ВТД	ГОСТ 3.1122–84
Ведомость держателей подлинников	ВДП	ГОСТ 3.1121–84
Ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому (групповому) технологическому процессу (операции)	ВТП ВТО	ГОСТ 3.1121–84 P50-70-88
Технико-нормировочная карта	ТНК	P50-72-88

Каждый из приведенных документов имеет свое назначение. Например, технологическая инструкция предназначена для описания технологических процессов, методов и приемов, повторяющихся при изготовлении или ремонте изделий, правил эксплуатации средств технологического оснащения. Данная инструкция применяется с целью сокращения объема разрабатываемой технологической документации. Наиболее важными технологическими документами являются технологические карты. Маршрутная технологическая карта содержит сокращенное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов. В описание входит указание используемого оборудования, инструмента, сложности работ, требуемой квалификации рабочего, ссылка на нормативную документацию. В соответствии с установленным в ЕСТД положением маршрутная карта является документом специального назначения. В этом документе можно описать технологический процесс любых видов работ, в том числе и сборочных. В то же время маршрутная карта является обязательным документом. Допускается взамен МК использовать карту технологического процесса (КТП) в случае необходимости указания переходов и технологических режимов для

осуществления технологического процесса механической обработки и сборки. Операционные технологические карты применяются для описания технологических операций механической обработки деталей и содержат данные об обрабатываемой детали или заготовке, номере и наименовании операций и переходов, применяемом оборудовании, инструменте, приспособлениях, режимах резания, машинном и штучном времени, разряде работ и др.

В технологической документации могут быть приняты нижеприведенные описания технологического процесса.

- Маршрутное описание технологического процесса, при котором проводится сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов. Минимальный обязательный комплект документации: титульный лист, маршрутная карта. Маршрутное описание технологических процессов обычно используется в единичном, мелкосерийном и опытном производствах.

- Операционное описание технологического процесса, при котором дается полное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов. Операционное описание технологических процессов применяется в серийном и массовом производстве и для особо сложных деталей в мелкосерийном и даже в единичном.

- Маршрутно-операционное описание технологического процесса, при котором дается сокращенное описание технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с полным описанием отдельных операций в других технологических документах. Маршрутно-операционное описание рекомендуется к применению в серийном, мелкосерийном и опытном производстве, когда процесс изготовления изделия включает отдельные сложные и точные операции.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие документы применяют для оформления технологической документации?
2. Назовите виды технологических документов.

1.13. Основы построения технологического процесса

Исходные данные и последовательность проектирования технологического процесса:

- рабочий чертеж обрабатываемой заготовки со всеми необходимыми техническими условиями;
- чертеж сборочной единицы, в которую входит обрабатываемая заготовка;
- производственная программа выпуска деталей;
- данные об оборудовании в виде паспортов станков.

Кроме того, необходимо иметь справочные материалы, нормы операционных припусков и допусков, каталоги режущего, измерительного и вспомогательного инструментов, стандарты сортамента материалов, нормативы режимов резания, нормативы вспомогательного, подготовительно-заключительного времени и времени обслуживания рабочего места. Большая программа позволяет применить высокопроизводительное оборудование, многшпиндельные и агрегатные станки, полуавтоматы и автоматы, автоматизировать процессы.

Технологический процесс разрабатывают в определенной последовательности (ГОСТ 14.301–73).

1. Определяют тип производства, такт выпуска или размер партии, вид заготовки.
2. Устанавливают рациональную последовательность обработки – технологический маршрут.
3. Выбирают станки для отдельных операций.
4. Определяют способ установки (базирование) и закрепления заготовки на каждой операции и уточняют порядок операций.
5. Операции разбивают на переходы и ходы, устанавливают межоперационные припуски и допуски.
6. Определяют размеры заготовки.
7. Выбирают приспособления и намечают принципиальные схемы специальных приспособлений.
8. Подбирают тип и размер инструмента и разрабатывают конструктивные эскизы специальных инструментов.
9. Устанавливают режимы резания для всех переходов.
10. Осуществляют техническое нормирование и устанавливают профессию и разряд работы.
11. Производят сравнительные экономические расчеты, если намечено несколько возможных вариантов обработки.

12. Оформляют документацию технологических процессов механической обработки.

13. Разрабатывают организацию производственных участков, включая их планировку и внутрицеховой транспорт.

Разработка технологических процессов является одним из важнейших этапов подготовки производства, так как от нее в значительной степени зависит качество продукции, трудоемкость и экономичность производства, а также быстрота освоения производства. При разработке технологических процессов следует стремиться к сокращению числа операций, так как это уменьшает потребность в станках, рабочих, производственной площади, межоперационной транспортировке и понижает себестоимость изготовления детали. Производительность операции повышают, уменьшая число переходов путем применения многоинструментных накладок; минимальное число ходов снижает основное время вследствие использования точных заготовок.

При обработке заготовки, как правило, осуществляется снятие основного припуска (черновая обработка, получение заданных размера, формы и взаимного положения поверхностей заготовки; получение заданной шероховатости и качества поверхностного слоя (отделка и упрочнение)). Методы обработки, оборудование, инструмент и приспособления не позволяют выполнить все поставленные задачи за один ход режущего инструмента. При черновой обработке действующие силы и работа резания особенно велики; заготовки сильно нагреваются. При этих условиях получить точные размеры заготовки невозможно. Поэтому последовательность операций необходимо назначать исходя из некоторых соображений.

1. При черновой обработке снимаются наибольшие слои металла. Это позволяет сразу выявить дефекты заготовки. При снятии поверхностных слоев заготовка освобождается от внутренних напряжений, вызывающих деформацию. При черновой обработке требуются значительные силы зажима, которые могут влиять на точность окончательно обработанной поверхности, если черновая обработка части заготовки будет производиться после чистовой обработки. Такие неблагоприятные условия создаются при обработке больших поверхностей фасонных заготовок. Для мелких заготовок черновую и окончательную обработку производят в одну операцию. Не следует опасаться перераспределения внутренних напряжений при об-

работке отдельных небольших поверхностей в фасонных заготовках.

2. Чистовые операции необходимо выполнять в конце обработки заготовки, так как при этом уменьшается возможность повреждения уже обработанных поверхностей.

3. При определении последовательности выполнения черновых и чистовых операций следует учитывать, что совмещение их на одних и тех же станках приводит к снижению точности обработки вследствие повышенного износа станка на черновых операциях.

4. В первую очередь следует обрабатывать поверхности, при удалении припуска с которых в наименьшей степени снижается жесткость заготовки; например, при обработке ступенчатых валов вначале обрабатывают ступени большого диаметра, а затем ступени меньшего диаметра.

5. Поверхности с одинаковой точностью относительного расположения нужно обрабатывать с одной установки и одной позиции.

6. При использовании в технологическом процессе автоматических линий следует применять метод концентрации операций технологического процесса, т.е. одновременного выполнения большого числа переходов на каждой позиции, и использовать комбинированные инструменты (ступенчатый зенкер, развертку и т.д.). Для получения автоматической линии небольшой протяженности станки располагают с двух сторон рольганга или зигзагообразно.

Операции обработки резанием необходимо увязывать с термическими, назначая отдельные операции после операций термической обработки, повышающих механические свойства металла (цементация, закалка). От вида термической обработки зависят межоперационные припуски. Их необходимо увеличивать, чтобы обеспечить меньшие отклонения от формы геометрической поверхности, нарушенной деформациями, вызванными термической обработкой.

В ы б о р о б о р у д о в а н и я. Выбор станка — одна из важных задач при проектировании технологического процесса обработки резанием. Для любой операции всегда можно подобрать соответствующий станок. Исключениями являются некоторые операции в массовом производстве, для которых экономически целесообразно изготавливать специальные станки. При проектировании технологических процессов серийного произ-

водства, где наряду со специальными используют и универсальные станки, выбор последних производят по следующим показателям:

- вид обработки – токарная, фрезерная, сверлильная и т.п.;
- точность и жесткость станка;
- габаритные размеры стола;
- мощность станка, частота вращения шпинделя, подачи и т.п.;
- цена станка.

При серийном производстве на одном станке, как правило, выполняют несколько различных операций, поэтому выбранный станок должен удовлетворять технологическим требованиям всех намеченных обработок. В массовом производстве каждый станок предназначен для выполнения одной операции и должен удовлетворять не только все требования данной обработки, но и обеспечивать заданную производительность. При выборе станка для массового производства кроме указанных выше показателей необходимо учитывать соответствие производительности станка такту выпуска деталей, обработанных на данном станке.

Классификация станков по технологическим признакам предложена проф. А. И. Кашириным. По этой классификации станочное оборудование делится на станки широкого, или общего, назначения (универсальные), высокой производительности, специализированные, специальные. Станки высокой производительности имеют ограниченные технологические возможности по сравнению с универсальными. Они более мощные и жесткие, чем станки первой группы, благодаря чему на них можно вести обработку на более высоких режимах резания. К ним относятся станки токарно-многолезцовые, кругло-шлифовальные, работающие методом поперечной подачи, бесцентрово-шлифовальные, некоторые продольно-фрезерные, токарные автоматы и полуавтоматы. Эти станки предназначены для крупносерийного и массового производства и применяются также в серийном производстве. Специализированные станки путем конструктивных изменений и различных дополнений могут быть приспособлены для выполнения определенной операции. Часто станки этой группы получают путем установки дополнительных шпинделей, головок и других узлов на станки высокой производительности. Специальные станки проектируют и изготавливают по особому заказу и предназначают для выполнения

определенной операции. Проектирование и изготовление станков этой группы обычно обходится дорого. Поэтому такие станки применяют только в массовом производстве, если будет доказана их экономическая эффективность.

Автоматические станочные линии — это группы автоматических станков, установленных в порядке технологического процесса и связанных между собой транспортирующими устройствами. На транспортер в начале линии устанавливают обрабатываемую заготовку или загружают в бункер сразу много заготовок, которые затем автоматически передаются со станка на станок. Наряду с созданием автоматических линий на базе имеющегося оборудования проектируются и строятся автоматические линии из специальных станков.

При больших программах выпуска деталей широко используют агрегатные станки. Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков (ЭНИМС) разработал классификатор металлорежущих станков.

Выбор инструмента. Конструкция и размеры для данной операции предопределяются видом обработки, размерами обрабатываемой поверхности, свойствами материала заготовки, требуемой точностью обработки и шероховатостью обрабатываемой поверхности. Режущие инструменты в основном изготавливают из твердых сплавов ВК8, Т5К10, Т15К6, Т30К4, Т60К6 и других, быстрорежущих сталей Р6М5, Р9К10, углеродистых инструментальных сталей У10А, У12А и др. Инструменты, оснащенные пластинками из твердых сплавов ВК8 и ВК6М, применяют при обработке заготовок из чугуна. При грубой обработке стальных заготовок применяют инструмент с пластинами из сплава Т5К10, а при чистовой обработке — инструмент с пластинами из сплава Т15К6. Инструменты из твердых сплавов рекомендуется применять для достижения высокой производительности, наименьшей шероховатости обработанной поверхности и при обработке заготовок из металлов высокой твердости. Быстрорежущие стали применяют для изготовления инструментов, работающих при относительно высоких скоростях резания, и сложного инструмента. Углеродистые инструментальные стали применяют для изготовления ручных инструментов (метчики, плашки и т.п.).

Одной из важнейших задач проектирования процессов обработки резания является установление вида и конструкции приспособления. Приспособление — это дополнительное смен-

ное устройство к станку, служащее для правильной установки и закрепления заготовки при обработке. Для закрепления и необходимого направления инструмента проектируют вспомогательный измерительный инструмент. Характер конструкции приспособлений в большей степени зависит от масштаба производства. В серийном производстве применяют сравнительно несложные универсальные приспособления (патроны, тиски, оправки и др.). В массовом производстве экономично использовать специальные приспособления, так как их относительно высокая цена быстро окупается.

Определение экономичных режимов резания. Глубину резания находят в зависимости от припуска на обработку. Глубина резания в меньшей степени влияет на стойкость инструмента, чем скорость резания и подача, поэтому при черновой обработке назначают максимальную глубину резания, обеспечивающую снятие большей части припуска за один ход инструмента. При полусточковой обработке в зависимости от требуемой точности и класса шероховатости поверхности глубину резания назначают 1...4 мм. Чистовую обработку выполняют также в зависимости от степени точности и шероховатости с глубиной резания 0,1...1 мм. Далее выбирают подачу. Подача влияет на стойкость инструмента меньше, чем скорость резания, поэтому при черновой обработке назначают возможно большую подачу, допускаемую прочностью станка, режущего инструмента и обрабатываемой заготовки. При чистовой обработке подачи выбирают в зависимости от требуемой точности обработки и шероховатости обрабатываемой поверхности. Затем определяют экономическую скорость резания путем расчета по соответствующим формулам или, руководствуясь справочными нормативными данными, проверяют ее по мощности станка. Назначение режима резания — это выбор наиболее выгодного сочетания глубины резания, подачи и скорости резания, обеспечивающего наименьшую трудоемкость при полном использовании режущих свойств инструмента, эксплуатационных возможностей станка и при соблюдении требуемого качества заготовки.

Найти оптимальный режим резания при обработке на многоинструментальных станках сложнее, чем при обработке на одноинструментном. Принципы назначения режима резания остаются такими же, как и для одноинструментальной обработки: глубина резания должна быть назначена максимальной ис-

ходя из величины припуска; подача выбрана наибольшей исходя из требований к шероховатости поверхностей, условий прочности и жесткости станка и подобного, а скорость резания должна быть экономичной. Однако удовлетворять этим принципам при многоинструментальной обработке труднее, чем при одноинструментальной. Даже при соблюдении условия назначения для каждого инструмента экономического режима, как это делается при одноинструментальной обработке, общее машинное время может оказаться излишне большим, если время работы какого-либо одного инструмента будет намного больше по сравнению с временем работы остальных инструментов. В таких случаях выгодно повысить режим резания, хотя один инструмент и будет иметь стойкость меньшую, чем экономическая. Поэтому режим резания при многоинструментальной наладке следует определять по нормативам.

Технически обоснованная норма времени. Технически обоснованная норма времени — это время, необходимое для выполнения данной операции при применении современных методов обработки на основе передовой техники и опыта новаторов производства. Технически обоснованная норма штучного времени на выполнение операции

$$T_{шт} = T_0 + T_B + T_{т.о} + T_{о.о} + T_{от.л},$$

где T_0 — основное (машинное) время, т.е. время, в течение которого осуществляется изменение размеров, формы, внешнего вида и состояния поверхности обрабатываемой заготовки; T_B — вспомогательное время, затрачиваемое на выполнение действий вспомогательного характера, необходимых для выполнения основы работы, к вспомогательному времени относится время на управление станком, установку, закрепление и снятие детали; сумма $T_0 + T_B$ называется оперативным временем; $T_{т.о}$ — время технического обслуживания, затрачиваемое на обслуживание станка в процессе работы (смазка станка, удаление стружки, смена инструмента, правка шлифованного круга), $T_{т.о}$ определяют в процентах от основного времени; $T_{о.о}$ — время организационного обслуживания, затрачиваемое на подготовку станка к работе в начале смены и на уборку его в конце смены, а также на передачу станка сменщику; $T_{от.л}$ — время на отдых и личные надобности, его определяют также в процентах от оперативного времени.

Для осуществления обработки требуется затратить некоторое время на ее подготовку: изучить чертеж, наладить станок, приспособления и инструмент, получить консультацию у мастера. Это время называется подготовительно-заключительным временем $T_{п-з}$. Подготовительно-заключительное время затрачивается на подготовку к обработке партии заготовок. На одну заготовку оно определяется как частное от деления всего подготовительно-заключительного времени на количество заготовок в партии.

При серийном производстве для определения затрат на обработку заготовок пользуются калькуляционным временем:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{п-з}}{n},$$

где $T_{шт-к}$, $T_{шт}$ — соответственно штучное и штучно-калькуляционное время для одной операции; n — число заготовок в партии.

Технически обоснованные нормы, как правило, действительны на определенный срок. Они подлежат изменению в связи с внедрением новой техники и улучшением организации труда.

Методы повышения производительности труда при обработке резанием. Повышение производительности труда достигается прежде всего организационно-техническими мероприятиями, повышающими эффективность и облегчающими условия труда.

Производительность труда повышают:

- созданием новых более технологических конструкций машин, для изготовления и сборки которых требуется меньше времени и затрат, а также улучшением технологичности конструкции существующих деталей, сборочных единиц и машин в целом;
- улучшением технологических процессов обработки деталей и сборки машин, всесторонней их автоматизации, организации производственного процесса.

Технологичность конструкции возрастает для машин в целом — при упрощении кинематических схем, уменьшении числа деталей в машине, разделении машины на отдельные, самостоятельно собираемые и взаимозаменяемые сборочные единицы, максимальном использовании стандартных унифицированных деталей; для отдельных деталей — при рациональном назначении точности и шероховатости, простоте и доступности обрабатываемых поверхностей, сквозных отверстий без вы-

точек, канавок и внутренних уступов, свободных выходов режущих инструментов, повышении коэффициента использования материала. Улучшение технологического процесса достигается прежде всего применением наиболее совершенных методов изготовления заготовок деталей, при которых заготовка по форме и размерам должна приближаться к готовой детали. Уменьшение припусков на обработку повышает производительность труда, так как при этом кроме сокращения затрат труда уменьшаются расходы металла, инструмента, электроэнергии, повышается загрузка станков и т.д.

Пути сокращения основного времени. Основное время при технологических процессах обработки резанием может быть сокращено применением многоинструментальной обработки, повышением режимов резания путем использования инструментов из твердых сплавов и керамических материалов, совершенствования конструкции режущих инструментов и использования более мощных и быстроходных станков.

При применении многоинструментальных наладок имеется возможность рационально распределить общую длину обрабатываемой поверхности между несколькими инструментами, работающими параллельно, а также вести одновременную обработку разных поверхностей заготовки несколькими инструментами. При многоинструментальной обработке используют следующие методы определения длины обрабатываемой поверхности заготовки: деления длины обрабатываемой заготовки, деления наибольшей ступени и деление припуска на обработку.

Схема точения вала восемью резцами на многорезцовом токарном станке приведена на рис. 1.17.

Время обработки наиболее длинной ступени вала в результате деления длины наибольшей ступени уменьшится в 3 раза; обработка остальных ступеней и подрезка торцов будут выполнены вместе. Примером многоинструментальной наладки могут

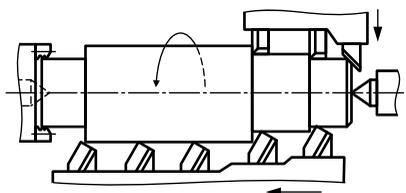


Рис. 1.17. Схема многорезцовой токарной обработки

служить обработка заготовки сложного профиля на фрезерном станке набором фрез, установленных на оправке, а также обработка многошпиндельными сверлильными головками на одношпиндельных сверлильных станках.

Одновременная параллельная обработка нескольких одинаковых заготовок уменьшает машинное время пропорциональному числу одновременно обрабатываемых заготовок; при этом сокращается и вспомогательное время, необходимое на включение станка, подвод инструмента к обрабатываемой заготовке, отвод суппорта, остановку станка и т.д. При последовательной обработке нескольких заготовок их устанавливают в один ряд по направлению рабочего хода стола или инструмента, что позволяет сократить машинное время вследствие уменьшения хода на врезание и выход инструмента.

Для получения наибольшей производительности при черновой обработке объем стружки, снимаемой в единицу времени, должен быть равен площади обрабатываемой поверхности. Так как увеличение глубины резания лимитируется припуском на обработку, то производительность можно повысить, увеличивая скорость резания, т.е. применяя скоростное резание металлов, и подачу — силовое резание металлов. Обработка металлов с очень высокими скоростями резания стала возможной в результате использования инструментов, оснащенных пластинками из металлокерамических и минералокерамических сплавов. Выбирая скорость резания при обработке стальных заготовок, надо учитывать, что она существенно влияет на шероховатость, так как вследствие значительного выделения тепла металл деформируется резцом, наклепывается, возникают явления схватывания и отрывания частиц металла от поверхности. При малых скоростях резания указанные явления проявляются в меньшей степени, поэтому шероховатость поверхности при малых скоростях получается меньшей. При дальнейшем увеличении скорости резания скорость распространения пластической деформации не увеличивается, явление отрыва частиц металла уменьшается, а шероховатость обработанной поверхности уменьшается.

Одним из видов высокопроизводительной обработки является сочетание силового резания со скоростным. Этот метод позволяет в несколько раз уменьшить машинное время. При скоростном резании требуются станки повышенной мощности с частотой вращения шпинделя $1000...3000 \text{ мин}^{-1}$. Требования

к жесткости станков увеличиваются, так как явления вибрации совершенно недопустимы. Вибрации снижают стойкость режущих инструментов (наблюдается выкрашивание режущих кромок) и увеличивают шероховатость обработанной поверхности. Скоростные методы обработки применяют на токарных, фрезерных, зубофрезерных, строгальных и других станках.

Пути сокращения вспомогательного времени. Вспомогательное время при многих видов обработки имеет большую абсолютную величину в суммарном времени, затрачиваемом на обработку одной заготовки. Поэтому сокращение вспомогательного времени может быть достигнуто:

- применением быстродействующих приспособлений для установки заготовок (механических, пневматических, гидравлических, электромагнитных и др.);
- использованием фасонного и комбинированного инструмента и быстросменных патронов для инструментов;
- совмещением вспомогательного времени с машинным, производя установку, зажим, переключивание и снятие заготовки в течение их обработки с автоматической подачей;
- созданием специальных устройств, обеспечивающих быстрой подвод и отвод инструментов;
- внедрением средств, позволяющих измерять заготовки в процессе обработки (без остановки станка);
- автоматизацией рабочего цикла станка;
- рациональной организацией рабочего места.

Применение фасонных резцов, наборов фрез, ступенчатых сверл, зенковок-цековок, многорезцовых державок, т.е. комбинированного инструмента, выполняющего несколько переходов за один ход, значительно сокращает не только основное время, но и вспомогательное время (в результате сокращения времени на установку, выверку и закрепление одного комбинированного инструмента вместо нескольких, его заменяющих).

Совмещение вспомогательного времени с машинным достигается при обработке на вертикально-фрезерных, карусельно-фрезерных станках непрерывного действия, на многошпиндельных токарных полуавтоматах и др.

Для сокращения вспомогательного времени, затрачиваемого на достижение точных размеров при обработке ступенчатых валов, используют неподвижный упор с ограничителем длины. Остановка суппорта в заданном положении осуществляется с помощью упора, установленного на станине, и брусьев требуе-

мой длины. Иногда применяют поворотные многопозиционные упоры, настроенные на несколько размеров по длине. Упор является простейшим средством, которое автоматизирует один элемент рабочего цикла станка — остановку суппорта в конце обработки. При обработке ступенчатых валов на токарном станке применяют механические, гидравлические и электрические копируемые суппорты. Гидрокопируемые суппорты позволяют вести обработку как по копиру, так и по эталонной детали. Метод обработки по эталонной детали делает рентабельным применение копируемого суппорта при изготовлении небольших партий деталей в связи с тем, что не надо изготавливать специальный копир. Гидрокопируемые суппорты применяют при обтачивании не только ступенчатых валов с цилиндрическими шейками, но и заготовок для конических зубчатых колес и других деталей, устанавливаемых на оправке, для растачивания втулок со ступенчатыми или фасонными отверстиями. Точность гидрокопируемой обработки при чистовом точении по диаметру 0,05 мм, по длине 0,1 мм. Размеры заготовок в процессе их обработки контролируют измерительными устройствами.

Основным средством сокращения вспомогательного времени является автоматизация технологических процессов. В крупносерийном и массовом производстве для загрузки станков штучными заготовками небольших масс и размеров применяют лотковые, ящичные и бункерные загрузочные устройства. При использовании автоматических устройств всех типов заготовки подаются в рабочую зону станка питателем.

Для автоматической остановки станка после достижения заданного размера применяют приборы активного контроля. Такие приборы позволяют осуществить обратную связь, т.е. по результатам измерений воздействовать с помощью подналадчика под ход технологического процесса и своевременно предупредить появление брака. Такие подналадчики применяют, например, при бесцентровом и плоском шлифовании. Схема подналадчика к бесцентрово-шлифовальному станку приведена на рис. 1.18.

Шлифовальный 1 и ведущий 2 круги станка при работе изнашиваются. Это приводит к увеличению диаметра шлифуемых заготовок 3, что регистрируется электроконтактным измерительным прибором-датчиком 4, который через электрические приборы включает электродвигатель механизма подачи. Электродвигатель соединен с червяком 5, вращающим червяч-

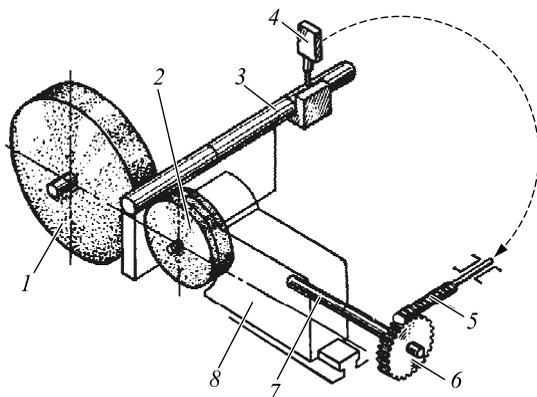


Рис. 1.18. Схема подналадчика к бесцентрово-шлифовальному станку

ное колесо 6. Винт 7, на котором закреплено это колесо, вращаясь, передвигает бабку 8 ведущего круга 2, компенсируя таким образом износ кругов.

Автоматические линии широко применяют в массовом производстве при обработке автомобильных блоков, поршней, поршневых пальцев, шарикоподшипников, зубчатых колес и других деталей, а также в серийном производстве, что сокращает число рабочих, трудоемкость изготовления деталей, производственный цикл, себестоимость продукции, объем незавершенного производства, производственную площадь и повышает производительность труда.

Организационные мероприятия должны освободить основных рабочих от потерь времени на обслуживание рабочих мест: получение и обмен чертежей, инструментов, приспособлений, сдачу работы ОТК, оформление нарядов и т.д. Рациональная организация рабочего места — современное и четкое обслуживание его в процессе работы и наиболее совершенная его планировка и содержание. В области улучшения организации производственного процесса основным направлением для условий единичного и серийного производства является метод групповой обработки заготовок. При разработке технологических процессов для групповой обработки за основу берут не отдельную заготовку, а группу сходных заготовок, при обработке которых применяют одинаковое оборудование, приспособления, режущий инструмент и накладку.

Группирование заготовок выполняют на основе анализа номенклатуры всех заготовок, обрабатываемых на определенном оборудовании, например на токарных, револьверных, фрезерных, сверлильных станках. Технологический процесс разрабатывают на комплексную деталь, которая содержит все элементы данной группы, и заготовки одной группы обрабатывают на однородном оборудовании с групповой настройкой.

Любая заготовка из группы может быть обработана без переналадки или с частичной переналадкой станка. Ввиду того что наладка составлена для группы заготовок, при обработке одной заготовки может быть использована часть или все инструменты, установленные в наладке. Предусматривается возможность замены одного инструмента другим. Приспособления создаются также на обработку групповых заготовок, для чего в них предусматривают сменные или регулируемые установочные и зажимные элементы.

Групповая обработка позволяет использовать в серийном и единичном производстве высокопроизводительные технологические методы обработки резаньем, характерные для поточно-массового производства, и повышает загрузку станков.

Многостаночная работа. Многостаночной работой, или многостаночным обслуживанием, называют такой вид работы станочников, когда один рабочий обеспечивает одновременную работу нескольких станков. Многостаночное обслуживание повышает производительность труда по сравнению с той, которая достигается при обслуживании одного станка. Многостаночная работа эффективна в том случае, когда основное время в любой операции больше суммы вспомогательных времен на остальных операциях и времени, затрачиваемого на переходы рабочего от станка к станку. Число станков, обслуживаемых одним рабочим, если на всех станках выполняют одинаковые операции,

$$n = \frac{T_0 + T_B}{T_B} = \frac{T_0}{T_B} + 1,$$

где T_0 — основное (машинное) время; T_B — вспомогательное время.

Для работы без простоев отношение $\frac{T_0}{T_B}$ должно быть целым числом. Если на станках выполняют различные операции,

то для определения возможности многостаночной работы разрабатывают циклопрограмму.

Планировка оборудования при многостаночном обслуживании должна обеспечивать минимальное время на переходы от станка к станку, а также удобство наблюдения за работой всех станков группы. На станках должны быть установлены автоматические остановы подачи.

Типизация технологических процессов. Проектирование технологических процессов обработки заготовок — сложная и длительная работа. Для ускорения и улучшения проектирования технологических процессов разрабатывают типовые технологические процессы на основе обобщения передового опыта предприятия и применения наиболее прогрессивных методов обработки в соответствии с масштабом выпуска.

Типизация есть такое направление в построении технологических процессов, которое заключается в классификации деталей и в комплексном решении задач, возникающих при осуществлении процессов обработки заготовки каждой классификационной группы.

Детали группируют по признакам сходства технологических процессов обработки, разбивают на классы, группы, подгруппы и типы. Для каждого представителя классификационной группы разрабатывают типовой технологический процесс. Типизация технологических процессов обработки позволяет уменьшить затраты и сократить цикл подготовки производства машин новых типов.

Технологические процессы делают типовыми путем разработки комплексных деталей, а также типизации и стандартизации отдельных операций обработки различных деталей. Типовой технологический процесс может быть оперативным и перспективным. Оперативный типовой технологический процесс должен отражать прогрессивное состояние технологии в настоящий момент. Перспективный типовой технологический процесс должен предусматривать дальнейшее совершенствование производства с учетом развития науки и техники в области технологии. Типовые технологические процессы на изделия, оформляемые групповыми конструкторским документами, разрабатывают при совпадении технологических признаков этих изделий. Типовые технологические процессы разрабатывают на основе применения преимущественно стандартных средств технологической оснастки.

Разработка рабочих технологических процессов и операций. Информационной основой при разработке технологических процессов являются типовые технологические процессы и стандарты на технологические операции.

При разработке типовых рабочих технологических процессов:

- обрабатываемую заготовку на основании технологического классификатора относят к соответствующей классификационной группе;
- по коду выбирают типовой технологический процесс;
- уточняют состав и последовательность операций, выбранные средства технологической оснастки.

При разработке технологических процессов на оригинальные детали используют отдельные стандарты на технические операции (в том числе операции группового метода обработки), а также обратимую, переналаживаемую (стандартную) оснастку и, при необходимости, специальную оснастку. Технологический процесс внедряют в соответствии с порядком, установленным на предприятии.

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите последовательность операций при черновой обработке.
2. Какое значение имеет выбор оборудования и инструмента при проектировании технологического процесса?
3. Назовите основные пути сокращения времени на обработку резанием.

1.14. Особенности структуры технологического процесса обработки на станках с ПУ

Технологический процесс (ТП) обработки поверхностей детали на станке с ПУ, в отличие от традиционного, требует большей детализации при решении технологических задач и учете специфики представления информации.

Структурно ТП для станков с ПУ подразделяется на операции, элементами которых являются установки, позиции, технологический и вспомогательный переходы, рабочие и вспомогательные ходы, шаги, элементарные перемещения и технологические команды.

Технологическая операция – законченная часть ТП, выполняемая на одном рабочем месте.

Установ – часть технологической операции, выполняемой при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок.

Позиция – фиксированное положение, занимаемое заготовкой относительно инструмента, для выполнения определенной части операции.

Технологический переход характеризуется постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых заготовкой. Вспомогательный переход подготавливает условия для выполнения технологического перехода. Примеры вспомогательных переходов: установка заготовки, смена инструмента и т.п. Технологический и вспомогательный переходы являются законченными частями технологической операции. Технологические переходы выполняются за один или несколько рабочих ходов, в результате каждого рабочего хода удаляется слой материала.

Рабочим ходом называется законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, при котором происходит изменение формы и размера заготовки.

Вспомогательный ход обработкой не сопровождается, он необходим для выполнения рабочего хода.

Ходы разделяются на шаги. Шаг представляет собой перемещение на участке траектории инструмента вдоль определенного геометрического элемента, на котором не изменяется режим, например перемещение инструмента по прямой или окружности с постоянной скоростью.

Простейшими составляющими процесса обработки являются элементарные перемещения и технологические команды, обрабатываемые устройством ПУ. Элементарные перемещения формируются с учетом ограничений конкретного ПУ. К ним относят, например, задание отрезка прямой числом дискрет, не превышающим емкости регистра памяти УПУ. Технологические команды, реализуемые исполнительными механизмами станка, обеспечивают необходимые условия обработки элементарных перемещений.

Контрольные вопросы и задания

1. Как структурно подразделяется технологический процесс на станках с программным управлением?
2. Приведите определения элементов технологического процесса.

1.15. Этапы проектирования ТП для станков с ПУ

В общем случае процесс проектирования ТП для станков с ПУ можно разделить на четыре стадии: выбор номенклатуры деталей, разработка маршрута обработки детали, разработка операций ТП, подготовка управляющей программы (УП). Каждая стадия содержит несколько этапов разработки (табл. 1.5).

Таблица 1.5. Этапы разработки ТП обработки деталей на станках с ПУ

Номер этапа	Содержание этапа
1	Выбор номенклатуры деталей
2	Разработка маршрута обработки детали
2.1	Ознакомление с технологическим процессом изготовления детали-аналога
2.2	Анализ технологичности детали. Повышение технологичности
2.3	Согласование условий поставки
2.4	Разработка маршрута изготовления детали
2.5	Заказ приспособлений
2.6	Заказ инструмента
3	Разработка операции технологического процесса
3.1	Составление плана операции
3.2	Разработка операции
4	Подготовка управляющей программы
4.1	Расчет траектории движения инструмента
4.2	Кодирование и запись управляющей программы
4.3	Контроль, редактирование, отладка управляющей программы

Формировать номенклатуру деталей, обрабатываемых на станках с ПУ, рекомендуется в три этапа.

На первом этапе производится:

- анализ чертежей;
- анализ технологичности конструкции деталей;
- анализ технологической документации;
- составление предварительного перечня деталей, подлежащих обработке на станках с ПУ;
- определение типа станков.

На втором этапе выполняется:

- группирование деталей по конструктивно-технологическим признакам (группы деталей тел вращения, призматических, плоских профильных);

- группирование деталей по типам станков;
- детальный технико-экономический анализ;
- выбор оптимального варианта обработки;
- составление уточненного перечня деталей.

На третьем этапе:

- составляют годовой график внедрения обработки деталей;
- оценивают трудоемкость подготовки программ.

Анализ чертежей деталей. Детали анализируют по следующим параметрам:

- конфигурация;
- взаимное расположение элементарных поверхностей;
- размеры;
- материал и его обрабатываемость;
- заготовка, ее конфигурация и масса;
- требуемое качество обрабатываемых поверхностей (допуски размеров и формы, шероховатость поверхностей, твердость и др.);
 - годовая программа выпуска;
 - число партий в год;
 - число деталей в партии;
 - допустимая стоимость обработки.

Рассматривается вся группа деталей, сходных по конструктивным и технологическим признакам, выявляется возможность использования типовых и групповых технологических процессов, групповой оснастки.

Анализ технологичности конструкции детали. В общем случае технологичными следует считать такие заготовки, форма и размеры которых отвечают условиям выполнения обработки в непрерывном автоматическом цикле.

Технологичная конструкция имеет:

- простую геометрическую форму;
- достаточную жесткость;
- элементы, обеспечивающие надежное закрепление детали при обработке. Так, при обработке заготовки по контуру концевой фрезой в заготовке могут отсутствовать конструктивные отверстия, которые можно было бы использовать в качестве базовых. В этом случае следует ввести такие отверстия (технологические). При невозможности выполнить в детали технологические базовые отверстия следует предусмотреть у заготовки специальные технологические приливы, в которых расположить базовые отверстия;

- сопряжение линий контура одинаковыми радиусами;
 - типовые повторяющиеся геометрические элементы;
 - минимальную величину припуска. Колебания величины припуска должны быть незначительными; нежелательно;
 - сквозные отверстия. Наличие глухих отверстий нежелательно;
 - неглубокие отверстия. В глубоких отверстиях длина отверстий больше диаметров;
 - резьбовые отверстия больше 6 мм;
 - унифицированные элементы. Сокращается количество инструментов, можно использовать подпрограммы;
 - отверстия, расположены перпендикулярно к основной обрабатываемой поверхности на одном уровне;
 - незначительное колебание твердости заготовки.
- Конфигурация детали должна обеспечивать:
- свободный доступ инструмента к обрабатываемой поверхности;
 - минимальное количество установов при ее обработке;
 - легкое надежное удаление стружки;
 - возможность обработки за одну установку двух и более деталей;
 - возможность осуществления минимального количества рабочих ходов.

Рассмотрим содержание этапов разработки ТП обработки поверхностей деталей на станках с ПУ.

Этап 1. Выбор номенклатуры обрабатываемых деталей. На этом этапе определяют целесообразность обработки заготовки на станке с ПУ как по конструктивно-технологическим признакам, так и по производственным условиям; дают оценку возможности изменения заготовки, технологического процесса, конструкции детали. Здесь же необходимо провести технико-экономический анализ: расчет снижения трудоемкости, расчет окупаемости затрат.

Этап 2.1. Ознакомление с ТП изготовления детали-аналога. Объем ознакомления: заготовка, маршрут, приспособления, режущий и вспомогательный инструменты, режимы резания, структура операций.

Этап 2.2. Анализ технологичности детали. На этом этапе осуществляют отработку конструкции детали на технологичность и унификацию радиусов, баз, элементов детали. рассмат-

ривают вопросы повышения жесткости инструмента и детали, корректировки чертежей детали и заготовки.

Этап 2.3. *Согласование условий поставки.* Определяют технологическое состояние заготовки: требования к базам, припуски, технологические отверстия и технологическое состояние детали (основные размеры, припуски, доводочные работы).

Этап 2.4. *Разработка маршрута изготовления детали.* Производят составление и согласование маршрута обработки детали: определение поверхностей, обрабатываемых на станках с ПУ; выбор последовательности выполнения операций; составление операционного эскиза.

Этап 2.5. *Заказ приспособления.* На этом этапе выполняют эскизное проектирование приспособления: определение положения заготовки на станке; определение типа приспособления; составление схемы увязки (выбор и привязка систем координат); определение схем базирования и закрепления заготовки; выбор вида привода для приспособления.

Этап 2.6. *Заказ инструмента.* Выполняют эскизное проектирование инструмента: определение типа инструмента; выбор технологических параметров; проектирование схемы наладки.

Этап 3.1. *Составление плана операции.* Определяют содержание операции. При этом выделяют в операции установки и позиции; уточняют способы закрепления заготовки; подготавливают операционные карты.

Этап 3.2. *Разработка операционной технологии.* На этом этапе определяют последовательность переходов. Кроме этого, проводят выбор инструмента, разделение переходов на рабочие ходы, выбор контрольных точек, определение траекторий позиционных и вспомогательных переходов, рассчитывают режимы резания, подготавливают операционные карты наладки станка и инструмента.

Этап 4.1. *Расчет траектории инструмента.* Выбирают или уточняют системы координат; определяют наладочные размеры детали; рассчитывают координаты опорных точек; разделяют проходы на ходы и шаги; строят траекторию движения инструмента; преобразуют системы координат.

Этап 4.2. *Кодирование и запись УП.* На данном этапе формируют элементарные перемещения; определяют технологические команды; пересчитывают величины перемещений в импульсы; кодируют УП; записывают УП на программноноситель; печатают текст УП.

Этап 4.3. *Контроль, редактирование и отладка УП.* На последнем этапе осуществляют контроль программносителя; контроль траектории инструмента; редактирование УП; обработку опытной детали.

Исходной документацией на первой стадии являются чертежи детали и заготовки, а на второй и третьей – задание на программирование, маршрутная и операционная карты.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите этапы проектирования технологического процесса на станках с ПУ.
2. Как определяется маршрут обработки детали?

1.16. Методы разработки маршрутных технологических процессов обработки деталей на станках с ПУ

При разработке маршрута определяется общая последовательность обработки детали с учетом используемого оборудования. При этом обработка поверхностей детали может вестись с использованием одного станка с ПУ или последовательно на нескольких станках.

Маршрутные ТП разрабатывают методом адресации или методом синтеза (рис. 1.19).

Метод адресации основан на использовании принципа унификации. В этом случае технологический процесс обработки конкретной детали назначают исходя из конструктивного по-

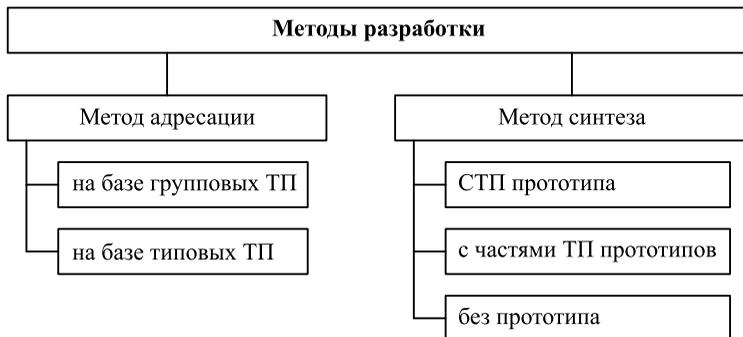


Рис. 1.19. Методы проектирования ТП

добия детали прототипу (типовые ТП) или их технологического подобия (групповые ТП).

Метод синтеза при разработке ТП пока мало формализован и поэтому сложен. Проектирование ТП методом синтеза с прототипом характерно тем, что подобранный ТП прототипа не содержит всего состава маршрута (операций, переходов), которые следует выполнять при изготовлении конкретной детали. Структуры ТП прототипа и ТП детали различаются, поэтому при разработке ТП дорабатывают (перерабатывают) типовой ТП.

Проектирование ТП без прототипа приводит к необходимости проектировать схему ТП, маршрут, операции, опираясь на общие закономерности проектирования или эвристики и исходные элементы ТП (ход, обработка элементарной поверхности и т.п.).

Разработка маршрутной технологии для станков с ПУ. Цель проектирования маршрутного ТП – определение общей последовательности выполнения операций обработки, в том числе и операций, выполняемых на станках с ПУ. Последовательность обработки должна быть увязана с оборудованием и с комплексом технологической оснастки.

На выбор последовательности обработки деталей на станках с ПУ оказывают влияние:

- форма и размеры заготовки;
- форма, вид и размеры базовых поверхностей;
- точность и качество поверхностей детали;
- требования, предъявляемые к операциям, выполняемым на станках с ПУ.

Требования к заготовкам:

- форма заготовки должна быть как можно больше приближена к форме детали;
- заготовка должна быть достаточно точной. Величина припуска должна колебаться в больших пределах;
- заготовка должна иметь незначительные колебания по твердости;
- поверхности отливки должны быть очищены от пригоревшей смеси;
- величина окалины на поверхности должна быть незначительной или заготовка должна быть очищена от окалины.

При определении последовательности обработки заготовки необходимо руководствоваться теми же принципами, которые используются при построении ТП для обычных станков с уче-

том технологических возможностей станков с ПУ и специфики обработки на них. Общие принципы следующие:

- в первую очередь обрабатывают поверхности, относительно которых задано положение большинства конструктивных элементов детали, которые принимают за базы при последующей обработке;
- остальные поверхности обрабатывают в последовательности, обратной степени их точности (чем точнее должна быть обработана поверхность, тем позже следует ее обрабатывать);
- последними обрабатывают поверхности, которые являются наиболее точными и имеют наибольшее значение для работы детали, например легкоповреждаемые поверхности (резьбы и др.);
- должен соблюдаться принцип единства баз;
- операции, где существует вероятность брака из-за дефектов в материале или сложности механической обработки, выполняют в начале процесса;
- технологический процесс целесообразно делить на три стадии обработки: черновую, чистовую и отделочную (иногда выделяют и получистовую обработку).

Назначением черновой обработки является удаление припуска под обработку. При этом возникают большие силы резания, температурные и упругие деформации технологической системы. Поэтому черновая обработка не обеспечивает выполнение высокой точности детали.

Назначением чистовой обработки является получение заданных параметров точности и шероховатости поверхности детали. При необходимости между черновой и чистовой обработками могут быть получистовые операции.

Назначением отделочной обработки является достижение повышенных параметров точности и шероховатости, заданных чертежом.

Перечисленные принципы будут справедливы также при проектировании ТП для станков с ПУ. Однако включение в маршрут операций, выполняемых на станках с ПУ, требует учета дополнительных требований. Рассмотрим некоторые из них.

1. При разработке маршрута обработки необходимо установить количество установов (положений) детали на столе или в шпинделе станка для обработки поверхностей детали. Число установов должно быть минимальным (надо стремиться к тому, чтобы все или большинство поверхностей были обработаны с од-

ного установа). Первый установ, как правило, выбирают из условия наиболее удобного базирования заготовки по «черным» или заранее подготовленным «чистым» базам. Второй и последующие установки должны предусматривать использование обработанных на предыдущих установках чистых поверхностей в качестве промежуточных баз. Таким образом, конечной задачей является поиск схемы, обеспечивающей наиболее полную обработку поверхностей детали со всех сторон наименьшим количеством установов и требуемой при этом оснастки.

2. При выборе последовательности операций следует учитывать необходимость совмещения конструкторской и технологической баз и получение технологических баз.

3. В начале обработки должны быть предусмотрены разгрузочные операции, в процессе которых снимают большие слои металла, чем исключается влияние напряжений при последующей обработке.

4. Подготовка «чистых» баз деталей, обрабатываемых на станках с ПУ, в ряде случаев выполняется на рядом расположенных универсальных станках. Для токарных станков это прежде всего подрезка торцов и центрование деталей, проточка базовых шеек. Для фрезерных и других видов обработки – фрезерование базовой плоскости и обработка базовых отверстий. В отдельных случаях одновременно с обработкой баз рекомендуется черновая обработка по простому контуру, при которой удаляется часть припуска. В условиях автоматизированного производства операции по подготовке баз и удалению части припуска выполняются, как правило, на одноинструментальных станках с ПУ, обладающих повышенной жесткостью и сравнительно невысокой точностью.

5. В процессе разработки схемы последовательности обработки поверхностей детали выполняют эскизное проектирование приспособления для базирования и закрепления заготовки на каждом установе.

6. После выяснения требуемого числа и последовательности установов определяют последовательность обработки детали по зонам. Зона образована конструктивными особенностями детали (внутренний и наружный контуры, окна, приливы и т.д.). В каждой зоне выделяют отдельные элементы (торец, внутренний контур, окна, отверстия), для которых устанавливают вид обработки (черновая, чистовая) и требуемые типоразмеры инструментов (рис. 1.20). Отдельные элементы, обрабатыва-

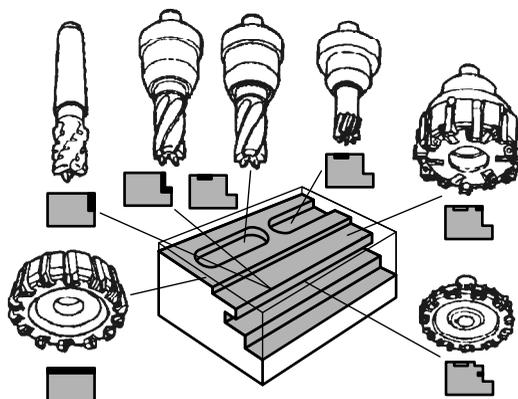


Рис. 1.20. Схема зон и расположения инструментов при фрезерной обработке детали

емые одним инструментом, группируются как внутри зоны, так и по всем зонам. Такое группирование позволяет выявить количество типоразмеров режущих инструментов для обработки всей детали и выяснить возможность обработки всех доступных зон на данном установке.

7. Последовательность обработки по зонам определяется конструкцией детали и заготовки. При установлении такой последовательности следует, где это возможно, придерживаться принципа, обеспечивающего максимальную жесткость детали на каждом участке обработки. Обработку корпусной детали с ребрами целесообразно начинать с фрезерования торцов ребер до обработки контура детали, так как ребра при этом будут более жесткими. Далее целесообразно обработать внешний контур, а потом внутренний, окна, колодцы. Внутренний контур детали следует обрабатывать от центра к периферии.

На токарных станках, когда последовательность обработки зон детали ничем не обусловлена, обработку следует начинать с более жесткой части (большого диаметра) и заканчивать зоной малой жесткости. Получистовую и чистовую обработку, для которой требуется обычно несколько инструментов, целесообразно вести на станках, имеющих магазин инструментов.

8. Последовательность обработки элементов детали, находящихся в каждой зоне, определяют на стадии проектирования операционного ТП.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите методы проектирования маршрута технологического процесса.
2. Каковы принципы разработки маршрутной технологии для станков с программным управлением?

1.17. Особенности обработки на многоцелевых станках

Обработка деталей на многоцелевых станках (МС) по сравнению с их обработкой на фрезерных, сверлильных и расточных станках имеет ряд особенностей.

Установка и крепление детали должны обеспечивать свободный доступ инструментов к обрабатываемым поверхностям, так как только в этом случае возможна многосторонняя обработка без переустановки детали.

Нередко между черновыми и чистовыми переходами необходимо проведение промежуточных операций естественного или искусственного старения, снятия внутренних напряжений и устранения деформаций заготовок, что требует перезакрепления деталей. В этом случае выполнение чистовой и черновой обработки за одну установку детали не допускается.

Изготовление деталей на МС не требует, как правило, специальной оснастки.

На МС не целесообразно использовать для обработки плоскостей фрезы большого диаметра, так как при их установке в инструментальный магазин перекрываются соседние гнезда и, как следствие, уменьшается вместимость магазина. Поэтому для фрезерования плоскостей используют фрезы небольшого диаметра и обработку производят строчками. Причем чистовое фрезерование надо проводить в направлении той координатной оси, отклонение от перпендикулярности к которой оси шпинделя минимальное (в целях уменьшения высоты ступеньки, образующейся на стыке строк).

Консольный инструмент (рис. 1.21), применяемый для обработки отверстий, должен быть коротким, что повышает его жесткость и, следовательно, точность обработки. Поэтому отверстия, лежащие на одной оси, но расположенные в параллельных стенках детали, растачивают с двух сторон, поворачивая для этого стол с деталью.

Корпусные детали часто имеют группы одинаковых поверхностей и отверстий. Чтобы упростить составление технологи-

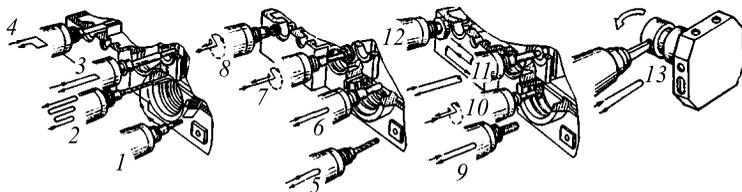


Рис. 1.21. Постоянные технологические циклы обработки, используемые на станке мод. ИР320ПМФ4:

1 – фрезерование наружного контура (с круговой интерполяцией); 2 – глубокое сверление с выходом сверла для отвода стружки; 3 – растачивание ступенчатых отверстий; 4 – обратная цековка с использованием ориентации шпинделя; 5 – сверление отверстия диаметром 30 мм; 6 – растачивание отверстия диаметром 125 мм с использованием специальной оправки; 7 – фрезерование по контуру внутренних торцов; 8 – цековка путем фрезерования по контуру (с круговой интерполяцией); 9 – нарезание резьбы (до М16); 10 – фрезерование внутренних канавок дисковой фрезой (с круговой интерполяцией); 11 – цековка отверстий, направляющих инструмент; 12 – фрезерование торцевой фрезой; 13 – обработка поверхностей типа тел вращения

ческого процесса и программы изготовления таких деталей, а также повысить производительность обработки (в результате сокращения вспомогательного времени), в память УПУ станка вводят постоянные циклы наиболее часто повторяющихся движений (при сверлении, растачивании, фрезеровании). Благодаря этому программируется только цикл обработки первого отверстия (поверхности), а для остальных – задаются лишь координаты (X и Y) их расположения.

В целях достижения высоких точности и производительности обработки при использовании максимального числа режущих инструментов рекомендуются следующие технологические приемы: при обработке литых отверстий диаметром свыше 60 мм фрезеруют (концевыми фрезами) контур отверстия и оставляют минимальный припуск (до 0,5 мм) под последующее чистовое растачивание; при обработке литых отверстий небольшого диаметра лучше использовать расточные резцы, установленные в борштанге, а не зенкер, так как в последнем случае из-за неравномерного припуска ось отверстия может быть смещена.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите особенности многоцелевых станков.
2. Какой инструмент применяется для обработки отверстий?

1.18. Виды обработки в машиностроении

В машиностроении большинство деталей получают свою окончательную форму и размеры в результате обработки заготовки резанием. Наряду с обработкой заготовок резанием применяют обработку давлением, анодно-механическую, электроискровую, ультразвуковую, термическую и электрохимическую.

Обработку резанием разделяют на черновую, чистовую и отделочную. Назначение черновой обработки – снятие наибольшего слоя припуска с поверхности заготовки. Точность и параметры шероховатости обработанной поверхности получаются низкими. Чистовой обработкой достигают точности 3 и 4-го классов и шероховатости поверхности до $Ra1,25$ мкм. Если необходима точность 1–2-го класса и шероховатость поверхности ниже $Ra1,25$ мкм, то после чистовой применяют отделочную обработку. К методам отделочной обработки относятся: тонкое точение, тонкое фрезерование и шлифование, хонингование, суперфиниширование, притирка, полирование. Некоторые методы отделочной обработки уменьшают только шероховатость поверхности, не повышая точности (например, полирование и суперфиниширование).

Обработка давлением основана на использовании пластических свойств металлов, т.е. способности металлов под действием большого давления деформироваться и принимать иную форму. К обработке давлением относятся: холодная высадка, накатывание внешних поверхностей, резьб и зубчатых колес, раскатывание отверстий и др. Холодной высадкой, например, изготавливают заклепки, винты, болты, гайки из низкоуглеродистых и низколегированных сталей и цветных сплавов. Холодной высадкой можно получить и детали более сложных форм, применяя несколько переходов, т.е. в два-три удара и многоручьевые штампы.

Для повышения износостойкости и предела выносливости деталей машин применяют накатывание и раскатывание роликами, дорнование отверстий, дробеструйный наклеп. Накатывание роликами применяют также в качестве отделочной обработки. Этот процесс уменьшает шероховатость поверхности путем смятия выступающих неровностей.

Анодно-механическая обработка заключается в разрушении поверхностных слоев металла под действием электрического тока на обрабатываемую поверхность через электролит. При

этом способе обработки электрод-инструмент делается в виде диска, вращающегося вокруг своей оси. В пространство между обрабатываемой заготовкой и диском или металлической лентой подают электролит – жидкое стекло. Электрод-инструмент и заготовка присоединены к генератору постоянного тока. Под действием тока электролит растворяет металл, образуя на поверхности заготовки тонкую пленку пониженной прочности, легко соскабливаемую диском или металлической лентой. Через промежутки между вершинами выступов поверхностей и диском проскакивает искра, вследствие чего добавочно удаляется слой металла с поверхности заготовки.

Электроэрозионная обработка основана на использовании электрической эрозии. Искровой электрический разряд получается замыканием и размыканием цепи в короткие промежутки времени. Инструмент и заготовка включается в цепь разрядного контура, и при замыкании цепи импульс тока направленно выбрасывает частицы металла от заготовки, являющейся анодом, к инструментам, являющимся катодами. Процесс ведется в жидкой среде – диэлектрике (керосин и др.), чтобы частицы металла, оторвавшиеся от заготовки, не долетали до инструмента. Электроэрозионную обработку применяют для изготовления детали любой твердости только из проводящих материалов, получения цилиндрических отверстий диаметром в десятой доли миллиметра и поверхностей сложного контура.

Для обработки ультразвуком используют упругие волны, имеющие частоту свыше 16,5 кГц. В качестве излучателя применяют магнитострикционную головку. Под действием магнитного поля длина детали из никеля уменьшается, а длина детали из железа и кобальта увеличивается; при снятии поля первоначальная длина их восстанавливается. Это свойство некоторых металлов, называемое магнитострикцией, использовано для получения ультразвуковых колебаний. Колебания вибратора через присоединенный к нему инструмент могут быть переданы любой среде; такой средой является абразивная жидкость (смесь масла с абразивным порошком), подаваемая под торцовую поверхность инструмента, если абразив будет удалять по нему с большой силой и снимать металл. Ультразвуком можно обрабатывать отверстие любого профиля в заготовках из различных материалов.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем сущность обработки металлов резанием?
2. На чем основана обработка давлением?
3. Приведите основные характеристики анодно-механической обработки.

1.19. Технологичность конструкции изделий

При современном уровне машиностроения разработка конструкции изделия должна базироваться как на удовлетворении требований служебно-эксплуатационного характера, так и производственных требований, обусловленных возможностью применения высокопроизводительных и рентабельных технологических процессов с учетом конкретных условий и объема производства. Однако машина, сборочная единица или деталь, сконструированные без учета требований технологии их изготовления, могут оказаться неэкономичными. Поэтому при разработке конструктивных форм машины, сборочных единиц и деталей необходимо учитывать требования технологии их наиболее экономичного изготовления. Под технологичностью конструкции понимают соответствие конструкции требованиям минимальной трудоемкости и материалоемкости.

Технологичность конструкции – совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий работ (ГОСТ 14.205–83).

Оценка технологичности конструкции осуществляется на уровне изделий, сборочных единиц и деталей.

Цель повышения технологичности конструкции детали – повышение производительности труда и качества изделия при максимальном снижении затрат времени и средств на разработку, технологическую подготовку производства, изготовление, эксплуатацию и ремонт.

Единый критерий технологичности конструкции изделия – экономическая целесообразность при заданном качестве и принятых условиях производства, эксплуатации и ремонта.

Обработка конструкции на технологичность должна обеспечивать:

- снижение трудоемкости и себестоимости изготовления изделия;

- снижение трудоемкости, цикла и стоимости работ по обслуживанию изделия при эксплуатации.

Правила выбора показателей технологической конструкции изделия (ГОСТ 14.205–83) направлены на повышение производительности труда, снижение затрат и сокращение времени на проектирование, технологическую подготовку производства, изготовление, техническое обслуживание и ремонт изделия при обеспечении его необходимого качества. Различают такие виды технологичности деталей, как производственная и эксплуатационная. *Производственная технологичность* конструкции заключается в сокращении затрат средств и времени на конструкторскую и технологическую подготовку производства и процессы изготовления, контроля и испытаний. *Эксплуатационная технологичность* конструкции заключается в сокращении затрат времени и средств на техническое обслуживание и ремонт изделия.

Наиболее важные показатели технологичности конструкции машины (трудоемкость ее изготовления, удельная материалоемкость, коэффициент использования материала, технологическая себестоимость) могут быть определены путем сравнения отношения трудоемкости изготовления данной машины к трудоемкости изготовления машины других конструктивных вариантов в сопоставимых производственных условиях. Трудоемкость и материалоемкость изготовления машины зависит не только от конструкции, но и от выбранного технологического процесса, его оснащения и режима обработки.

Общую трудоемкость изготовления машин определяют, суммируя трудоемкости изготовления отдельных ее деталей, сборочных единиц и машины в целом, поэтому технологичность конструкции машины можно рассматривать как сумму технологичности конструкции ее отдельных деталей сборочных единиц.

Конфигурация детали должна быть такой, чтобы для ее изготовления можно было использовать высокопроизводительные технологические методы и выбрать удобную базу для установки заготовки в процессе обработки. Заданные точность и шероховатость поверхностей заготовки или детали должны быть обоснованы ее служебным назначением, так как завышенные требования по точности и шероховатости вынуждают вводить дополнительные операции, удлиняют цикл обработки, увеличивают трудоемкость процесса обработки и повышают

себестоимость детали. Стандартизация и унификация деталей и их элементов способствует уменьшению трудоемкости процессов производства и снижению себестоимости деталей в связи с увеличением серийности выпуска и унификацией станочных наладок.

Требования, предъявляемые к заготовительным процессам, следующие. В крупносерийном и массовом производстве применение специального профильного и периодического проката в значительной степени сокращает, а часто и исключает обработку резанием.

Свободной ковкой изготавливают заготовки простой формы. Заготовки сложной формы целесообразно изготавливать с помощью сварки и простых элементов. При конструировании штампов, получаемых на молотках и прессах, геометрическая форма их должна обеспечивать возможность свободного извлечения из штампа. Выемки и углубления в заготовках необходимо выполнять в направлении движения штампов. Боковые поверхности должны иметь штамповочные уклоны 2–12 при наличии выталкивателей. Переходы от одной поверхности к другой должны осуществляться с закруглениями. Острые углы на заготовках по условиям горячей штамповки недопустимы. Радиусы закруглений внутренних углов должны быть больше радиусов закругления наружных углов во избежание брака при штамповке и для повышения стойкости штампа. Форма заготовки не должна вызывать боковое смещение штампа. Из-за несимметричности скосов заготовки возникает сдвиг штампов и брак продукции. Направление волокон в материале заготовки целесообразно совмещать с ее продольной осью. Конструкция заготовки должна, как правило, допускать разъем штампов по плоской поверхности. Нежелателен разъем поломанной поверхности. В плоскости разъема должны находиться наибольшие габаритные размеры заготовки, так как при этом обеспечиваются минимальные глубины полости штампов и их наилучшее заполнение металлом.

При конструировании отливок способ литья выбирают с учетом материала заготовки, ее конфигурации, требуемой точности, программы выпуска и сроков выполнения заказа. Прием среднюю себестоимость изготовления отливок из серого чугуна за 1, тогда для других материалов эта величина составит: 1,3 — для ковкого чугуна; 1,6 — для углеродистой стали; 3–6 — для цветных металлов. Конфигурация отливки должна обеспе-

читать возможность беспрепятственного извлечения модели из формы и стержней из стержневых ящиков. Необходимо предусматривать формовочные уклоны вертикальных поверхностей отливки, выбирая их величину в зависимости от высоты поверхности. Для внутренних поверхностей отливок принимают уклон большей величины, чем для наружных. При конструировании отливок следует учитывать их усадку, торможение, создаваемое формой и стержнями, и торможение, возникающие вследствие разной скорости остывания частей отливки. Следует предусматривать по возможности равномерное охлаждение отливки и допускать ее свободную усадку. Конфигурация отливки должна обеспечивать возможность отрезания прибыли, литников и выпоров, выбивки стержней и удаления каркасов. На чертежах отливок указывают базовые поверхности, которыми будут пользоваться при обработке заготовок резанием. При назначении толщины стенок отливок учитывают размер и массу отливки, применяемый для литья металл и метод литья.

В результате уменьшения протяженности обрабатываемых поверхностей при обработке резанием и повышения точности следует сокращать ее объем и предусматривать допуски на размеры детали только для посадочных поверхностей, совмещение установочных и измерительных баз и возможность надежного и удобного закрепления заготовки на станке. При обработке маложестких заготовок приходится снижать режимы резания и воздерживаться от одновременного использования нескольких режущих инструментов при совмещении переходов. Необходимо предусматривать удобный подвод режущего инструмента к обрабатываемой поверхности и сокращать путь врезания инструментов, возможность эффективного технического контроля обрабатываемых поверхностей заготовки, свободный выход режущего инструмента при обработке на проход.

В деталях необходимо предусматривать сквозные отверстия, так как обрабатывать их значительно легче, чем глухие. Расстояние между отверстиями назначать, учитывая возможности применения многошпиндельных сверлильных головок. Во избежание поломки сверл при сверлении поверхности на входе и выходе инструмента должны быть перпендикулярны оси.

При обработке ступенчатых отверстий, расположенных на одной оси, рекомендуется последовательно уменьшать размеры отверстий на величину, превышающую припуск на обработ-

ку предшествующего отверстия. При сверлении отверстий в пазах назначать их диаметры меньше ширины пазов на 0,5...1 мм.

При образовании внутренних резьбовых поверхностей нарезаемом отверстии рекомендуется делать заходную фаску. При нарезании резьбы метчиком в глухом отверстии без канавок размеры сбег резбывы устанавливают в три нитки для деталей из чугуна и в пять ниток для деталей из стали.

Деталь должна быть нормализована. В крупных заготовках не следует нарезать резьбы малого диаметра (≤ 6 мм) из-за частой поломки метчиков.

Форма обрабатываемых плоских поверхностей в плане должна обеспечивать съем стружки равномерно и без ударов. Ширину поверхностей нужно назначать с учетом нормального ряда диаметров торцовых или длин цилиндрических фрез и предусматривать обработку поверхностей на рабочий ход. Плоские поверхности, подлежащие обработке, желательно располагать выше примыкающих элементов, что позволяет вести обработку на проход. Размеры фрез необходимо выбирать в зависимости от радиусов вогнутых и выпуклых поверхностей. Пазы и гнезда должны допускать обработку на проход; предпочтительны пазы, которые можно обрабатывать дисковыми, а не концевыми фрезами.

Контрольные вопросы и задания

1. Что понимается под технологичностью конструкции?
2. Приведите наиболее важные показатели технологичности конструкции машины.

1.20. Виды технологичности

Виды технологичности определяются признаками, характеризующими область ее проявления. По области проявления различают производственную и эксплуатационную технологичность.

Производственная технологичность проявляется в сокращении средств и времени на конструкторскую и технологическую подготовку производства, процессы изготовления, в том числе контроля и испытаний.

Эксплуатационная технологичность конструкции изделий проявляется в сокращении времени и средств на техническое обслуживание и ремонт изделия.

Увеличением технологичности конструкции можно увеличить выпуск продукции при тех же средствах производства, трудоемкость сократить на 15...20% и более, себестоимость их изготовления на 5...10%. Недооценка технологичности конструкции часто приводит к необходимости корректирования рабочих чертежей после их составления, удлинению сроков подготовки и дополнительным издержкам производства.

Понятие технологичности конструкций распространяется не только на область производства, но и на область их эксплуатации. Конструкция машин должна быть удобной для обслуживания и ремонтпригодной, так как затраты на все виды ремонта часто превышают затраты на изготовление новых изделий (стоимость изделия.) Повышение ремонтпригодности изделия обеспечивается легкостью и удобством разборки и сборки, осуществлением принципа узловой смены и узлового ремонта элементов изделия, а также возможностью восстановления наиболее сложных деталей.

При конструировании машин необходимо предусматривать возможность использования технологических методов, обеспечивающих повышение надежности.

В настоящее время работа по улучшению технологичности конструкции изделия ведется в различных отраслях машиностроения. На основе обобщения и систематизации накапливаемых данных для конструкторов многими организациями создаются соответствующие нормативы, справочные и руководящие технические материалы.

Отработка конструкции изделия на технологичность осуществляется на всех стадиях разработки конструкторской документации, начиная с эскизного проекта до разработки рабочей документации для изготовления и испытания установочных серий и серийного или массового производства.

Исполнителями отработки конструкции на технологичность являются разработчики конструкторской и технологической документации, обеспечивающие технологичность конструкции изделия при его проектировании и осуществляющие как технологический контроль, так и подготовку, и внесение изменений по ГОСТ 2.503–68 в конструкторскую документацию.

При обработке технологичности конструкции на стадии *эскизного проекта* производят:

- выбор наиболее простой принципиальной схемы;
- установление (по возможности) базовой конструкции, которая должна быть положена в основу проектируемого изделия;
- унификацию сборочных единиц и основных деталей для проектируемого находящегося в производстве изделия;
- разбивку изделия на самостоятельные сборочные единицы;
- обеспечение технологичности оригинальных деталей;
- выбор рациональных заготовок для оригинальных деталей.

На стадии *технического проекта* определяется конструкция изделия и его сборочных единиц, а также конструктивная форма всех деталей. На этой стадии решаются основные вопросы технологичности заготовок, механической обработки и сборки:

- выбор наиболее простой конструкции сборочных единиц и деталей;
- выбор баз сборки;
- определение и расчет важнейших размерных цепей;
- обеспечение требований технологичности сборки (разбивка конструкции на самостоятельные замкнутые сборочные единицы);
- обеспечение технических требований механической обработки;
- обеспечение выполнения технологических требований, предъявляемых к форме и основным размерам заготовок.

На стадии *разработки рабочей документации* проводят доработку по всем вопросам технологичности конструкции каждой детали и всего изделия в целом, особое внимание обращается:

- на выбор технологических баз деталей (в соответствии с конструктивными базами и базами сборки);
- проверку правильности простановки размеров и назначения оптимальных допусков на основе размеров анализа и удовлетворения конструктивных и производственно-технологических требований;
- выбор наиболее дешевых и недефицитных материалов;
- ограничение номенклатуры применяемых профилей материалов;
- проверку соблюдения всех требований, предъявляемых к оформлению элементов конструкции заготовок (толщина стенок, радиусы переходов, уклоны, линии разреза и т.п.);

- проверку соблюдения требований, предъявляемых к технологичности элементов конструкции при механической обработке (доступность обработки, возможность входа и выхода инструментов, наличие надежных поверхностей для крепления деталей при механической обработке и т.д.);

- максимальную унификацию элементов конструкции (диаметров, резьб, шлицевых соединений, модулей и т.д.).

При изготовлении опытных образцов (опытной партии) конкретизируются условия обеспечения требований технологичности, в том числе и использование типовых технологических процессов и средств технологического оснащения с учетом вида и масштаба производства.

При подготовке к выпуску установочной серии проверяется технологичность заготовок и оригинальных деталей с учетом применения минимально необходимого количества оснастки для их изготовления; при этом в чертежи должны быть внесены необходимые исправления ошибок, выявленных при испытании опытного образца.

При подготовке к серийному или массовому производству окончательно проверяется технологичность конструкции в соответствии с разрабатываемым рабочим технологическим процессом.

При тщательной обработке чертежей на предыдущих этапах исправления ошибок, выявленные при составлении рабочей документации, будут относительно невелики и коснутся главным образом простановки размеров.

Контрольные вопросы и задания

1. Какими признаками определяются виды технологичности?
2. Приведите перечень основных вопросов технологичности заготовок, механической обработки и сборки.

1.21. Общие требования к технологичности конструкций деталей

Требования к технологичности конструкций деталей определяются методами обработки заготовок, применяемыми приемами обработки, оснасткой, а также типом производства. Основные требования нижеследующие.

1. Конфигурация детали должна представлять собой сочетание простых геометрических форм, обуславливающих применение высокопроизводительных технологических процессов, и предусматривать удобную, надежную базу для установки заготовки в процессе ее обработки.

2. Заданные точность и шероховатость поверхности детали должны быть обоснованы ее служебным значением. Необоснованно завышенные требования к точности и шероховатости вынуждают вводить дополнительные операции, удлиняют цикл обработки, увеличивают трудоемкость процесса обработки, повышают себестоимость.

3. Стандартизация и унификация деталей и их элементов уменьшает трудоемкость и себестоимость их изготовления в связи с увеличением серийного выпуска и унификаций станочных наладок (унификация – сокращение числа объектов одинакового функционального назначения).

Требования к технологичности классифицируются по видам технологичности операций:

- заготовительных;
- механической обработки;
- термической и химико-термической обработки, а также методов упрочняющей обработки;
- сборочных операций.

Технологичность конструкции изделия – понятие относительное. Для одной и той же машины она будет разной для различных типов производства. Изделие технологичное в единичном производстве может быть малотехнологичным в поточном и совершенно нетехнологичным в поточно-автоматизированном производстве.

Технологичность конструкции одного и того же изделия будет разной для заводов с различными производственными возможностями. Если в единичном производстве используют станки с ПУ или другое переналаживаемое оборудование, то характеристика технологичности конструкций выпускаемых изделий может измениться по сравнению с условиями единичного производства, оснащенного универсальным оборудованием без ПУ. Развитие техники и технологии изменяет уровень технологичности конструкции. Ранее нетехнологичные конструкции могут стать технологичными при новых методах обработки.

Технологичность конструкции изделия – понятие комплексное. Оно рассматривается во взаимной связи и с учетом усло-

вий выполнения заготовительных процессов, процессов механической обработки, сборки и контроля. Отработанная на технологичность конструкция заготовки не должна усложнять последующую механическую обработку. В то же время отработке на технологичность в конструкции детали следует производить не только в целях упрощения механической обработки, но и с учетом выполнения заготовительных процессов и сборки, стремясь получить минимальную себестоимость и трудоемкость изготовления машины в целом.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие требования предъявляются к технологичности конструкций деталей?
2. Классифицируйте технологичность по видам технологичности операций.

1.22. Общие требования заготовительных операций к технологичности конструкции

В крупносерийном и массовом производстве применение специального профильного и периодического проката сокращает, а часто исключает механическую обработку. Специальный профильный прокат как исходный материал уменьшает трудоемкость процесса горячей штамповки заготовок.

При выполнении заготовок свободной ковкой желательны простые, симметричные и прямые формы.

Следует избегать пересечения цилиндрических элементов между собой и цилиндрических элементов с призматическими; ребристых сечений, бобышек и выступов на основных поверхностях поковок.

Нежелательны конусообразные и клиновые формы. Детали сложной формы, не поддающиеся упрощению в цельном виде, целесообразно заменять сварными конструкциями из простых элементов.

При *конструировании штамповок*, получаемых на молотах и прессах, рекомендуется руководствоваться нижеследующими указаниями.

1. Геометрическая форма заготовок должна обеспечивать возможность их свободного извлечения из штампа.

2. Боковые поверхности должны иметь уклоны (для наружных поверхностей $5...15^\circ$, для внутренних $7...15^\circ$).

3. Переходы от одной поверхности к другой следует осуществлять с закруглением. Не допускать острых углов.

4. Конструкция заготовки должна допускать разъем штампов по плоскости (не желательно разъем по ломаной линии или криволинейной поверхности).

5. Выступы в ребра не должны быть близко расположены друг к другу, так как это затрудняет течение металла и заполнение полостей штампа.

При холодной высадке применяют калиброванный прокат. Высаживаемые элементы должны иметь простую форму при минимальном объеме и диаметре.

При листовой штамповке конструкция заготовки должна иметь минимальный отход металла при раскройке (рис. 1.22). Для этого контур одной заготовки должен быть по возможности точной копией другой ее стороны.

Минимальная ширина заготовки должна быть для мягкой стали в 1,5 раза толще материала.

При *конструировании отливок* рекомендуется руководствоваться нижеследующими указаниями.

1. Конфигурация отливки должна обеспечивать возможность беспрепятственного извлечения модели из формы и стержней из стержневых ящиков. С этой целью необходимо предусматривать формовочные уклоны вертикальных поверхностей отливки, выбирая их величину в зависимости от высоты поверхности.

2. Избегать значительных по размерам горизонтальных поверхностей, занимающих верхнее положение при заливке, так как на этих плоскостях могут возникать газовые раковины.

3. Предусматривать равномерное охлаждение всех сечений отливки и допускать ее свободную усадку. С возникновением

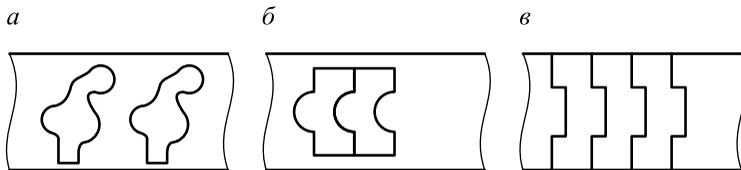


Рис. 1.22. Схемы раскрой при листовой штамповке:
а – нетехнологично; б, в – технологично

остаточных напряжений связано коробление отливок и появление трещин.

4. На чертежах отливок отмечать базы, которыми будут пользоваться при механической обработке.

5. При назначении толщины стенок отливок необходимо учитывать размер и массу отливки, применяемый для литья материал и метод литья. Внутренние стенки отливки должны быть на 20% тоньше наружных.

6. При литье по выплавляемым моделям из-за малой жесткости керамических материалов литейной формы следует:

- избегать в заготовке поверхностей большой протяженности;
- выдерживать одинаковую толщину стенок;
- избегать глухих отверстий.

7. При литье в оболочковые формы должна быть одна плоскость разъема. Следует выдерживать равную толщину стенок и избегать объемных частей и стержней.

8. При литье в кокиль толщина стенок должна быть по возможности одинаковой и конструкция отливки – удобной для ее удаления из формы.

Контрольные вопросы и задания

1. Какими указаниями рекомендуется руководствоваться при конструировании штамповок?
2. Назовите требования, предъявляемые к конструированию отливок.

1.23. Общие требования механической обработки к технологичности конструкции

Общие требования, предъявляемые к *конструктивному оформлению деталей машин*, формулируются следующим образом.

1. Сокращать объем механической обработки, уменьшая протяженность обрабатываемых поверхностей. Предусматривать допуски только на размеры поверхностей сопряжения (рис. 1.23).

2. Обеспечивать точные и надежные базы.

3. Предусматривать простановкой размеров совмещение технологических и измерительных баз.

4. Обеспечивать достаточную жесткость детали.

5. Предусматривать возможность удобного подвода высокопроизводительного инструмента к обрабатываемой поверхности. Сокращать путь врезания инструмента.

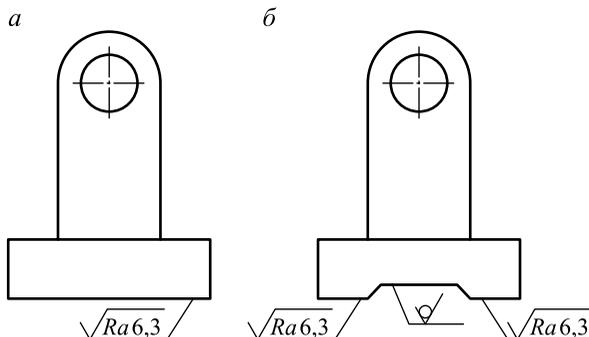


Рис. 1.23. Нетехнологичная (а) и технологичная (б) конструкции с точки зрения объема механической обработки

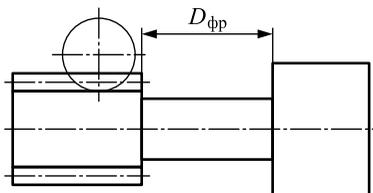


Рис. 1.24. Технологичность конструкции с точки зрения обеспечения свободного выхода инструмента

6. Предусматривать свободный выход режущих инструментов при обработке на проход (рис. 1.24).

7. Предусматривать возможность удобного технического и эффективного контроля обрабатываемых заготовок.

8. Конструировать детали с учетом возможности одновременной установки нескольких деталей при обработке.

1.24. Технологические требования к элементарным поверхностям деталей машин

Ступенчатые поверхности должны иметь минимальный перепад диаметров. При больших перепадах применяют высадку головок, фланцев или используют составные конструкции для уменьшения объема обработки резанием и расхода металла. Не рекомендуется делать кольцевые канавки на торцах, особенно со стороны стержня (рис. 1.25, а), так как они трудоемки в об-

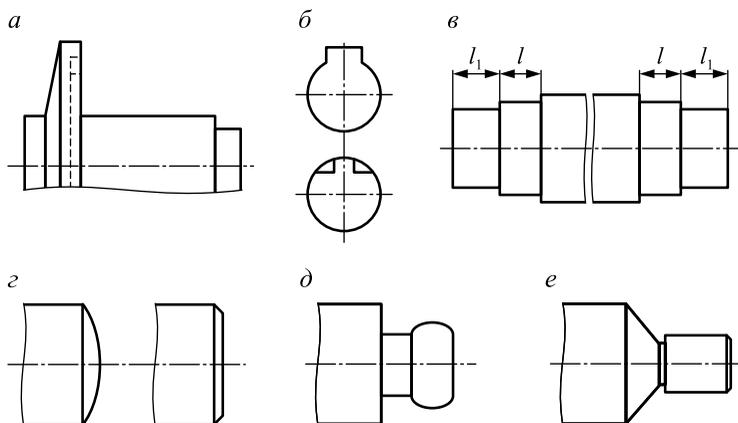


Рис. 1.25. Технологические требования к наружным поверхностям деталей тел вращения

работке, и выступы, не вписывающиеся в контур поперечного сечения детали (рис. 1.25, б). Элементы тел вращения унифицируют для использования одних и тех же многолезцовых накладок (рис. 1.25, в). Рекомендуется заменять переходные поверхности фасками (рис. 1.25, г). Сферические выпуклые поверхности делают со срезом перпендикулярно оси (рис. 1.25, д), в местах сопряжения точных поверхностей предусматривают выход инструмента (рис. 1.25, е).

Основные рекомендации по обработке *отверстий* ниже следующие.

1. Во избежание поломки сверл поверхности на входе и выходе инструмента должны быть перпендикулярны к оси отверстия (рис. 1.26).

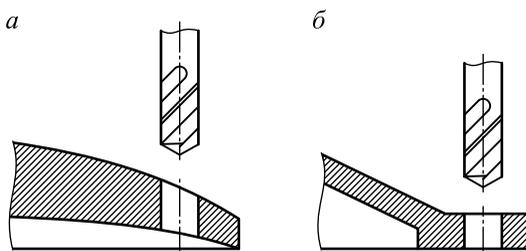


Рис. 1.26. Требования к расположению поверхностей отверстий:
а – нетехнологично; б – технологично

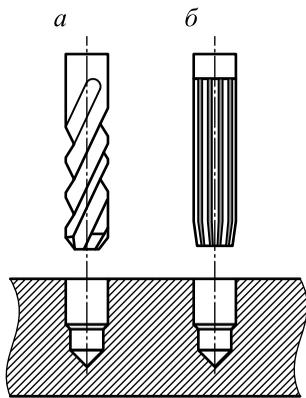


Рис. 1.27. Требования к технологичности глухих отверстий:
a – зенкерование; *б* – развертывание

2. Необходимо предусматривать сквозные отверстия, так как их обработка значительно легче обработки глухих отверстий.

3. Конструкция глухих отверстий должна быть увязана с конструкцией применяемого осевого инструмента, например зенкера (рис. 1.27, *a*) или развертки (рис. 1.27, *б*).

4. Ось отверстия должна располагаться от вертикальной стенки детали не ближе определенного расстояния:

$$A \geq \frac{D}{2} + R,$$

а для отверстий под соединительные болты

$$A \geq \frac{D_{\Gamma}}{2} + R,$$

где D – диаметр отверстия; D_{Γ} – диаметр описанной окружности гайки; R – радиус переходной поверхности к поверхности фланца (рис. 1.27).

5. Расстояние между отверстиями необходимо назначать с учетом возможности применения многошпиндельных сверлильных головок; унифицировать расположения и размеры отверстий во фланцах в целях применения многошпиндельных головок.

6. Количество отверстий во фланцах выбирать таким, чтобы можно было сверлить их многошпиндельной головкой.

7. Для одновременной обработки нескольких отверстий, расположенных на одной оси, рекомендуется последовательно уменьшать размеры отверстий на величину, превышающую припуск на обработку предыдущего отверстия (ступенчатое расположение отверстий).

8. При сверлении отверстий в пазах назначать их диаметр меньше ширины пазов на 0,5...1,0 мм.

9. У дна глухих отверстий предусматривать канавку для выхода инструмента.

10. Избегать отверстий с непараллельными осями (рис. 1.28), а также глухих отверстий, пересекающихся с внутренними полостями (рис. 1.29–1.31), предпочтительнее делать сквозное отверстие с заглушкой.

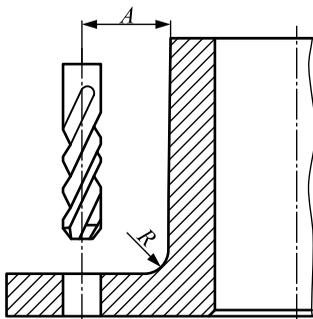


Рис. 1.28. Требования к технологичности расположения оси отверстий относительно вертикальной стенки заготовки

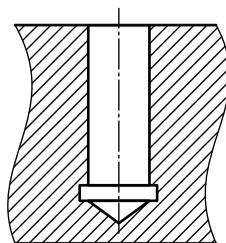


Рис. 1.29. Требования к технологичности конструкции глухих отверстий

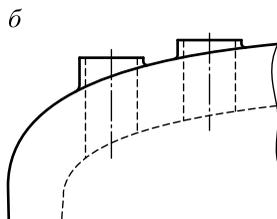
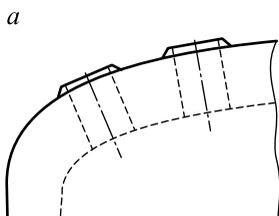


Рис. 1.30. Требования к технологичности расположения осей отверстий:
а – нетехнологично; б – технологично

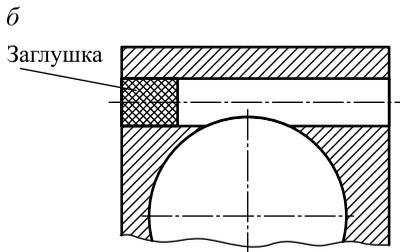
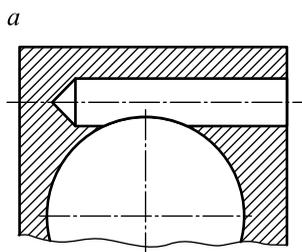


Рис. 1.31. Требования к технологичности пересекающихся отверстий:
а – нетехнологично; б – технологично

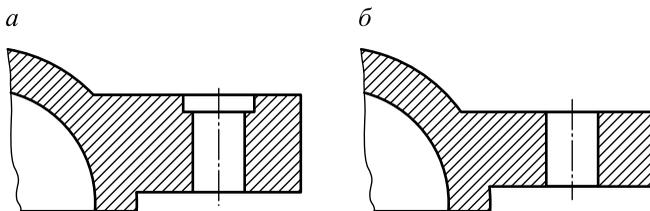


Рис. 1.32. Требования к технологичности цекуемых концов отверстий:
a – нетехнологично; *б* – технологично

11. Цекование торцов отверстий лучше делать точением или фрезерованием (рис. 1.32).

12. Избегать растачивание канавок в отверстиях, обрабатываемых на сверлильных и агрегатных станках, так как это усложняет обработку (рис. 1.33).

Основные рекомендации по обработке *резьб* нижеследующие.

1. Рекомендуется на нарезаемом отверстии применять заходную фаску (рис. 1.34).

2. Резьба должна быть нормализована не только для данной машины, но и для всего завода или данной отрасли промышленности.

3. Следует избегать применения резьб малого диаметра (≤ 6 мм) в круглых деталях ввиду частой поломки метчиков при механическом нарезании таких резьб.

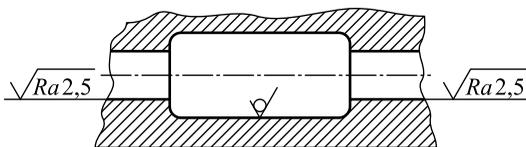


Рис. 1.33. Требования к технологичности канавок в отверстиях

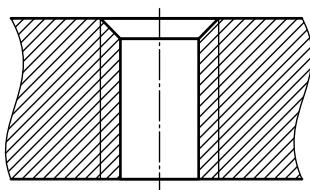


Рис. 1.34. Требования к технологичности заходной фаски на нарезаемом отверстии

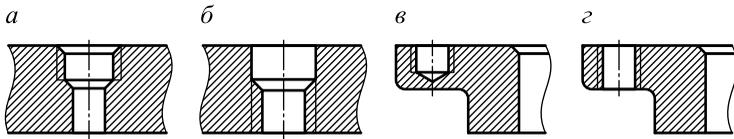


Рис. 1.35. Требования к технологичности резьб в отверстиях:
а, в – нетехнологично; б, г – технологично

4. При нарезании резьбы на концах валиков надо предусматривать сбеги резьбы.

5. Конструкция отверстия с резьбой должна давать возможность работать резьбовым инструментом на проход (рис. 1.35).

Основные рекомендации по обработке *плоскостей* ниже следующие.

1. Конфигурация обрабатываемых плоскостей в плане должна обеспечить равномерный и безударный сьем стружки.

2. Размеры плоскости (ширину) необходимо увязывать с нормальным рядом диаметров торцов или длин цилиндрических фрез.

3. Необходима предварительная обработка плоскостей на проход (рис. 1.36, а).

4. В случае, когда не предусмотрен выход для режущего инструмента, переходная часть обрабатываемых плоскостей должна соответствовать размерам и виду поверхностей режущего инструмента (рис. 1.36, б).

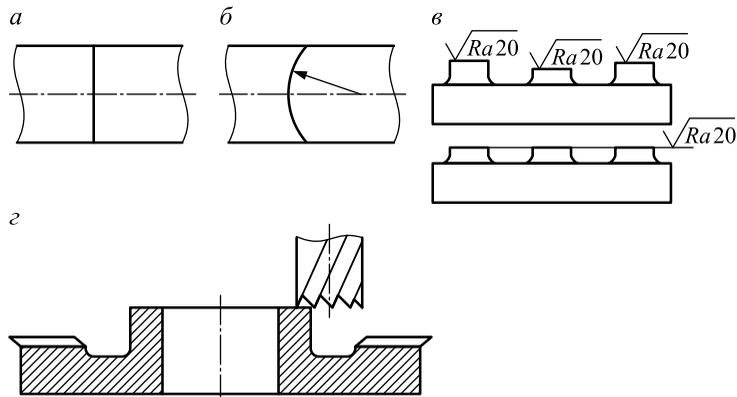


Рис. 1.36. Требования к технологичности конструкции плоских поверхностей при обработке плоскости на проход

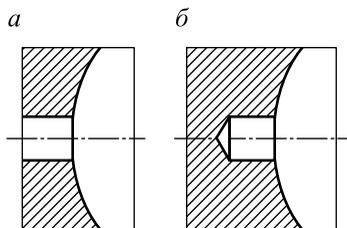


Рис. 1.37. Требования к технологичности конструкции вогнутой сферической формы:

a – сквозное отверстие; *б* – глухое отверстие

5. Плоскости бобышек и площадок на деталях следует располагать на одном уровне (рис. 1.36, *в*). При этом необходимо избегать обработки закрытых площадок (внутри корпусных деталей).

6. Обрабатываемые плоскости желательно располагать выше примыкающих элементов (ребер, выступов), это облегчает обработку на проход (рис. 1.36, *г*).

Основные рекомендации по обработке *фасонных поверхностей* нижеследующие.

1. Радиусы вогнутых и выгнутых поверхностей увязывают с размерами нормальных фрез.

2. Конструкция вогнутой сферической поверхности должна предусматривать сквозное или глухое отверстие, чтобы при ее обработке не было нулевых скоростей резания (рис. 1.37).

Основные рекомендации по обработке *пазов и гнезд* нижеследующие.

1. Пазы должны по возможности допускать обработку на проход.

2. Предпочтительны пазы, обрабатываемые дисковыми, а не концевыми фрезами (рис. 1.38).

3. Глубину и ширину пазов выбирают в соответствии с размерами нормальных пазовых фрез.

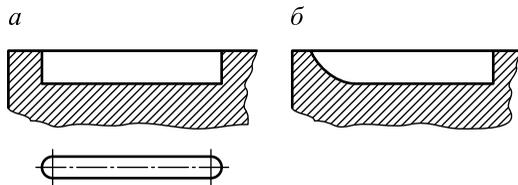


Рис. 1.38. Требования к технологичности формы пазов:

a – нетехнологично; *б* – технологично

4. Радиусы закруглений у гнезд выемок должны быть одинаковыми по всему контуру обрабатываемой поверхности и соответствовать размерам нормальных пазовых фрез (рис. 1.39). Приведенные правила и рекомендации носят общий характер. Для деталей, обрабатываемых на станках с ПУ, агрегатных станках, автоматических линиях, существуют дополнительные рекомендации.

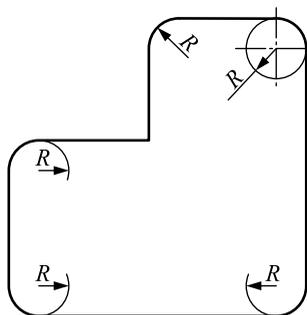


Рис. 1.39. Требования к технологичности радиусов закруглений гнезд выемок

Основные рекомендации по обработке *корпусных деталей* нижеследующие.

1. Корпусные детали должны иметь хорошо развитые опорные технологические базы, обеспечивающие надежное жесткое крепление детали в процессе механической обработки с расположением этих баз в одной плоскости.

2. При наличии соосных отверстий на нескольких осях целесообразно предусматривать убывание диаметров отверстий в одном направлении на всех осях. Отверстия детали (рис. 1.40) можно обрабатывать только с поворотом детали, сначала обрабатывают отверстия, расположенные на одной оси, после поворота — отверстия, расположенные на другой оси. Поворот дета-

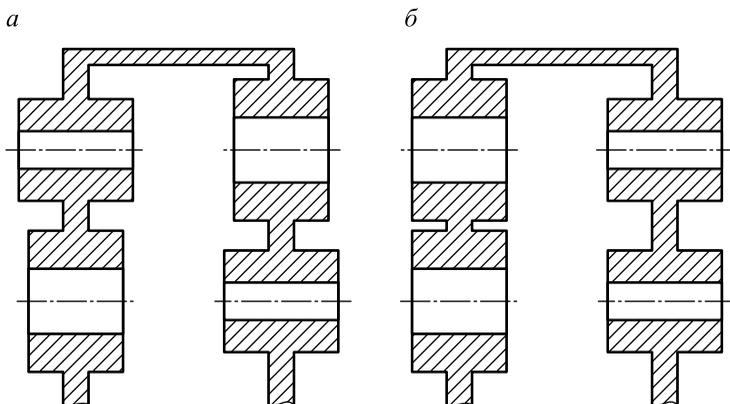


Рис. 1.40. Требования к технологичности конструкций соосных отверстий: а — нетехнологично; б — технологично

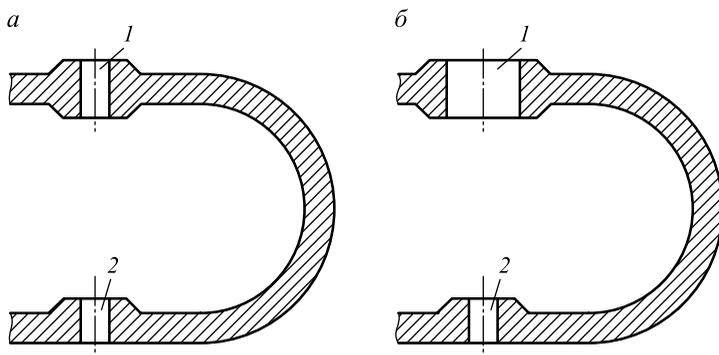


Рис. 1.41. Требования к технологичности конструкций внутренних торцовых поверхностей:

a – нетехнологично; *б* – технологично

ли увеличивает погрешность в относительном расположении отверстий. В технологичной конструкции этот недостаток устранен.

3. Внутренние торцовые поверхности должны быть легко доступны для обработки (рис. 1.41). Внутренний торец 2 обрабатывается через отверстие 1 зенкером, насаживаемым на оправку, что при небольшом отверстии 1 менее производительно. С увеличением диаметра отверстия указанный торец можно обрабатывать на предварительно настроенном станке с высокой производительностью.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие требования предъявляются к поверхностям деталей машин?
2. Приведите основные рекомендации по обработке: отверстий, резьб, плоских поверхностей, корпусных изделий и пазов.

Глава 2. ОБРАБОТКА ОСНОВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

2.1. Классификация методов обработки поверхностей

Методы обработки поверхностей классифицируются следующим образом:

- по природе воздействия – обработка механическая, электрическая, светолучевая, плазменная, комбинированная;
- по характеру воздействия – обработка с частичным удалением материала заготовки, обработка с частичным перераспределением материала заготовки за счет его пластического деформирования;
- по обработке с нанесением (присоединением) материала на заготовку – обработка комбинированными способами воздействия;
- по динамике процесса формообразования – обработка предварительная, чистовая и отделочная.

Технологические методы обработки заготовок приведены на рис. 2.1.

2.2. Обработка наружных поверхностей тел вращения (валов)

Детали – тела вращения (валы) изготавливают в механических цехах из проката, поковок, штампованных заготовок, поперечно-винтового проката и отливок. Применяют валы гладкие, ступенчатые, коленчатые, эксцентриковые, полые и др. По размерам валы делят на мелкие (длиной 150...200 мм), средние (длиной 1000 мм) и крупные (длиной более 1000 мм).

Предварительную обработку заготовок осуществляют в заготовительном отделении, которое располагают при цеховом складе заготовок и материалов. При наличии на заводе нескольких крупных механических цехов вместо заготовительного отделения организуют самостоятельный заготовительный цех, прокат подвергают правке и разрезке, а в некоторых случаях – обдирке по всей длине. У поковок и штампованных заготовок фрезеруют торцы. Для устранения искривления оси прутки правят на правильных или на правильно-калибровочных станках. Применяемая иногда ручная правка (рихтовка)



Рис. 2.1. Технологические методы обработки заготовок

неудовлетворительна из-за низкой производительности. Штучные заготовки большой длины правят на винтовых (ручных), гидравлических, пневматических и фрикционных прессах. Заготовки перед правкой проверяют в центрах. При этом определяют места, подлежащие правке, затем производят правку. Прокат правят на специальных станках и разрезают на приводных ножовках, пилах (дисковых, ленточных, фрикционных, электрофрикционных), токарно-отрезных станках, отрезных автоматах, станках, работающих тонким абразивным кругом. В механических цехах разрезание металла иногда производят на фрезерных станках прорезными фрезами.

При конструировании валов (гладких, ступенчатых, сплошных и полых) существенным признаком служит их жесткость. Жесткими считаются валы, у которых отношение длины к диаметру не превышает 15 мм, валы с большим соотношением называют нежесткими. Изготавливают валы в основном из стали 40 или стали 45, реже — из легированных сталей 40Х, 18ХГТ.

Валы из среднеуглеродистых сталей подвергают термообработке до твердости $HB230...260$. Шейки валов из низкоуглеродистых сталей для повышения износостойкости подвергают цементации с последующей термообработкой до твердости $HRC50...60$. Сопрягаемые цилиндрические поверхности валов выполняют с точностью, соответствующей 6-му или 8-му качеству и с параметром шероховатости поверхности соответственно $Ra1,25...0,63$ мкм и $Ra2,5...1,25$ мкм.

Точение выполняют проходными прямыми, отогнутыми и упорными резцами с напайными пластинами (рис. 2.2) и резцами с механическим креплением неперетачиваемых пластин (рис. 2.3).

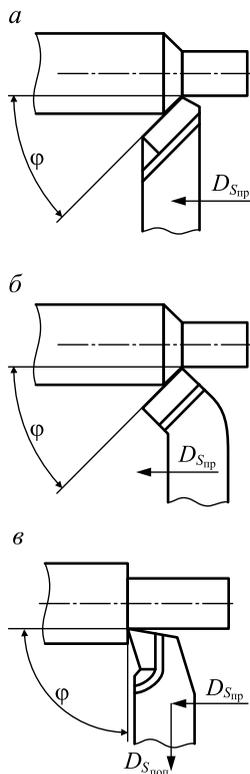


Рис. 2.2. Проходные резцы: а — прямой; б — отогнутый; в — упорный

Резцы для чернового обтачивания (рис. 2.2, б, рис. 2.3) снимают стружку больших сечений при высокой скорости резания. Поэтому резец должен быть прочным. Форма резца должна быть такой, чтобы отделение стружки происходило с возможно большей легкостью.

При выборе и эксплуатации проходных резцов следует также учитывать их различную стойкость (время непосредственной работы от заточки до переточки). При равных условиях менее стойкими являются упорные резцы, имеющие более острую и менее прочную вершину, склонную к перегреву (рис. 2.4, в).

Закрепление заготовки при *черновой обработке* цилиндрических поверхностей производится в зависимости от формы, размеров и назначения детали. Закрепление заготовки должно быть прочным, так как при черновом обтачивании резцы снимают стружку больших сечений и при этом возникают значительные силы резания.

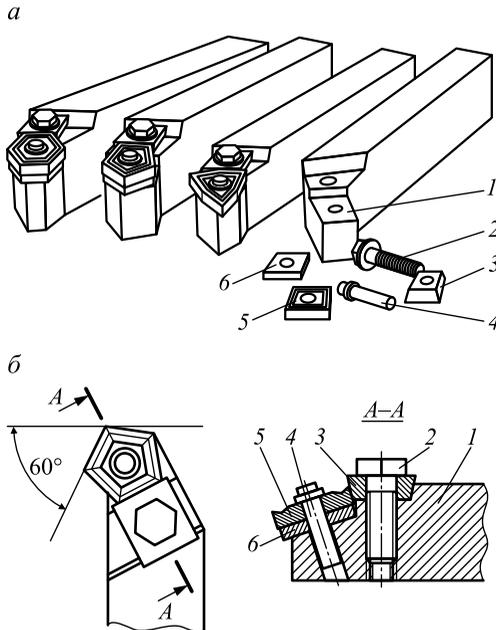


Рис. 2.3. Резцы с многослойными пластинками из твердого сплава:
 а – общий вид резцов; б – конструкция резца; 1 – державка; 2 – винт; 3 – клин; 4 – направляющий штифт; 5 – пластинка из твердого сплава; 6 – опорная пластинка

Прходные упорные резцы (рис. 2.4, в) применяют для обработки нежестких деталей с уступами небольших размеров. Главный угол в плане этих резцов равен 90° , что способствует уменьшению вибраций в процессе работы. Прходные резцы, используемые при обработке заготовок из стали, чугуна, изготавливают из быстрорежущей стали, а также из твердого сплава. При выборе и эксплуатации проходных резцов следует учитывать также их различную стойкость (время непосредственной работы от заточки до переточки). При равных условиях менее стойкими являются упорные резцы, имеющие более острую и менее прочную вершину, склонную к перегреву (рис. 2.4, в).

Обработку заготовок из стали с небольшой глубиной резания с относительно равномерным припуском производят резцами из сплавов Т14К8, Т15К6, Т15К6Т.

Закрепление детали при *чистой обработке* цилиндрических поверхностей должно быть прочным, чтобы не могло быть смещения заготовки во время обработки. При закреплении заготовки в самоцентрирующемся патроне за обработанную поверхность при требовании соосности обработанной и обрабатываемой поверхностей следует учитывать неточность патрона.

Цилиндрические поверхности обычно обтачивают в два или несколько рабочих ходов: сначала снимают начерно большую часть припуска (до 6 мм на диаметр), а затем оставшуюся часть (до 1 мм на диаметр).

Для получения необходимых размеров диаметра вала пользуются лимбом поперечной подачи и устанавливают резец на

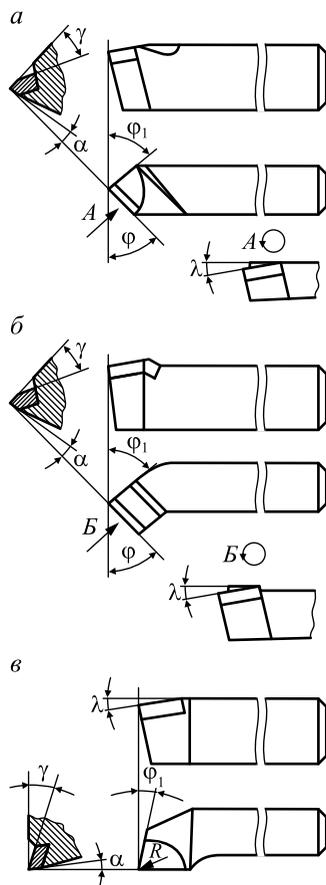


Рис. 2.4. Прходные резцы: а — прямой; б — отогнутый; в — упорный; γ , α , λ , ϕ , ϕ_1 — углы резца; R — радиус закругления режущей кромки

заданный размер по методу пробных рабочих ходов. Обработка с применением лимбов обеспечивает точность по 8—9-му качеству. У большинства современных токарных станков имеется также продольный лимб, применение которого дает возможность получать продольные размеры с точностью до 0,2 мм. Производительность и точность обработки повышаются, если применяют регулируемые упоры с самовыключением суппорта. При этом точность продольных размеров достигает 0,08...0,15 мм.

Точность обрабатываемых валов по длине зависит от размеров передних центровых отверстий: если у партии валов размеры отверстий неодинаковы, торцы их во время обработки окажутся на разных расстояниях от торца шпинделя и, следовательно, ступени валов после обработки будут неодинаковы по длине. Поэтому необходимо либо строго соблюдать размеры гнезд, используя при центровке специальный упор, либо применять плавающий передний центр.

Обтачивание ступенчатых поверхностей. Детали со ступенчатыми поверхностями могут иметь одностороннюю (рис. 2.5, *а*) или двухстороннюю (рис. 2.5, *б*) ступенчатость.

Характерными требованиями, предъявляемые к точности их обработки, являются соосность отдельных цилиндрических участков и перпендикулярность уступов к оси детали.

Соосность поверхностей с односторонней ступенчатостью может быть обеспечена обработкой их за одну установку в патроне или с поддержкой задним центром. Этим исключается влияние погрешностей установки на точность расположения поверхностей. Детали с двухсторонней ступенчатостью обрабатывают за две установки и окончательно обрабатывают, как правило, в центрах. Если разность диаметров ступеней значительная, черновую обработку их рекомендуется осуществлять с более жесткой установкой — в патроне и заднем центре. Для достижения перпендикулярности уступов к оси детали ступен-

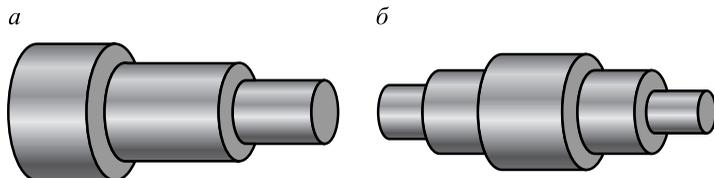


Рис. 2.5. Детали с односторонней и двухсторонней ступенчатостью

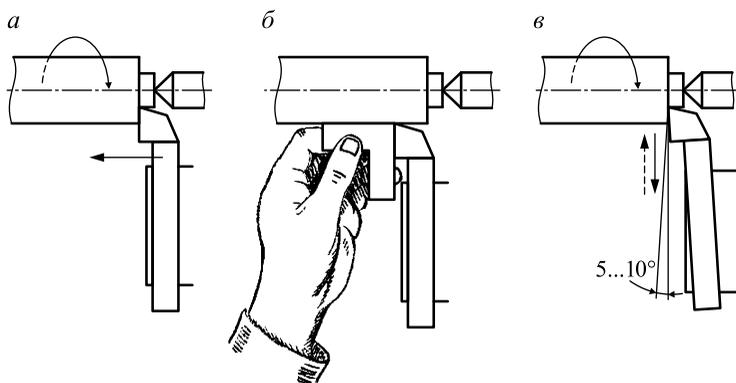


Рис. 2.6. Положение резцов при обработке ступенчатых поверхностей

чатые поверхности обрабатываются проходными упорными резцами. Ими можно в конце обтачивания подрезать продольной подачей уступ небольшой высоты, примерно до 5 мм (рис. 2.6, а). Резец в этом случае устанавливают на станке так, чтобы главная режущая кромка располагалась перпендикулярно к оси детали по угольнику (рис. 2.6, б). Более высокие уступы подрезают поперечной подачей. Резец при этом устанавливают так, чтобы угол между главной режущей кромкой и плоскостью уступа составлял $5...10^\circ$ (рис. 2.6, в).

Чтобы сократить время обработки ступенчатых поверхностей, нужно соблюдать рациональную последовательность их обтачивания и постоянное продольное положение заготовок на станке.

Первое условие обеспечивается, если общая длина рабочих ходов резца будет наименьшей. Так, например, при черновом обтачивании ступенчатого вала (рис. 2.7) наименьшая (рис. 2.7, а) и наибольшая (рис. 2.7, б) длина рабочего хода резца получается при обработке по схеме. Однако применение более выгодной последовательности обтачивания по схеме, изображенной на рис. 2.7, а, часто ограничивается резким перепадом глубины резания.

Обработку по схеме, изображенной на рис. 2.7, б, следует применять только в том случае, когда ступенчатые участки детали значительно отличаются по диаметру или ее жесткость не позволяет вести обработку с большой глубиной резания.

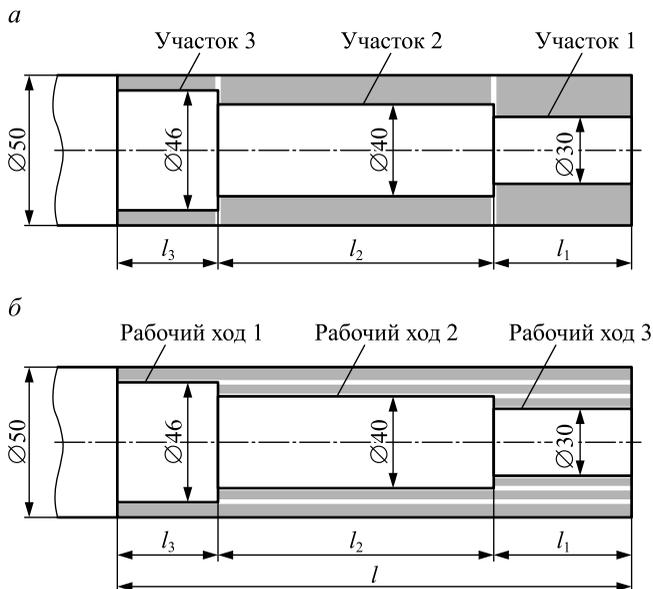


Рис. 2.7. Схемы обработки ступенчатого вала

Длины ступеней контролируют штангенциркулем с выдвижным глубиномером (типа ШЦ-I), штангенглубиномером, линейкой или шаблоном (рис. 2.8).

Работа по упорам. При изготовлении деталей со ступенчатыми поверхностями крупными партиями заметное повышение производительности труда может быть достигнуто настройкой токарного станка по продольным и поперечным упорам.

Продольный упор (рис. 2.9, а) закрепляется на передней направляющей станины. Его положение устанавливают при изготовлении первой обрабатываемой детали, у которой линейные размеры выдерживают по разметке или лимбу. Для обработки нескольких ступеней на детали между упором и кареткой суппорта на направляющую станины укладывают мерные плитки. Короткие ступенчатые поверхности обрабатывают с помощью многопозиционных регулируемых упоров барабанного типа.

Пример обтачивания ступенчатого вала с помощью продольного упора и мерных плиток показан на рис. 2.9, б. Ступень l_4 обтачивают до подхода суппорта к плитке. Сняв ее, обтачивают ступень l_3 до момента, когда суппорт упрется в плитку.

ку. После этого удаляют плитку и обтачивают ступень l_2 непосредственно до упора. Аналогично ступени l_2 обрабатывается ступень l_1 .

Автоматическое выключение механической подачи суппорта при подходе до упора осуществляется предохранительным механизмом фартука, рассчитанным на определенное усилие подачи. На станках, не имеющих такого механизма, подачу следует выключать за несколько миллиметров до подхода суппорта к упору. Оставшуюся длину обрабатывают перемещением суппорта вручную. Если не выполнить это условие, поломка станка неизбежна.

Охлаждение при точении стали способствует повышению стойкости резца, сохранению твердости, уменьшению износа, влияющего на точность размеров обрабатываемой детали. Применение охлаждающей жидкости, содержащей маслянистые вещества, например эмульсии, облегчает отделение стружки, вследствие чего обрабатываемая поверхность получается чистой. При охлаждении резца уменьшается также нагрев обрабатываемой заготовки, что понижает опасность ее деформирования и дает возможность измерять ее.

При обработке заготовок из чугуна охлаждение, как правило, не применяют.

Для охлаждения обрабатываемых заготовок из низколегированной, инструментальной, легированной стали и стальных отливок используют эмульсию и сульфозрезол. Заготовки из бронзы и алюминия обрабатывают без охлаждения (или их охлаждают эмульсией и керосином).

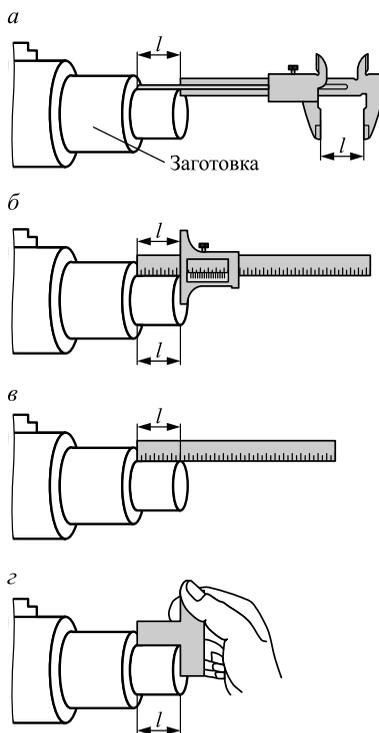


Рис. 2.8. Контроль длин ступеней ступенчатого вала:

a – штангенциркулем ШЦ-I, *б* – штангенглубинамером; *в* – линейкой; *г* – шаблоном; *l* – контролируемый размер

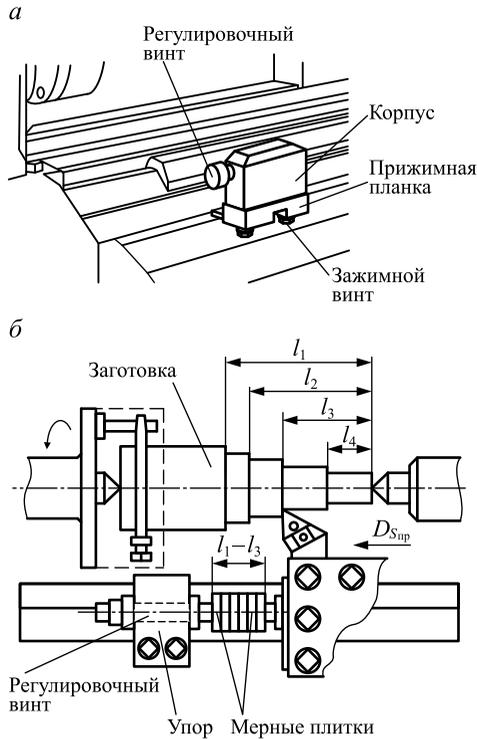


Рис. 2.9. Продольный упор и обтачивание ступенчатого вала с его помощью

Количество смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), подводимое к месту резания при черновых работах, должно быть не менее 10...12 л/мин. При чистовой обработке количество СОТС, подаваемых к месту резания эмульсии, должно быть не менее 10...12 л/мин, а сульфозфрезола — 3...4 л/мин.

Обтачивание валов, в зависимости от объема выпуска выполняют на обычных токарных станках с программным управлением или оснащенных станках гидроконтрольным суппортом, на копировальных токарных станках, а также на станках с многолезцовыми головками. На станках с многолезцовыми головками обтачивание повышает производительность по сравнению с обычной токарной обработкой за счет совмещения переходов и автоматической настройки измерений операционных размеров.

На токарных копировальных полуавтоматах выполняют черновую и чистовую обработку валов. Эти станки применяют в серийном производстве, где они повышают производительность по сравнению с использованием обычных токарных станков в 2 раза и более. При обточке валов с числом ступеней более четырех полуавтоматы работают эффективно при размере партии в 10–15 шт.

В массовом и крупносерийном производстве широко используют многшпиндельные многорезцовые полуавтоматы. При изготовлении мелких валов — длиной до 150...200 мм — применяют токарные автоматы.

В мелкосерийном производстве весьма эффективно применение токарных станков с гидросуппортами, а также станков с программным управлением.

Проектируя операцию, решают вопрос о размещении резцов. Схема обтачивания валов, приведенная на рис. 2.10, *а*, позволяет каждую ступень вала обрабатывать одним резцом; продольный ход суппорта определяется длиной наибольшей ступени, обтачиваемой резцом 1, а резцы 2 и 3 совершают вспомогательный ход. При наладке станка по наименьшей ступени l_3 (рис. 2.10, *б*) ход суппорта будет равен длине ступени l_3 . В этом случае для обтачивания других ступеней устанавливают по несколько резцов, причем число резцов зависит от отношения длин ступеней l_1/l_2 и l_1/l_3 . Второй вариант более производителен, но его недостатком является появление уступов при обтачивании ступени несколькими резцами (из-за неточности установки резцов на размер и разной интенсивности их изнашивания). Установку резцов производят по талонной детали или вне станка, применяя сменные блоки.

Если ступенчатый вал изготавливают из проката, то при точении с ступеней с меньшим диаметром возможны недопустимо большие глубины резания. В этом случае применяют метод деления припуска. Одним из вариантов может быть удаление резцами 1, 2, 3 частей припуска z_1, z_2, z_3 (рис. 2.10, *в*). При этом варианте продольный суппорт перемещается на всю длину обтачиваемых ступеней.

Обработка валов на станках с многорезцовой головкой требует относительно длительной их наладки, поэтому данный метод применяют в серийном и массовом производстве.

Для обработки ступенчатых валов широко используют одноступенчатые копировальные полуавтоматы. Схема обработ-

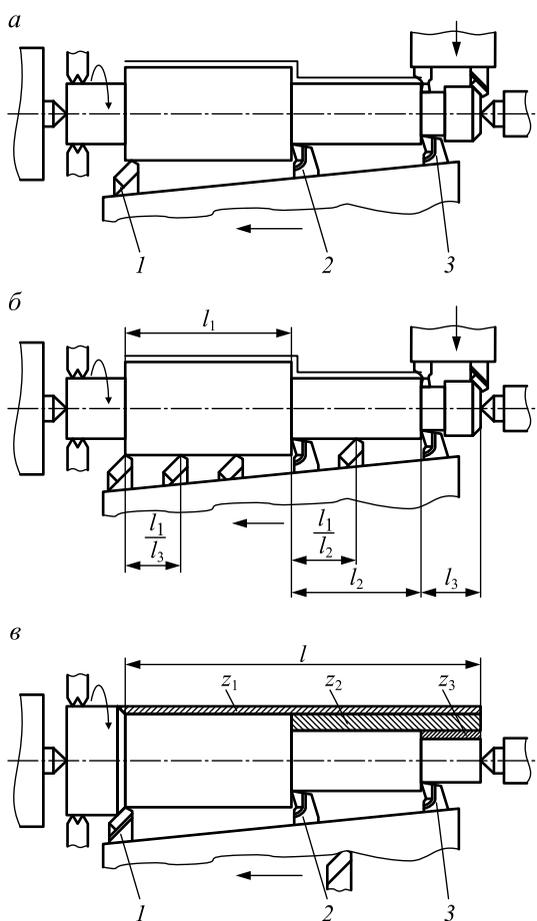


Рис. 2.10. Схема обтачивания валов

ки ступенчатого вала на копировальном полуавтомате (рис. 2.11) следующая: продольный суппорт обтачивает вал по копии 2, а поперечный образует выточку. Поперечным суппортом можно выполнять и подрезку торцов.

Обработка валов на этих станках имеет ряд преимуществ перед многолезцовым обтачиванием:

- время для технологической наладки средней сложности составляет 30...35 мин, что в 2–3 раза меньше времени соответствующей наладки станка с многолезцовой головкой;

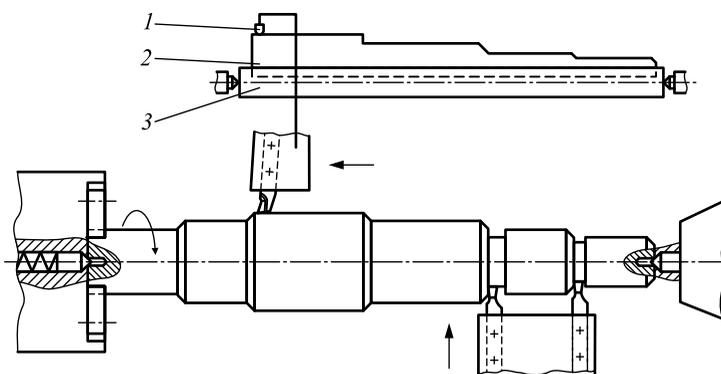


Рис. 2.11. Схема обработки ступенчатого вала на копировальном полуавтомате:
1 – шуп; 2 – копир; 3 – барабан

- при чистовом точении обеспечивается точность, соответствующая 9-му качеству вместо 11-го при многорезцовом обтачивании;
- наблюдается малое влияние упругих сжатий системы, так как при продольном точении участвует в работе только один резец;
- повышается качество обработанной поверхности (отсутствуют уступы, характерные при обработке на станках с многорезцовой головкой);
- обработка ведется на более высоких скоростях резания, так как при многорезцовом точении скорость резания занижается для повышения стойкости резцов до 3...4 ч.

Отделочная обработка. К отделочным методам обработки относятся: тонкое (алмазное) точение, шлифование, притирка, суперфиниширование, полирование, обкатывание роликами и шариками.

Тонкое (алмазное) точение используют при обработке наружных цилиндрических и конических поверхностей, а также торцов заготовок. При этом достигается параметр шероховатости поверхности $Ra_{0,32...1,25}$ мкм, а точность размеров обработанных деталей соответствует 2-му качеству. Тонкое точение проводят с малой подачей (0,02...0,05 мм/об), малой глубиной резания (0,05...0,15 мм) и высокой скоростью (300...3000 м/мин). Резание с малыми сечениями стружки, а следовательно, и с малыми силами резания позволяет обтачи-

вать заготовки с высокой точностью. Высокая точность обработки и высокие скорости резания предъявляют повышенные требования к станкам для тонкого точения; главные из них: высокая частота вращения шпинделя ($2000...6000 \text{ мин}^{-1}$); малые подачи ($0,02...0,05 \text{ мм/об}$); высокая точность вращения шпинделя (радиальное биение не более $0,005 \text{ мм}$); высокая точность и большая жесткость всех элементов станка; отсутствие колебания (вибраций) при большой частоте вращения шпинделя, что достигается наличием ременных передач. Обычные токарные станки не обеспечивают выполнения вышеуказанных требований, в связи с чем для тонкого точения, как правило, применяют специальные токарные станки. В качестве режущего инструмента для тонкого точения для обработки заготовок из стали применяют резцы, оснащенные пластинами из твердого сплава Т30К4, для обработки заготовок из чугуна – оснащенные пластинами из твердых сплавов ВК2 и ВК3. Для обработки заготовок из высокопрочных металлов используют резцы, оснащенные режущими элементами из эльбора.

Склеивание инструментов вместо соединения деталей инструментов пайкой, сваркой и механическим креплением позволяет сократить расход дефицитных инструментальных материалов, снизить брак при изготовлении инструмента из твердого сплава, упростить сборку составного инструмента, повторно использовать корпуса и державки инструментов, исключить трещинообразование и др. Клей горячего отверждения нагревают 2...3 ч до температуры $250 \text{ }^\circ\text{C}$, а клей холодного отверждения – 2...4 ч при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Путем склеивания изготавливают протяжки, фрезы, метчики, сверла, зенкеры, развертки, долбяки, резцы из быстрорежущих сталей и твердых сплавов, скобы, калибры-пробки, микрометры и др.

Алмазные резцы применяют для обработки заготовок из цветных сплавов. Благодаря высокой твердости и незначительному износу алмазные резцы обеспечивают более высокое качество обработанной поверхности и точность размеров, чем резцы из твердого сплава, и работают 40...50 ч без переточки.

Основным методом отделочной обработки наружных цилиндрических поверхностей является *шлифование*.

Шлифование валов производят на круглошлифовальных и бесцентрово-шлифовальных станках соответственно 6-му качеству точности и шероховатости $Ra0,32 \text{ мкм}$. Шлифуют в две операции (два перехода). При обработке валов на круглошли-

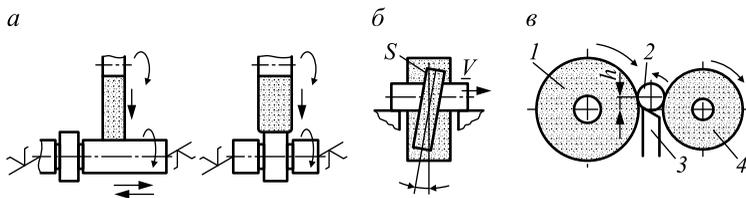


Рис. 2.12. Схема шлифования валов:

1 – шлифовальный круг; 2 – обрабатываемая заготовка; 3 – нож; 4 – ведущий круг

фовальных станках технологической базой являются центровые отверстия на торцах заготовки. От качества центровых отверстий зависит точность обработки, поэтому перед шлифованием центровые отверстия подвергают исправлению путем шлифования конусным кругом.

При шлифовании наиболее распространены два метода: осциллирующее шлифование (рис. 2.12, а), применяемое при обработке поверхностей значительной протяженности, и врезное шлифование (рис. 2.12, б), применяемое при обработке коротких шеек. В серийном и массовом производстве врезное шлифование часто выполняется по автоматическому циклу, что обеспечивает лучшее качество обработки и повышает производительность.

В тех случаях, когда необходимо достигнуть точности размеров, соответствующей 5-му или 6-му качеству и шероховатости поверхности $Ra0,1$ мкм и меньше, после чистовой шлифовальной операции шейки вала притирают.

При шлифовании размеры деталей часто контролируют в процессе обработки, т.е. без остановки станка, что повышает производительность. Используют также измерительные средства активного контроля, которые автоматически выключают поперечную подачу при достижении заданного размера.

Схема бесцентрового шлифования показана на рис. 2.12, в. Заготовка располагается выше осевой линии шлифовальных кругов на размер h . Подача S заготовки 2 вдоль оси осуществляется путем поворота ведущего круга 4 на угол α , который составляет $1...4,5^\circ$. Благодаря этому наклону ведущий круг сообщает заготовке посредством силы трения движение подачи. Бесцентровое шлифование выполняют с продольной подачей, как показано на рис. 2.12, в, и с поперечной подачей (врезанием). Если вал гладкий, то применяют шлифование с продольной подачей на проход, если ступенчатый – шлифуют с про-

дольной подачей до упора. Врезным бесцентровым шлифованием обрабатывают короткие буртики. Бесцентровое шлифование применяют при обработке небольших валов, при этом обеспечивается точность по 6–8-му качеству. Этот метод по точности несколько уступает шлифованию на круглошлифовальных станках.

Для окончательной отделки предварительно отшлифованных поверхностей заготовок служит *притирка*. Притирку наружных цилиндрических поверхностей выполняют притиром, на который предварительно наносят абразивный микропорошок с маслом или специальную пасту. Применяют абразивные порошки из электрокорунда, наждака, окиси хрома, окиси железа. Пасты состоят из абразивных порошков и химически активных веществ. Они имеют различный состав. Например, паста ГОИ содержит в качестве абразива окись хрома и в качестве химически активной связки олеиновую и стеариновую кислоты. Такие пасты ускоряют процесс притирки, так как входящие в них химически активные вещества окисляют обрабатываемую поверхность и образующаяся мягкая пленка легко удаляется абразивными зёрнами. Для притирки можно применять предварительно шаржированные и нешаржированные притиры. Под шаржированием понимают внедрение в поверхность притира абразивных частиц.

В единичном производстве и ремонтных мастерских притирку наружных цилиндрических поверхностей заготовок, шеек валов производят на токарном станке притиром в виде разрезной втулки (чугунной, медной, бронзовой или свинцовой), выточенной по размеру притираемой заготовки (рис. 2.13). Втулку 3 смазывают внутри ровным тонким слоем абразивного порошка с маслом или доводочной пастой. Затем втулку вставляют в металлическую обойму 2 и надевают на заготовку. Слегка подтягивая обойму болтом 1, равномерно перемещают притир вдоль вращающейся заготовки.

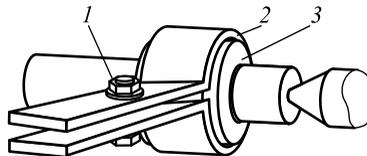


Рис. 2.13. Схема ручной притирки цилиндрической поверхности

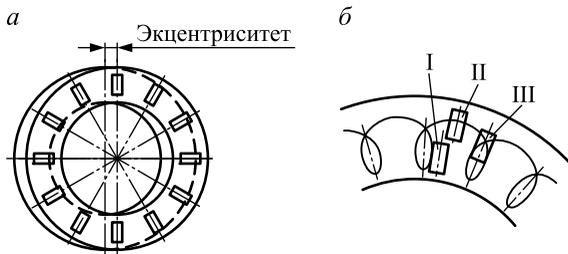


Рис. 2.14. Схема притирки наружной цилиндрической поверхности на станке:
I—III — положения заготовок относительно верхнего диска

При притирке нужно смазывать заготовку жидким машинным маслом. Припуск на притирку оставляют 5...20 мкм на диаметр. Скорость вращения заготовки при притирке 10...20 м/мин.

В крупносерийном и массовом производстве притирка ведется на специальных притирочных станках, которые применяют для обработки коротких цилиндрических заготовок, например поршневых пальцев. На этих станках притирка осуществляется двумя чугунными дисками, между которыми находятся заготовки, свободно уложенные в гнезда вращающейся обоймы (рис. 2.14, а). При вращении обоих дисков или только нижнего диска создается качение и скольжение заготовок по траектории, изображенной на рис. 2.14, б. Чугунные диски шаржируют такими же абразивными смесями и пастами, как и при ручной притирке. Притиркой достигается высокая точность размеров (1-й класс и точнее) и шероховатость поверхности $Ra0,05$ мкм.

Суперфиниширование представляет собой метод особо чистой отделки в основном наружных цилиндрических поверхностей. При этом методе обработка поверхностей производится головкой с абразивными брусками. При суперфинишировании осуществляются три движения: вращение заготовки, продольное передвижение и колебательное движение брусков вдоль оси заготовки. Главным рабочим движением является колебательное движение головки с абразивными брусками (рис. 2.15), с малым ходом (2...6 мм) и значительным числом двойных ходов в минуту (400—1000). При суперфинишировании каждое отдельное зерно абразива не проходит дважды по одному и тому же пути.

Давление абразивных брусков на обрабатываемую поверхность мало (меньшее давление — при окончательном суперфи-

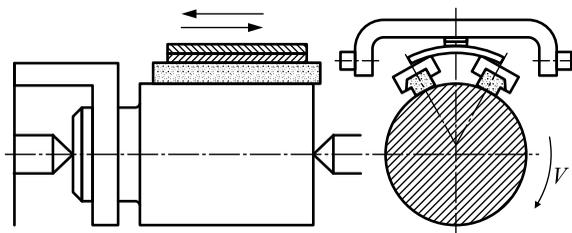


Рис. 2.15. Схема суперфиниширования

нишировании, большее – при предварительном), вследствие этого поверхность при обработке не нагревается и происходит только срезание гребешков, оставшихся после предшествующих операций. После съема всех гребешков процесс прекращается. Зернистость брусков выбирают 8...3 по ГОСТ 3647–78. Охлаждающая жидкость при суперфинишировании служит также смазкой. Обычно применяют смесь керосина с маслом.

При суперфинишировании подача брусков за один оборот заготовки не поддается расчету, поэтому основное технологическое время устанавливают на основании хронометража. Снимается слой металла толщиной 0,005...0,020 мм; продолжительность обработки обычно 0,2...0,5 мин. Шероховатость поверхности достигается $Ra0,04$ мкм, однако точность размеров и правильность геометрической формы не обеспечиваются. Поверхности, обработанные методом суперфиниширования, изнашиваются минимально.

Полирование представляет собой процесс чистовой обработки поверхности мягкими кругами с нанесенным на них мелкозернистым абразивным порошком, смешанным со смазкой. Материалом для полировальных кругов служат войлок, фетр, ткани, кожа. Полированием достигается малая шероховатость поверхности, но необходимая точность размеров и правильность геометрической формы не достигаются. Поверхность после полирования блестящая. Для полирования в массовом и крупносерийном производстве применяют полировальные многошпиндельные автоматы.

Кроме мягких кругов для полирования используют абразивную ленту. Полирование абразивной лентой осуществляют на токарных станках со специальным приспособлением, а в массовом производстве – на специальных станках.

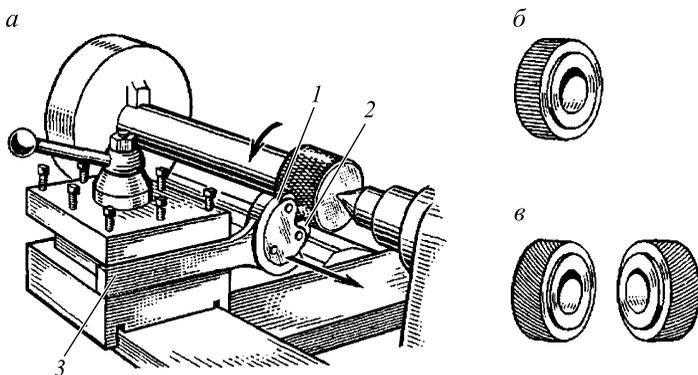


Рис. 2.16. Схема накатывания рифлений

Цилиндрические рукоятки, головки микрометрических винтов и круглые гайки для удобства пользования делают не гладкими, а рифлеными. Рифленую поверхность получают накатыванием. Накатка бывает простой и перекрестной. Для накатывания в резцедержателе суппорта станка закрепляют державку 3 (рис. 2.16, а), в которой для простой накатки установлен один ролик (рис. 2.16, б), а для перекрестной — два ролика 1 и 2 из инструментальной закаленной стали с насеченными на них зубцами; эти зубцы могут иметь различные размеры и разное направление (рис. 2.16, в), что позволяет получить накатку различных рисунков. При накатывании державку прижимают к вращающейся заготовке. Ролики начинают вращаться и, вдавливаясь в материал заготовки, образуют на ее поверхности накатку.

При накатывании длинных поверхностей ролики подают в двух направлениях — перпендикулярно к оси заготовки и вдоль оси. Для получения достаточной глубины накатки нужно вести накатывание в два — четыре хода.

Процесс *обкатывания роликами* заключается в том, что поверхность вращающейся заготовки обкатывают прижимающимися к ней гладкими роликами, изготовленными из закаленной стали или твердого сплава. Приспособление для обкатывания роликами имеет сходство с приспособлением для накатывания рифлений. Оно отличается от последнего большими размерами и повышенной жесткостью. Ролики (рис. 2.17) оказывают на обрабатываемую поверхность давление, благодаря чему поверхность выравнивается, получается чистой и облада-

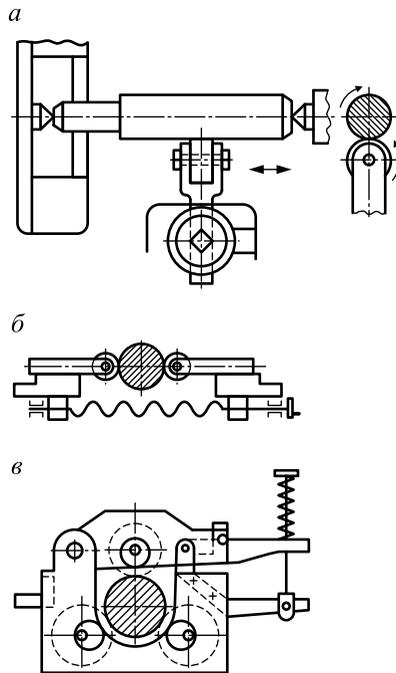


Рис. 2.17. Схемы обкатывания роликами:
 а — одним; б — двумя; в — тремя

ет повышенной твердостью (наклепана). Ролики перемещаются вдоль оси заготовки. Поверхность, подлежащая обкатыванию, должна быть гладкой, в противном случае вершины гребешков, вдавленные во впадины, в дальнейшем при работе детали могут отслаиваться. При обкатывании применяют обильную смазку.

Упрочнение поверхностей производят уплотнением поверхностного слоя, что повышает износостойкость деталей. Осуществляют упрочнение разными способами. Один из них — *обкатывание шариками*. На шпиндель круглошлифовального станка помещают диск (рис. 2.18), по периферии которого сделаны отверстия, заполненные стальными шариками. Шарики сидят в отверстиях свободно, выступая на 0,5...1 мм, но выпастить не могут. Эти шарики при вращении диска под действием центробежной силы наносят удары обрабатываемой поверхности заготовки, закрепленной в центрах станка. Дыску сообщается движение подачи вдоль оси заготовки.

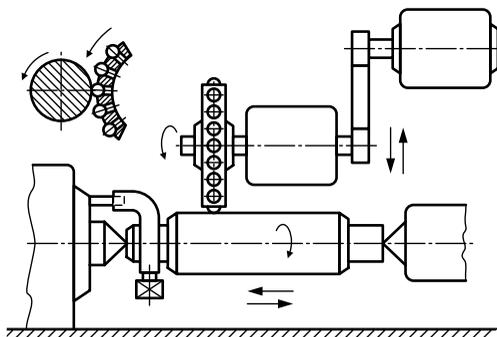


Рис. 2.18. Схема упрочнения шариками

Сила удара шарика о поверхность зависит от степени сближения диска с заготовкой. Другой способ упрочнения заключается в том, что обрабатываемая поверхность подвергается многочисленным ударам стальной или чугунной дроби, выбрасываемой на поверхность пневматическим или механическим устройством. Пневматические устройства для обдувки дробью работают аналогично пескоструйным аппаратам. В механических устройствах имеется вращающийся с большой скоростью ротор, который выбрасывает дробь на обрабатываемую поверхность. Оба устройства можно использовать на токарных станках, оборудовав их приспособлениями для сбора дроби и ее загрузки в бункер.

Контроль валов. Диаметральные размеры, длины ступеней проверяют с помощью предельных скоб, резьбовых и шлицевых колец, а также измеряют штангенциркулем и микрометром. Шероховатость поверхности контролируют преимущественно сличением с эталонами.

Для проверки отклонения от соосности шеек ступенчатый вал укладывают базовыми шейками на призмы контрольного приспособления, а стержнем индикатора касаются поверхности контролируемой шейки. Поворачивая вал вокруг оси, определяют биение шейки по разности показаний индикатора.

Отклонение от параллельности шлицев или шпоночного паза оси вала устанавливают по разности показаний индикатора в двух крайних положениях, базируя вал на призмах или в центрах.

В крупносерийном и массовом производстве контроль валов производят многомерными приборами с индикаторами или электроконтактными датчиками.

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите классификацию методов обработки поверхностей.
2. Какие требования предъявляются к деталям тел вращения?
3. По каким признакам классифицируются станки с ПУ?
4. Какие типы резцов для наружного точения вам известны и какова область их применения?
5. Как устанавливаются на станке резцы для обтачивания цилиндрических поверхностей?
6. Каковы особенности обтачивания ступенчатых поверхностей?
7. Какими контрольно-измерительными инструментами определяется длина ступенчатой поверхности?
8. Какое оборудование применяется в массовом и крупносерийном производстве?
9. Охарактеризуйте процесс обтачивания валов на многошпиндельных многорезцовых полуавтоматах.
10. Как обрабатываются шлицевые поверхности на валах?
11. В чем сущность обработки шпоночных пазов, нарезания резьбы и шлифования поверхностей?
12. Назовите методы отделочной обработки.

2.3. Образование резьбовых поверхностей

Резьба представляет собой винтовую канавку определенного профиля, прорезанную на цилиндрической или конической поверхности. На токарных станках ее выполняют посредством двух согласованных движений – вращения заготовки и поступательного перемещения режущего инструмента вдоль ее оси. Резьбовые соединения встречаются в различных механизмах и используются для разъемного соединения деталей с помощью резьб.

Применяемые резьбы классифицируются по следующим признакам:

- по расположению – наружные и внутренние;
- по назначению – крепежные и ходовые;
- по форме исходной поверхности – цилиндрические и конические;
 - по направлению – правые и левые;
 - по форме профиля – треугольные, прямоугольные, трапецеидальные, круглые;
 - по числу заходов – одно- и многозаходные.

Крепежные резьбы чаще всего имеют треугольный профиль. Они используются для соединения различных деталей. Ходовые резьбы служат для преобразования вращательного

движения в поступательное. К ним относятся резьбы с трапецидальным и реже прямоугольным профилем.

Конические резьбы обеспечивают высокую герметичность соединения и поэтому применяются в местах, находящихся под повышенным давлением жидкостей и газов.

У правых резьб винтовая канавка имеет направление по ходу часовой стрелки (если смотреть с торца детали), у левых — наоборот.

Однозаходными называются резьбы, имеющие одну винтовую канавку. В многозаходных резьбах несколько параллельных винтовых канавок, равномерно расположенных по окружности. Число заходов резьбы можно определить по количеству винтовых канавок на торце детали.

Резьбовая поверхность определяется пятью основными элементами резьбы (рис. 2.19): тремя диаметрами — наружным d ,

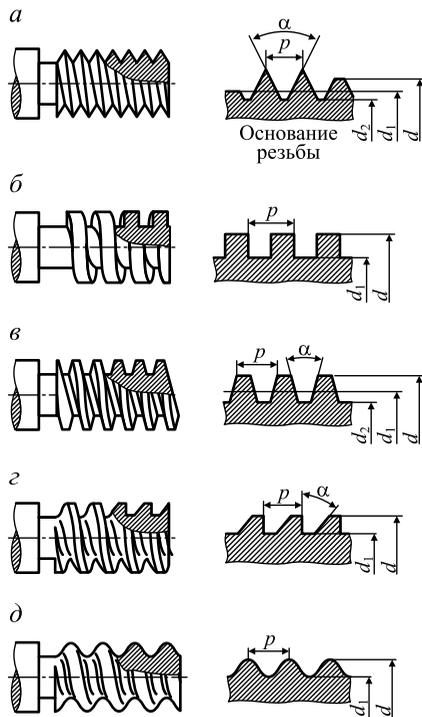


Рис. 2.19. Профили и элементы резьбы: а — треугольная; б — прямоугольная; в — трапецидальная; г — трапецидальная упорная; д — круглая

внутренним d_1 , средним d_2 (для гайки они соответственно обозначаются G, G_1, G_2); шагом p ; углом профиля α .

Действующими стандартами предусмотрены следующие крепежные резьбы с треугольным профилем: метрические, дюймовые, трубные, конические (дюймовые и трубные).

Метрические резьбы (рис. 2.20, а) — основные крепежные резьбы, применяемые в отечественном машиностроении. Все размеры их выражены в миллиметрах, угол профиля 60° . По величине шага они делятся на две группы: с крупным шагом и с мелкими. На рабочих чертежах резьбы с крупными шагами обозначаются буквой М и числом, соответствующим нормальному (наружному) диаметру резьбы (например, М16-7g). Диаметры и шаги метрических резьб регламентируются ГОСТ 8724–81, а профиль и его размеры — ГОСТ 9150–81. В обозначениях резьбы с мелкими шагами дополнительно указывается шаг резьбы, например М20 × 1,5-6g.

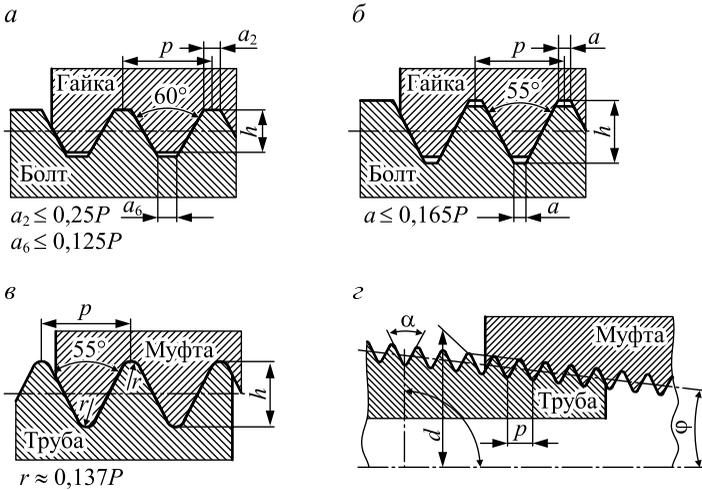


Рис. 2.20. Профили крепежных резьб:
а — метрических; б — дюймовых; в — трубных; г — конических

Дюймовые резьбы (рис. 2.20, б) имеют ограниченное применение — только для ремонта импортного оборудования. Все размеры их выражены в дюймах, шаг — числом ниток на 1", угол профиля 55° (один дюйм равен 25,4 мм). Такие резьбы

обозначаются на чертеже номинальным (наружными) диаметром, например 3/4".

Трубные резьбы (рис. 2.20, в) предназначены для соединения трубопроводов. Они отличаются от дюймовой резьбы более мелким шагом и закругленными вершинами профиля. Такие резьбы обозначаются на чертеже сокращенно G для цилиндрических резьб или R — для конических и номинальным размером в дюймах, соответствующим диаметру отверстия трубы, на которой нарезается резьба большой длины (например, $G\ 3/4\text{-}B$ (ГОСТ 6357–81)).

Конические резьбы (рис. 2.20, г) нарезаются круглыми плашками (ГОСТ 6228–80) на конических поверхностях с конусностью 1 : 16 ($\varphi = 1^\circ 47' 24''$). Коническая дюймовая резьба выполняется с углом профиля 60° и плоскосрезанными вершинами, коническая трубная — с углом профиля 55° и скругленными вершинами. На чертеже такие резьбы обозначаются сокращенно MK и номинальным размером, соответствующим диаметру отверстия трубы, на которой нарезается данная резьба. Например: $MK6\text{-}7H$ (ГОСТ 2522–92) — метрическая коническая резьба; $R1/2$ (наружная) и $R_c1/2$ (внутренняя) (ГОСТ 6211–81) — конические трубные резьбы. Диаметры конических резьб задаются в основной плоскости (торец муфты).

На токарном станке резьбы нарезаются круглыми плашками, метчиками, резьбовыми резцами и гребенками.

Нарезание резьбы плашками. Круглые плашки применяются для нарезания наружных цилиндрических резьб (ГОСТ 9740–84) треугольного профиля на винтах, болтах, шпильках (диаметром от 1 до 52 мм), к которым не предъявляются высоких требований по соосности резьбы с другими поверхностями.

Пределы выполнения резьб ограничены механическими свойствами обрабатываемого металла. Например, на стальных деталях круглыми плашками нарезают резьбы с шагом примерно до 2 мм. Для более мягких цветных металлов этот предел может быть несколько увеличен. Резьбы с крупным шагом предварительно обрабатывают резцом, а затем калибруют плашками.

Круглая плашка (рис. 2.21, а) по внешнему виду напоминает гайку, в которой для создания режущих кромок просверлены стружечные отверстия.

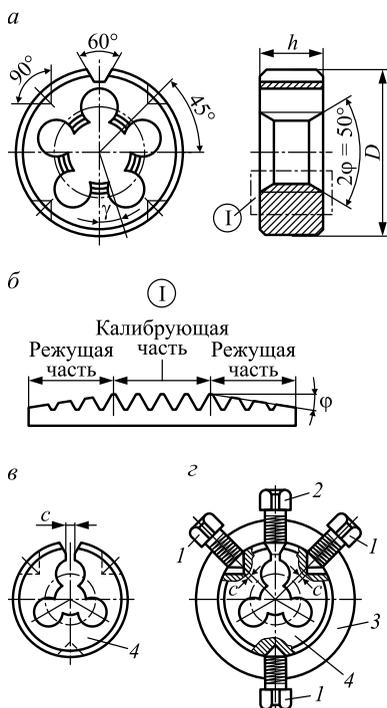


Рис. 2.21. Резьбонарезные плашки:
 а – вид плашки в плане: γ – передний угол; 2ϕ – угол фаски; h – толщина плашки; D – наружный диаметр плашки; б – элементы резьбы плашки; в – разрезная регулируемая плашка; г – закрепление плашки в плашкодержателе; 1 – зажимные винты; 2 – регулирующий винт; 3 – плашкодержатель; 4 – плашка; с – прорезь регулируемой плашки

степеней точности от $H1$ до $H4$, которыми соответственно можно нарезать резьбы со степенями точности от $4H$ до $7H$. На рис. 2.22 изображены основные типы метчиков.

Ручные метчики предназначены для нарезания резьб вручную в сквозных и глухих отверстиях. Однако их иногда применяют для аналогичных токарных работ.

Для распределения общей нагрузки и облегчения резания ручные метчики выпускаются комплектами из 2–3 штук. Порядковый номер метчика в комплекте (кроме чистового) обозначается рисками на хвостовике.

Нарезание резьбы метчиками. Метчики, выпускаемые централизованно, предназначены для нарезания внутренних крепежных резьб. По форме они делятся на цилиндрические и конические; по назначению – на ручные, машинно-ручные и гаечные; по числу инструментов – на одинарные и комплектные (из 2–3 штук).

Для того чтобы создать нормальные условия резания, зубьям метчика заточкой придают определенную геометрическую форму. Задний угол в пределах $6...8^\circ$ создают только на режущей части затылованием по наружному диаметру. Передний угол имеет одинаковую величину на всей длине рабочей части. Размеры его зависят от свойств обрабатываемого материала: для сталей – $10...15^\circ$; для чугуна и бронзы – $0...5^\circ$; для легких сплавов – $25...30^\circ$.

Для метрических резьб со скользящей посадкой выпускаются метчики четырех

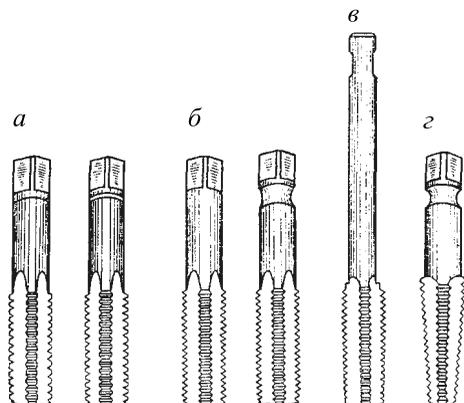


Рис. 2.22. Типы метчиков:
a – ручные; *б* – машинно-ручные; *в* – гаечные; *г* – конические

Ручные метчики изготавливаются из сталей У10А–У12А со степенью точности *H4*.

Машинно-ручными метчиками нарезают резьбы в сквозных и глухих отверстиях машинным способом и ручным (с шагом до 3 мм). Они выполняются одинарными и комплектными (из 2 штук). Последние предусмотрены главным образом для нарезания резьб с крупным шагом и в труднообрабатываемых материалах. На хвостовике таких метчиков имеется радиусная канавка для крепления в резьбонарезных патронах.

Машинно-ручные метчики изготавливаются из быстрорежущей стали со степенью точности *H1–H3*.

Гаечные метчики отличаются от машинно-ручных главным образом удлиненной режущей частью и длинным хвостовиком для нанизывания гаек во время работы.

На хвостовике метчики маркируются: обозначение резьбы, номер метчиков в комплекте, степень точности и материал.

Нарезание резьбы резцами. Резбовыми резцами выполняют треугольные, ходовые и многозаходные резьбы крупных размеров, повышенной точности или строго соосных с другими поверхностями детали (рис. 2.23).

Будучи универсальным, этот способ в то же время малопродуктивен. Поэтому им следует пользоваться лишь в случаях, когда другие способы нарезания и накатывания резьб выполнить невозможно.

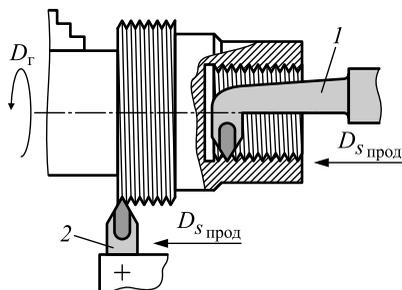


Рис. 2.23. Нарезание резьбы резцом:

1 – резцовой резец для внутренней резьбы; 2 – резцовой резец для наружной резьбы

Применяемые инструменты. Нарезание осуществляют резцовыми резцами и гребенками (рис. 2.24).

Резцы могут быть изготовлены из быстрорежущей стали или оснащены твердым сплавом.

У резцов из быстрорежущей стали для наружных и внутренних резьб (рис. 2.24, а, б) угол профиля ϵ и форма вершины должны соответствовать данным резьб. Для твердосплавных резцов угол профиля ϵ уменьшают на $30\ldots 60'$, так как резание с высокой скоростью приводит к некоторому увеличению этого угла на резьбе.

Режущие кромки резцов должны быть строго прямолинейны, без видимых зазубрин, иначе все неточности будут перенесены на профиль резьбы. Контроль профиля заточенных резцов выполняют по шаблону (рис. 2.25).

В серийном производстве широко используются резьбовые гребенки для внутренних (см. рис. 2.24, з) и наружных (см. рис. 2.24, д, е, ж) резьб. Они имеют 5–6 зубцов, из которых 2–3 скошены под углом $\varphi = 25\ldots 30^\circ$, и образуют режущую часть. Остальные зубцы с полным профилем составляют калибрующую часть гребенки.

Гребенки производительнее резцовых резцов, так как позволяют нарезать резьбу за меньшее число рабочих ходов. Однако они могут быть применены только для резьб со свободным выходом и определенного шага.

Ходовые резьбы предназначены для преобразования вращательного движения в поступательное. К ним относятся трапецеидальные, упорные, модульные и прямоугольные резьбы.

Резцовые резцы для ходовых резьб (см. рис. 2.25) затачиваются и доводятся по шаблонам соответственно шагу резьбы.

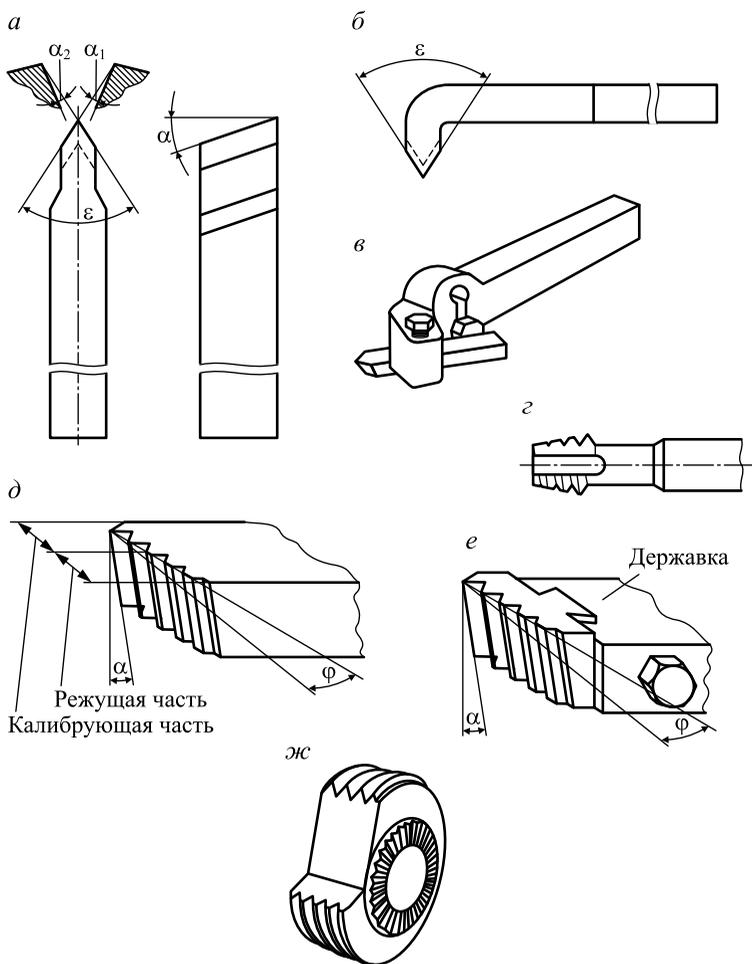


Рис. 2.24. Резьбонарезные инструменты:
а, б, в – резьбовые резцы; *г, д, е, ж* – резьбовые гребенки

Ходовые резьбы с шагом до 3...4 мм выполняют обычно одним чистовым резцом; резьбы с более крупным шагом – вначале черновыми резцами, затем чистовыми.

У многозаходных резьб различают ход и шаг. Ходом t называется расстояние между одноименными точками соседних витков одной и той же винтовой канавки, измеренное парал-

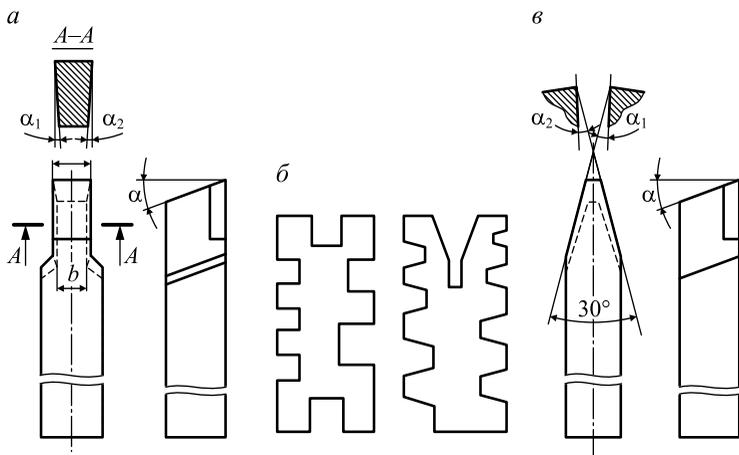


Рис. 2.25. Резцы для прямоугольных (а) и трапецидальных (в) резьб и шаблоны для их контроля (б)

лельно оси резьбы. Шаг p равен расстоянию между одноименными точками двух любых соседних витков.

В отличие от нарезания однозаходных нарезание многозаходных резьб состоит в том, что ход делят на заходы для нарезания каждой последующей винтовой канавки.

Фрезерование резьбы. Фрезерование наружной и внутренней резьб осуществляется на резьбофрезерных станках двумя методами: дисковой фрезой и групповой фрезой.

Первый метод применяют при нарезании наружных резьб с большим шагом, главным образом трапецидальных. Нарезание производят за один ход, а очень крупных резьб — за два или три хода. Профиль фрезы соответствует профилю резьбы; ось фрезы расположена относительно оси заготовки под углом, равным углу подъема резьбы (рис. 2.26).

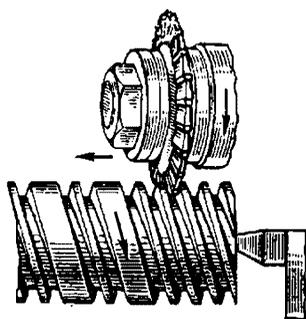


Рис. 2.26. Фрезерование резьбы дисковой фрезой

При нарезании резьбы фреза вращается и имеет поступательное движение вдоль оси заготовки на один шаг за один оборот заготовки. Вращение заготовки создает круговую подачу.

Основное время при нарезании резьбы дисковой фрезой на резьбофрезерных станках

$$T_0 = \frac{(l_0 + l_{\text{вп}} + l_n)}{p} \frac{\pi d}{s_m \cos \alpha} ig \text{ (мин)},$$

где l_0 — длина резьбы, мм; $l_{\text{вп}} = 1/3$ шага резьбы — величина врезания резьбы; мм; l_n — перебеги фрезы, мм (для резьбы на проход $l_n = 1/3$ шага резьбы; для резьбы в упор $l_n = 0$); p — шаг резьбы, мм; d — наружный диаметр нарезаемой заготовки, мм; α — угол подъема резьбы, град; i — число ходов; g — число заходов резьбы; круговая подача $s_m = s_z z n_{\text{ф}}$ мм/мин, здесь s_z — подача фрезы, мм/зуб; z — число зубьев фрезы; $n_{\text{ф}}$ — частота вращения фрезы, мин^{-1} .

Фрезерование резьбы групповой фрезой применяют для получения коротких резьб с малым шагом (рис. 2.27) на станке 5М5Б62. Групповая фреза (называемая иногда гребенчатой) представляет собой как бы группу дисковых фрез, собранных на одну оправку. Длина фрезы должна быть больше длины фрезеруемой резьбы. Групповую фрезу для нарезания резьбы устанавливают параллельно оси заготовки, а не под углом, как дисковую фрезу (резьбу с большим углом наклона гребенчатой фрезой нарезать нельзя). Сначала производят врезание фрезы на глубину резьбы, что происходит в течении 0,2 оборота заготовки. Затем в течение одного полного оборота заготовки резьба нарезается окончательно. Фреза как во время резания, так и

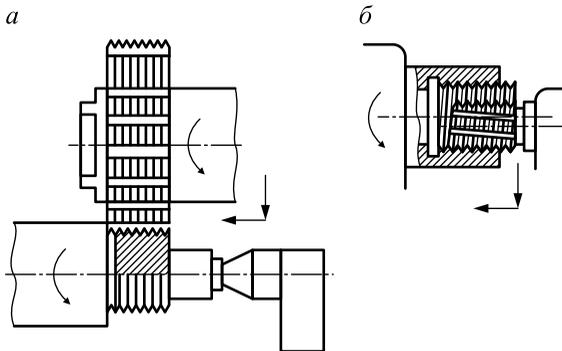


Рис. 2.27. Схема фрезерования групповыми фрезами:
 а — наружной резьбы; б — внутренней резьбы

во время основной работы имеет поступательное движение вдоль оси на один шаг за один оборот заготовки.

Основное время для нарезания резьбы групповой фрезой на резьбовых станках

$$T_o = \frac{1,2\pi d}{s_m}$$

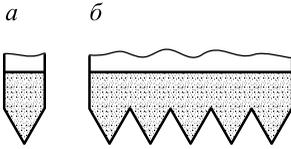


Рис. 2.28. Круги для шлифования резьбы:
а – односторонний; б – многосторонний

Шлифование резьбы. Резьбу шлифуют при изготовлении резьбонарезного инструмента, резьбовых калибров, накатных роликов, точных винтов после термической обработки, которая часто искажает элементы резьбы. Процесс шлифования резьбы одно- и многосторонним кругом (рис. 2.28) аналогичен фрезерованию соответственно

дисковой или групповой фрезой.

Шлифование односторонним кругом осуществляют при продольном перемещении заготовки (рис. 2.29, а) за несколько ходов. Правку односторонних кругов производят двумя алмазами с помощью специального приспособления, имеющегося на резьбошлифовальных станках. Многосторонние круги применяют (рис. 2.29, б) при шлифовании резьбы на заготовках, имеющих короткую длину нарезной части (обычно не более 40 мм).

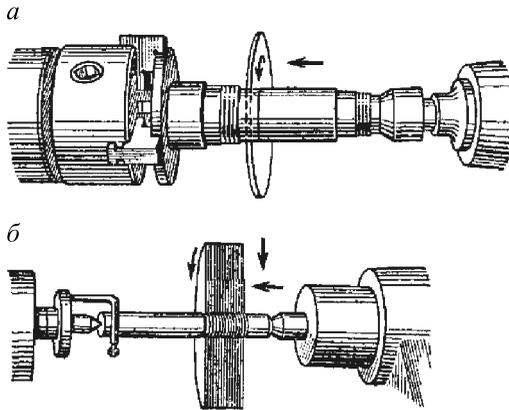


Рис. 2.29. Шлифование резьбы кругом:
а – односторонним; б – многосторонним

Ширина шлифовального круга должна быть больше длины шлифуемой резьбы на два-четыре шага. На круге делают кольцевые канавки с требуемым шагом. Шлифование производят по методу врезания при продольном передвижении заготовки на два-три шага за два-три ее оборота. Резьбошлифование многониточным кругом искажает профиль резьбы; при шлифовании односточным кругом искажение профиля получается значительно меньшим.

На некоторых резьбошлифовальных станках имеются специальные приспособления для профилирования многониточного шлифовального круга алмазом. При шлифовании резьбы припуск оставляют 0,15...0,35 мм на сторону профиля.

Основное время для шлифования резьбы односточным кругом определяется по формуле

$$T_o = \frac{(l_0 + l_{вр} + l_{п}) a}{pns_n} k \text{ (мин)},$$

где l_0 – длина резьбы, мм; $l_{вр} = 1/3$ шага резьбы – длина вырезания, мм; $l_{п} = 1/2$ шага резьбы – длина перебега, мм; a – припуск на шлифование, мм; p – шаг резьбы, мм; n – частота вращения заготовки, мин^{-1} ; s_n – поперечная подача на один проход (глубина шлифования), мм; k – коэффициент, учитывающий точность шлифования.

Основное время шлифования резьбы многониточным кругом

$$T_o = \frac{\pi d n_m}{1000V} \text{ (мин)},$$

где d – наружный диаметр резьбы, мм; n_m – частота вращения заготовки за время нарезания резьбы, обычно $n_m = 2,2 \text{ мин}^{-1}$ (первый оборот – предварительное шлифование, второй оборот – окончательное), подвод заготовки к кругу производится во время ее вращения, поэтому для шлифования требуется не 2, а 2,2 оборота; V – скорость вращения заготовки, м/мин.

Резьбы с большим шагом шлифуют после предварительного нарезания резцом или фрезой и термической обработки их. Резьбы с малым шагом (до 1,5 мм) шлифуют по сплошному металлу на закаленном валике иногда однопрофильным, чаще многопрофильным кругом. Резьбу шлифуют на резьбошлифовальных станках. Если таких станков на заводе нет, то шлифование резьбы как наружной, так и внутренней можно произво-

дить на токарно-винторезных станках с помощью специальных приспособлений. Достигаемая точность при различных способах резьбошлифования приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Точность при различных способах резьбошлифования

Шлифование	По среднему диаметру, мм	По шагу резьбы на длине 25 мм
Многониточное по методу: врезания	$\pm 0,03$	$\pm 0,005...0,008$
продольной подачи	$\pm 0,0015$	$\pm 0,005...0,008$
Однониточное	$\pm 0,005$	$\pm 0,002...0,003$

Примечание. Для всех способов точность резьбошлифования по половине угла профиля $\pm 6...10$ мин.

Бесцентровое шлифование наружной резьбы осуществляют преимущественно в массовом производстве. Для этого используют станки, созданные по схемам обычных бесцентрово-шлифовальных станков, снабженных многониточными кругами с кольцевыми канавками с профилем шлифуемой резьбы. Круги имеют конусообразную заборную часть, что позволяет шлифовать заготовку по наружному диаметру при наличии припуска, а профиль резьбы образуется постепенно по мере перемещения заготовки. Заготовка опирается на нож, установленный под углом подъема винтовой линии резьбы. Ось ведущего круга наклонена в вертикальной плоскости в ту же сторону, что и нож, но на угол вдвое больший, благодаря чему заготовка кроме вращения осуществляет также осевую подачу на один шаг за один оборот. При шлифовании таким методом может быть получена резьба точного класса, а производительность (для заготовок длиной 20...30 мм) 30–50 шт/мин.

Накатывание резьбы. При накатывании резьба образуется под давлением резьбонакатных плашек, имеющих канавки требуемого профиля. Полученная таким способом резьба имеет ровные и чистые стороны профиля с уплотненной поверхностью. Процесс накатывания резьбы осуществляется в холодном состоянии. Материал заготовки в значительной степени влияет на качество резьбы. Высокое качество резьбы получается на заготовках из пластичного материала. На твердом материале резьба, в особенности крупная, накатывается с большими давлениями на мощных станках. Диаметр заготовки под накатывание резьбы равен среднему диаметру плюс 0,2...0,06 мм.

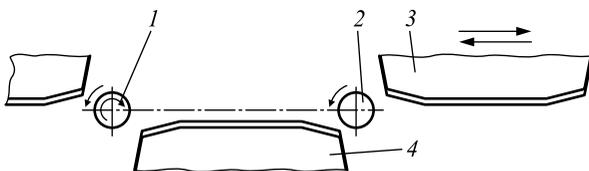


Рис. 2.30. Схема накатывания резьбы плоскими плашками:
 1 – заготовка после накатывания; 2 – заготовка до накатывания; 3 – подвижная плашка;
 4 – неподвижная плашка

Резьбу накатывают плоскими плашками и роликами. Схема накатывания резьбы плоскими плашками приведена на рис. 2.30. Рабочая поверхность плашек имеет прямолинейные канавки с профилем и углом наклона относительно направления движения, соответствующими профилю и углу подъема резьбы заготовки. На цилиндрической заготовке в результате перемещения подвижной плашки 3 из первоначального положения в конечное и вследствие деформации металла накатывается резьба. Плашки имеют заборную часть, производящую захват заготовки и формирование профиля, калибрующую часть и сбег, обеспечивающий плавный выход заготовки из плашек.

При работе плоскими плашками возникают большие давления, поэтому этим методом нельзя накатывать резьбы на пустотелых заготовках.

Диаметр заготовки под накатывание

$$d_3 = \sqrt{0,5(d_n^2 + d_b^2)},$$

где d_n – наружный диаметр резьбы, мм; d_b – внутренний диаметр резьбы мм.

Для накатывания резьбы плоскими плашками необходимы специальные станки. На резьбонакатных автоматах, работающих плоскими плашками, можно накатывать резьбу диаметром 2...26 мм и длиной 125 мм. Автоматы имеют автоматические загрузочные устройства и обладают высокой производительностью.

Резьбу накатывают также роликами (двумя и тремя). Накатывание резьбы диаметром 5...25 мм одним роликом (рис. 2.31, а) осуществляют на токарных, токарно-револьверных станках и автоматах. Заготовку 3 зажимают в патроне или цанге станка, а накатной ролик 2 – в державке 1, установленной в суппорте. На

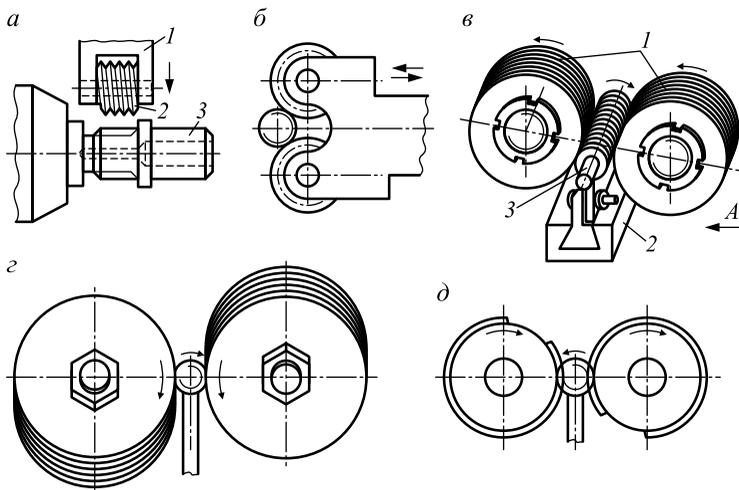


Рис. 2.31. Схемы накатывания резьбы роликами

ролике 2 резьба имеет направление, противоположное накатываемой резьбе, т.е. правую резьбу накатывают роликом с левой резьбой, и наоборот. Средний диаметр ролика и число заходов резьбы его должны быть кратными тем же параметрам накатываемой резьбы. Накатывание резьбы одним роликом может вызвать изгиб заготовки из-за односторонней радиальной силы.

Для уменьшения радиальной силы применяют накатывание резьбы с тангенциальной подачей (рис. 2.31, б) двумя роликами с постоянным межцентровым расстоянием. Наибольшее распространение получил способ накатывания резьбы двумя роликами (рис. 2.31, в), осуществляемый на резьбонакатных станках. Заготовку 3 помещают на опорной планке 2 между роликами 1 с винтовыми канавками. Оба ролика вращаются в одну сторону, причем один из роликов получает радиальное перемещение (по стрелке А).

Реже применяют резьбонакатные станки с тремя роликами. Радиальная подача осуществляется одновременно всеми тремя роликами. Центрирование заготовки производится самими роликами, при этом не требуется никаких опор. Скорость вращения роликов 12...100 м/мин в зависимости от размера резьбы, материала заготовки и точности резьбы. Накатными роликами можно получить резьбу 4–6-й степени точности.

На некоторых резьбонакатных станках можно накатывать резьбу роликами при продольной подаче заготовок. Ролики снабжены заборными частями при постоянном межцентровом расстоянии. Накатывание осуществляется в результате самозатягивания заготовки. Ролики имеют кольцевые канавки.

Оси роликов относительно накатываемой заготовки наклонены под углом подъема резьбы (рис. 2.31, *з*). Длина резьбы, накатываемой этим способом, не ограничена. Точность резьбы получается ниже, чем при обычном накатывании роликами. Кроме круглых, применяют также затылованные ролики (рис. 2.31, *д*). Каждый такой ролик имеет четыре участка: затылованный по верху заборный, цилиндрический калибрующий, затылованный по профилю освобождающий и загрузочно-разгрузочный. Ролики вращаются синхронно, и когда вырезы в них находятся друг против друга, накатанная заготовка автоматически выталкивается, а из бункера подается новая заготовка. Резьба образуется за один оборот роликов.

При большом отношении диаметров накатных роликов и заготовки на окружности каждого ролика можно сделать два и даже три формообразующих и калибрующих участка с вырезами и накатывать за один оборот роликов не одну, а две или три заготовки.

Резьбонакатные головки типа РНГ осуществляют протачивание под накатывание и накатывание резьбы. Распространены две разновидности головок, работающих с осевой и тангенциальной подачами. Особенностью головки с осевой подачей является наличие трех радиально установленных резцов, расположенных перед накатными роликами. При обратном ходе головки резцы и ролики отводятся от заготовки в радиальном направлении.

В головке с тангенциальной подачей перед двумя накатными роликами установлен широкий резец, который в процессе тангенциального перемещения головки протачивает заготовку до необходимого размера, после чего в работу вступают накатные ролики.

Небольшое применение для накатывания мелких винтов нашли станки, работающие цилиндрической и сегментной плашками (рис. 2.32, *а*). Вращающаяся цилиндрическая плашка захватывает заготовку 1 и прокатывает ее по неподвижной сегментной плашке 2. На некоторых станках, работающих по этому принципу, установлены четыре сегментные плашки 3 (рис.

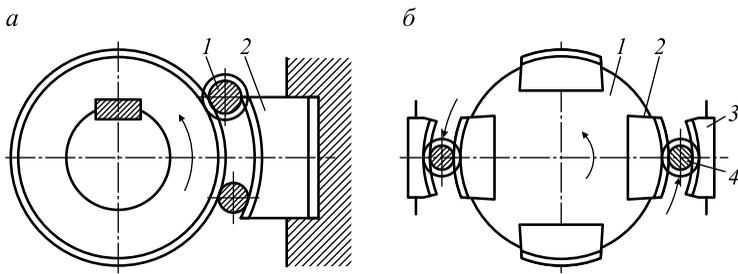


Рис. 2.32. Схема накатывания резьбы сегментными шпонками

2.31, б), а цилиндрическая вращающаяся плашка имеет диск 1, на котором закреплены четыре накатные сектора 2. Из бункера заготовки 4 автоматически попадают в загрузочные позиции, на которых начинается процесс накатывания. За один оборот диска 1 накатывается резьба у восьми заготовок. Точность накатываемой резьбы на таких станках — среднего класса, а их производительность — 300...400 шт/мин.

Для получения внутренних резьб малых диаметров (до 10 мм) в заготовках их пластинных мягких материалов можно применять бесканавочные метчики-раскатчики, выдавливающие профиль резьбы. Применение более высоких скоростей вращения, по сравнению с нарезанием, повышает производительность труда.

Применение различных способов нарезания резьбы. Резьбу нарезают резцом на токарно-винторезных станках на точных и длинных винтах, при нестандартных профилях резьбы, а также когда применение или изготовление специального инструмента (фрез, плашек или метчиков) встречает затруднения. При этом способе достигается большая точность, чем на резьбофрезерном или токарно-револьверном станках. Низкая производительность и требуемая высокая квалификация станочника являются недостатками нарезания резьбы на токарных станках. Крепежную резьбу с шагом $p \leq 3$ мм нарезают на токарно-револьверных станках и автоматах плашками с винторезными головками при совмещении нарезания резьбы с обработкой других поверхностей заготовок. Трапецеидальную и треугольную резьбы целесообразно фрезеровать при достаточном объеме работы, так как этот метод требует применения специализированных станков. При фрезеровании не требуется высокая квалификация станочника и легко

осуществима работа не нескольких станках одновременно. Резьбу шлифуют на закаленном резьбовом режущем и измерительном инструменте, так как с помощью этого метода можно получить точную резьбу. Крепежную резьбу шагом $p \leq 3$ мм накатывают в крупносерийном и массовом производстве ввиду высокой производительности и высокой точности этого способа получения резьбы.

Контроль резьб. Различают два вида контроля параметров резьб: комплексный и поэлементный.

Комплексный контроль параметров резьб осуществляется калибрами-кольцами и калибрами-пробками. Калибры-кольца применяют для контроля годности параметров наружной резьбы, а калибры-пробки — внутренней резьбы. Проходные стороны калибров имеют полный профиль резьбы; с их помощью контролируют приведенный средний диаметр резьбы, учитывающий влияние всех ее параметров на свинчиваемость. Непроходные калибры имеют укороченный профиль и небольшое число витков резьбы; ими контролируют только средний диаметр.

Проходные калибры должны свободно свинчиваться с проверяемой поверхностью детали, а непроходные калибры — прилизительно только на 1–1,5 оборота.

Калибры-кольца жесткие (рис. 2.33, *а*) применяют для контроля наружной резьбы диаметром 1...300 мм. В кольце диаметром 105...305 мм для облегчения работы ввинчиваются ручки (рис. 2.33, *б*). Регулируемые кольца можно разжимать на размер наружного диаметра резьбы (рис. 2.33, *в*).

Для контроля отдельных участков наружной резьбы применяют калибры-скобы (рис. 2.33, *г*), не требующие длительной операции свинчивания.

Калибры-пробки для контроля метрической резьбы выпускают нескольких типов: двухсторонние калибры со вставками, проходные и непроходные (рис. 2.34, *а*); однопредельные, калибры с насадками (рис. 2.34, *б*), с ручками на боковой поверхности калибра (рис. 2.34, *в*).

При *поэлементном (дифференцированном) контроле* наружный диаметр наружной резьбы и внутренний диаметр внутренней резьбы измеряются теми же универсальными средствами, которые используются для наружных и внутренних гладких поверхностей.

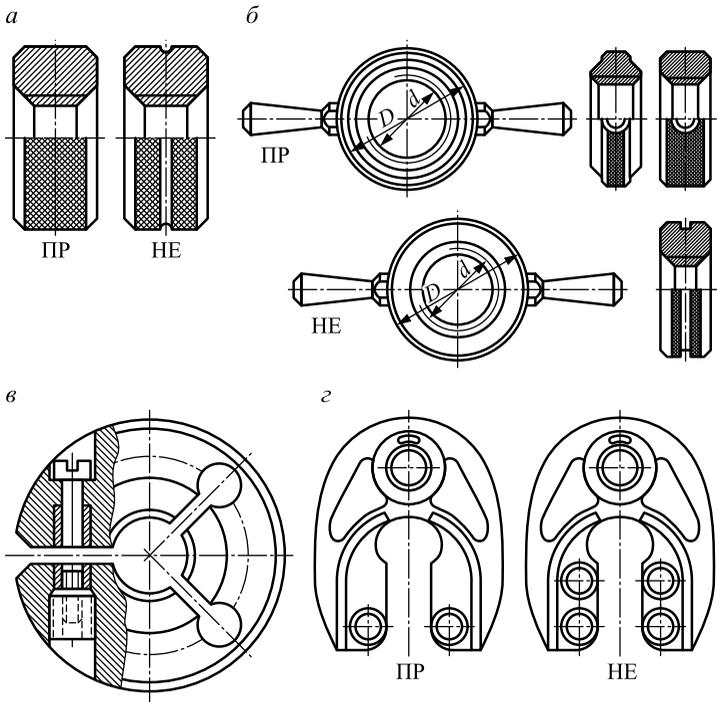


Рис. 2.33. Резьбовые калибры-кольца и калибры-скобы:
 а – предельные нерегулируемые кольца; б – предельные нерегулируемые кольца с ручками; в – предельное регулируемое кольцо; г – предельные калибры-скобы; ПР, НЕ – соответственно проходные и непроходные калибры-кольца и калибры-скобы

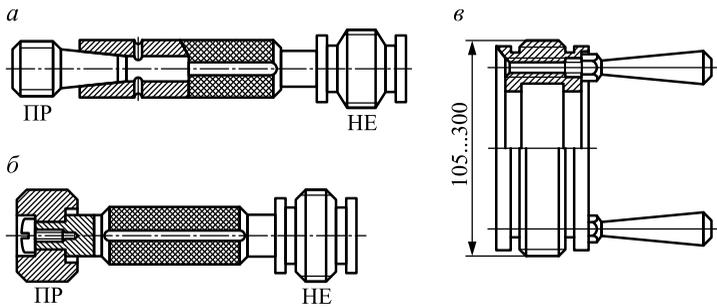


Рис. 2.34. Резьбовые калибры-пробки

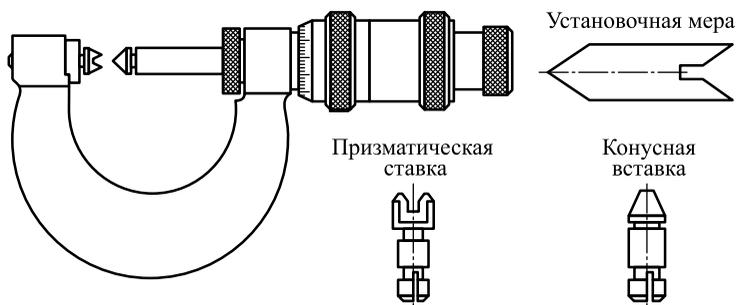


Рис. 2.35. Резьбовой микрометр со вставками

Внутренний диаметр наружной и наружный диаметр внутренней резьбы измерениям не подлежат, так как отклонения на эти параметры стандартом не установлены.

Средний диаметр и шаг наружной резьбы измеряются с помощью резьбового микрометра со вставками (рис. 2.35). Призматическая вставка устанавливается в отверстие неподвижной пятки, а конусная — в микровинт. Вставки выбирают в соответствии с шагом резьбы. Каждый резьбовой микрометр снабжен комплектом вставок. Призматическая вставка обхватывает виток резьбы, а конусная вставка устанавливается в канавку между витками.

Отсчет показаний осуществляется так же, как и на гладком микрометре.

Более точным методом измерения среднего диаметра наружной резьбы является косвенный метод трех проволочек (рис. 2.36). Во впадины резьбы закладываются три калиброванные проволочки одинакового стандартного диаметра. Гладким микрометром измеряется расстояние M по выступам проволочек. Диаметр проволочек выбирают в зависимости от типа и шага резьбы по специальным таблицам.

Для измерения среднего диаметра внутренней резьбы применяют приборы с шаровыми наконечниками. Индикаторный прибор (рис. 2.37) имеет сменную резьбовую пробку 4 с шаровыми вставками 3. При измерениях пробку ввинчивают в резьбовое отверстие. Коническая игла 2, связанная со стрежнем индикатора 1, раздвигает вставки 3 до контакта с профилем резьбы. Прибор на нуль настраивают по образцовому калибру. Индикатор 1 показывает отклонение действительного размера от размера образца.

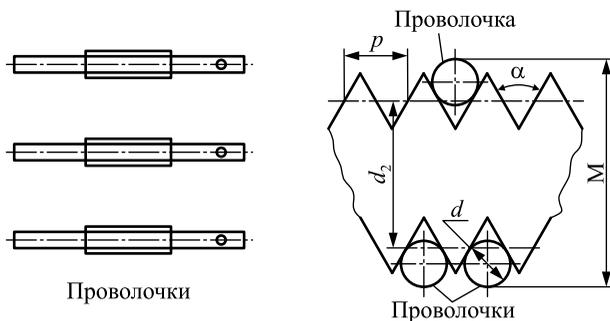


Рис. 2.36. Измерение среднего диаметра наружной резьбы методом трех измерительных проволок:

p – шаг резьбы; α – угол профиля резьбы; d_2 – средний диаметр наружной резьбы; d – диаметр проволочек; M – размер, измеряемый гладким микрометром

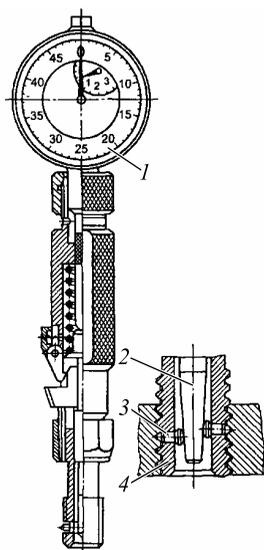


Рис. 2.37. Прибор для измерения среднего диаметра внутренней резьбы

Средний диаметр резьбы свыше 18 мм измеряют на горизонтальном оптиметре (рис. 2.38) с помощью трех проволок. При этом проволочки 2 подвешиваются на бирки 3 на кронштейне 1, укрепленном на пинольной трубке. При измерении используются плоские наконечники.

Оптиметр устанавливают на ноль по блоку концевых мер. Деталь 5 с резьбой закрепляют на столе 6 с помощью приспособлений 4. При диаметре резьбы меньше 60 мм измеренную деталь закрепляют на столике оптиметра так, чтобы ось резьбы располагалась горизонтально и вертикально к линии измерения, а при диаметре свыше 60 мм – только вертикально. Процесс измерения аналогичен измерению на оптиметре гладких пробок. Отклонение показаний оптиметра от установки на ноль дает отклонение среднего диаметра резьбы от номинального размера.

Резьбовые шаблоны предназначены для определения шага и угла профиля резьбы. Выпускаются в виде пластинок с зубца-

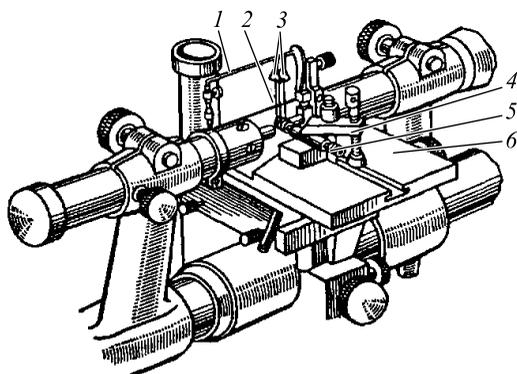


Рис. 2.38. Измерение среднего диаметра резьбы методом трех проволочек на горизонтальном оптиметре

ми, имеющих профиль метрической ($\alpha = 60^\circ$) или дюймовой ($\alpha = 55^\circ$) резьбы (рис. 2.39). Пластинки комплектуются в наборы. Пределы величин шага для метрической резьбы – от 0,4 до 6 мм, для дюймовой резьбы – от 28 до 11 ниток на 1 дюйм.

Шаг резьбы можно измерить индикаторным шагомером (рис. 2.40), который применяют для измерения шага резьбы калибров-пробок с диаметром свыше 100 мм.

Индикаторный шагомер состоит из пружинной головки 4, с которой связаны базовая ножка 3, измерительный наконечник 2 и измерительный рычаг 1 с шаровым наконечником. На нуль прибор настраивают по образцовому калибру. Базовая ножка 3 устанавливается между витками во впадину резьбы. При отклонениях шага измерительный рычаг 1 поворачивается и перемещает измерительный наконечник 2. Величину перемещения наконечника считывают по шкале головки 4.



Рис. 2.39. Резьбовой шаблон

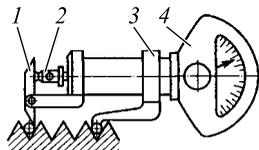


Рис. 2.40. Индикаторный шагомер:
1 – рычаг; 2 – измерительный наконечник;
3 – ножка; 4 – пружинная головка

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите классификацию резьб.
2. Какие формы профиля имеют резьбы?
3. Какие элементы характеризуют резьбу?
4. Что называется шагом резьбы?
5. Назовите элементы плашек.
6. Дайте характеристику ручных, машинно-ручных и гаечных метчиков и укажите их назначение.
7. В каких случаях резьбы нарезают резцами?
8. Какими методами на резьбофрезерных станках фрезеруют резьбу?
9. В каких случаях применяется шлифование резьбы?
10. В чем сущность процесса накатывания резьбы?
11. Назовите методы контроля резьб.

2.4. Обработка внутренних поверхностей тел вращения (отверстий)

На токарных станках обработку отверстий производят в зависимости от вида заготовки, требуемой точности и шероховатости поверхности: сверлением, рассверливанием, зенкерованием, растачиванием, развертыванием.

Отверстия делятся на *сквозные* (обрабатываемые на рабочий ход) и *глухие* (обрабатываемые на определенную глубину). По форме они бывают *гладкие*, *ступенчатые*, *с канавками* (рис. 2.41). Отверстия, длина которых превышает 5 диаметров, называют *глубокими*.

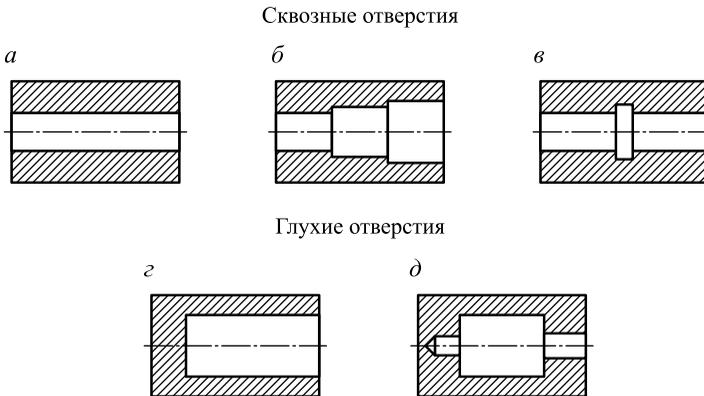


Рис. 2.41. Формы цилиндрических отверстий:
а, г – гладкие; б, д – ступенчатые; в – с канавкой

Выбор способа обработки отверстия зависит от того, для каких целей оно предназначено. Конструктор на чертеже указывает точность обработки и шероховатость поверхности соответственно служебному назначению деталей с отверстием.

В табл. 2.2 указана точность обработки и шероховатость поверхности, получаемые при обработке отверстий различными способами.

Таблица 2.2. Точность и шероховатость поверхности, получаемой при обработке отверстий различными способами

Вид обработки	Шероховатость поверхности Ra , мкм	Точность обработки, квалитеты
Сверление	12,5...25	11–12
Рассверливание	12,5	11–12
Зенкерование	6,3	10–11
Растачивание	6,3	8–9
Развертывание	До 3,2	7–9

Сверление – основной технологический способ образования отверстий в сплошном материале обрабатываемой заготовки.

Для обработки отверстий сверлением применяются спиральные, пушечные, ружейные сверла. Сверлением можно получить отверстия точностью 11–12-го квалитета и шероховатость $Ra12,5...25$ мкм. Рассверливанием увеличивают диаметр ранее просверленного отверстия и при определенных условиях повышают его точность примерно на 1 квалитет.

В качестве режущих инструментов для сверления и рассверливания применяют преимущественно спиральные сверла.

Спиральное сверло (рис. 2.42) представляет собой двузубый режущий инструмент, состоящий из рабочей части, шейки и хвостовика. Рабочая часть включает режущую и направляющую части.

Существенное влияние на сопротивление резанию при сверлении оказывает угол при вершине сверла 2φ . С уменьшением этого угла общее сопротивление резанию возрастает, а усилие подачи, действующей вдоль оси сверла, уменьшается (табл. 2.3). Для сверл общего назначения угол при вершине выполняется в пределах $116...118^\circ$.

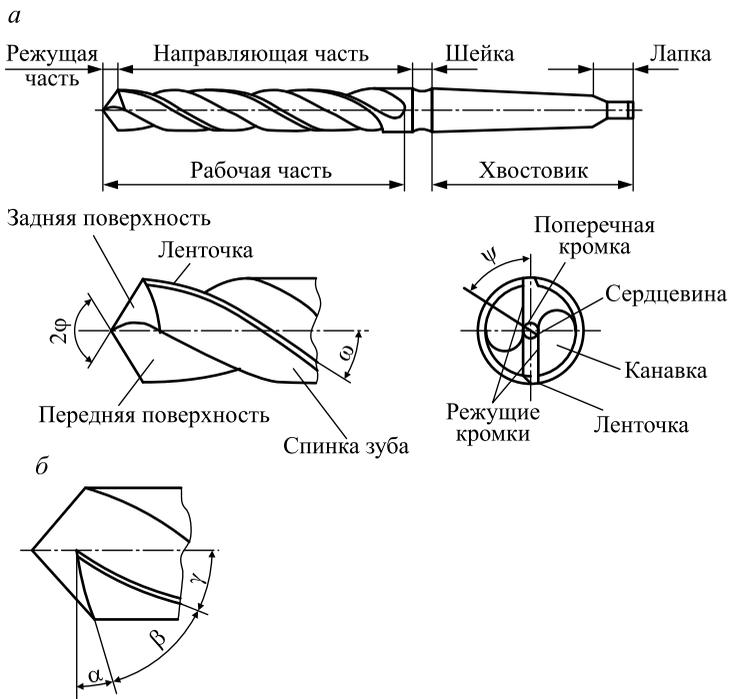


Рис. 2.42. Элементы и геометрия спирального сверла

Таблица 2.3. Значение угла 2ϕ в зависимости от обрабатываемого материала

Обрабатываемый материал	Значение угла 2ϕ , град.
Сталь, чугун	116...118
Твердый чугун и нержавеющая сталь	135
Легкие сплавы	90
Пластмассы	50
Медь	125

На токарном станке сверление производится невращающимся сверлом, которое закрепляется в пиноли задней бабки.

Сверла с коническим хвостовиком устанавливают непосредственно в отверстие пиноли с помощью переходных конических втулок Морзе семи номеров от 0 до 6 (рис. 2.43).

Сверла с цилиндрическим хвостовиком закрепляются на станке посредством сверлильных патронов (рис. 2.44, а).

Простейший кулачковый сверлильный патрон показан на (рис. 2.44).

Сверление отверстий большого диаметра сильно затрудняется из-за значительного усилия подачи. Поэтому отверстия диаметром свыше 30 мм выполняют двумя сверлами. Диаметр первого из них принимают равным примерно $1/2$ диаметра отверстия. Глубина резания при рассверливании определяется из формулы $t = D - d/2$ мм, где D — диаметр сверла, мм; d — диаметр отверстия в заготовке, мм.

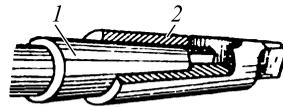


Рис. 2.43. Переходная втулка со вставленным в нее хвостовиком сверла:

1 — хвостовик сверла; 2 — переходная втулка

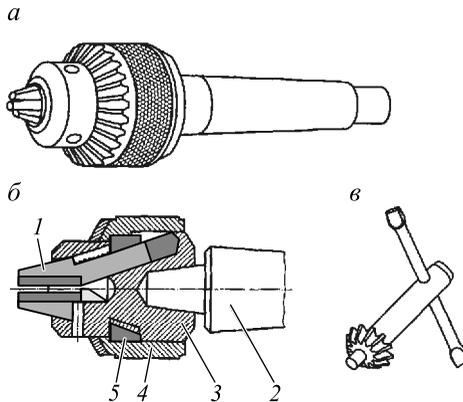


Рис. 2.44. Патрон для закрепления сверл:

а — общий вид; б — разрез: 1 — кулачок; 2 — хвостовик; 3 — корпус; 4 — обойма; 5 — резбовое кольцо; в — ключ

Глубокие отверстия обрабатываются пушечными и ружейными сверлами. Характерная особенность их конструкции — наличие одного зуба и большой направляющей поверхности.

При глубоком сверлении сверлом обычной конструкции неизбежен «увод» сверла в сторону из-за разности радиальных усилий на режущих кромках, что может привести к «разбивке» отверстия (увеличению диаметра), хотя ось отверстия остается прямолинейной. С целью предотвращения «увода» для сверления глубоких отверстий применяют специальные однокромоч-

ные («пушечные») сверла с прямой стружечной канавкой и четырехленточные сверла.

Зенкерование отверстий применяется для чистовой обработки просверленных, литых и кованных отверстий с точностью 10–11-го качества и шероховатостью $Rz40...20$ мкм, а также для их предварительной обработки под развертывание. Режущие инструменты, используемые при зенкеровании, называются зенкерами. Они отличаются от спирального сверла тем, что имеют не две, а три или четыре режущие кромки, расположенные на режущей части, и не имеют перемычки (рис. 2.45).

Зенкер состоит из рабочей части, которая подразделяется на калибрующую и режущую части, шейки, хвостовика и лапки (рис. 2.45, а).

По способу установки на станке зенкеры делятся на хвостовые (рис. 2.45, б, в) и насадные (рис. 2.45, г, д, е), а по конструкции рабочей части – на цельные (рис. 2.45, б, в) и сборные (рис. 2.45, е).

Хвостовой зенкер по внешнему виду напоминает сверло и состоит из тех же конструктивных частей и элементов. Однако в отличие от него зенкер имеет 3–4 зуба и режущую часть в форме усеченного конуса. Для уменьшения трения о стенки отверстия калибрующая часть зенкера выполняется с обратной конусностью 0,05...0,1 мм на каждые 100 мм длины.

Насадные зенкеры имеют конусообразное отверстие с конусностью 1 : 30 и паз под торцовую шпонку для крепления на оправке.

Сборная конструкция зенкеров позволяет многократно восстанавливать их по мере потери размеров.

Стандартами предусмотрен выпуск двух номеров зенкеров для отверстий диаметром 10...100 мм. Зенкеры № 1 предназначены для предварительной обработки отверстий с припуском под развертывание, № 2 – для окончательной обработки с точностью 11-го качества.

Зенкерование выполняется аналогично сверлению. Припуск под зенкер у предварительно просверленных отверстий должен составлять 1...3 мм на диаметр в зависимости от размера отверстия.

При выборе режима резания следует учитывать, что глубина резания для зенкера составляет $1/2$ припуска на диаметр отверстия. Подачу для зенкерования можно увеличить в 1,5–2 раза по сравнению с ее значением для сверления, скорость резания принимается в тех же пределах.

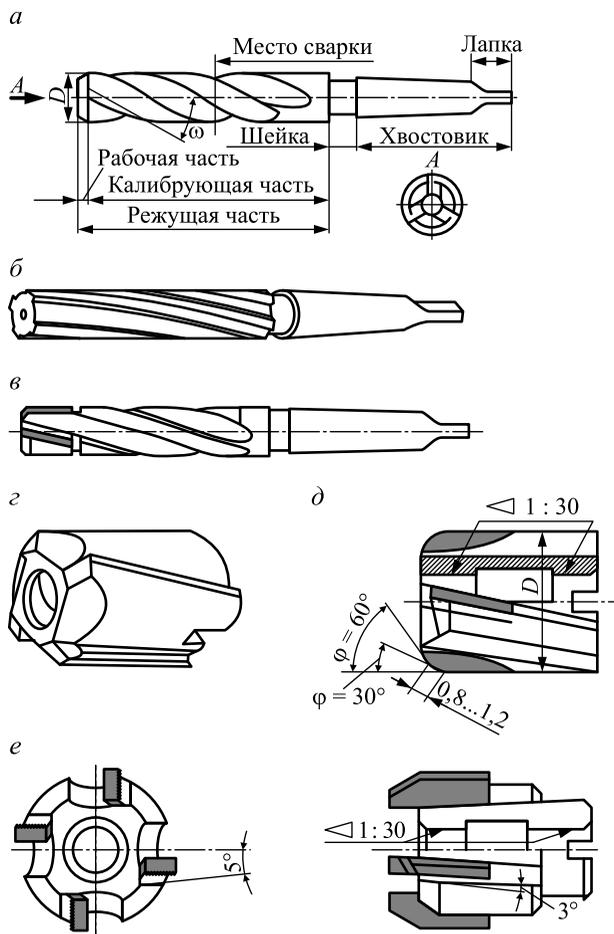


Рис. 2.45. Зенкеры:

a – части зенкера: D – диаметр зенкера; ω – угол наклона винтовой канавки; *б* – четырехперый цельный быстрорежущий; *в* – твердосплавный; *г* – насадной быстрорежущий; *д* – насадной твердосплавный; ϕ – угол в плане; *е* – насадной со вставными ножами

Растачивание отверстий применяют для обработки отверстий различных размеров и форм в полых заготовках с точностью до 9-го квалитета и шероховатостью до $Ra1$ мкм. Обладая универсальностью, этот способ вместе с тем малопроизводителен главным образом из-за недостаточной жесткости расточных резцов.

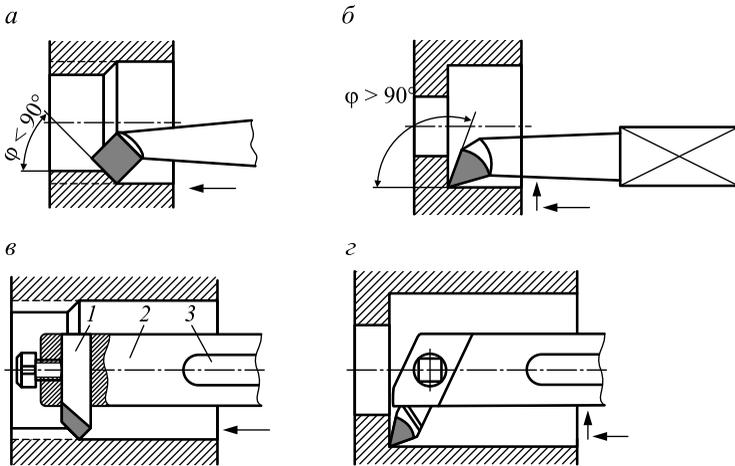


Рис. 2.46. Расточные резцы:
а, б — цельные; в, г — державочные

Расточные резцы по конструкции делятся на цельные и державочные (рис. 2.46), а по назначению — для сквозных отверстий (рис. 2.46, а) и глухих (рис. 2.46, б).

Из-за недостаточной жесткости цельных резцов ими можно пользоваться только для растачивания отверстий диаметром до 30 мм. Обработку более глубоких отверстий диаметром свыше 30 мм выполняют державочными резцами. Такие резцы изготавливаются двух разновидностей: с прямым креплением резца 1 в державке 2 (рис. 2.46, в) — для сквозных отверстий и с косым креплением (рис. 2.46, г) — для глухих отверстий. Ласки 3 на державке служат для устойчивого положения резцов в резцедержателе.

Учитывая сравнительно небольшую жесткость расточных резцов и более тяжелые условия работы, следует глубину резания и подачу для чернового растачивания ориентировочно уменьшать на 40...50% по сравнению с их соответствующими значениями чернового обтачивания, в остальном при выборе режимов резания для расточных работ можно пользоваться примерными данными.

Развертывание отверстий применяют для чистовой обработки отверстий 7–9-го качества и шероховатостью $Ra_{2,5}$... 0,5 мкм после сверления (только до диаметра 10 мм), зенкерования или растачивания. Режущими инструментами для рассмат-

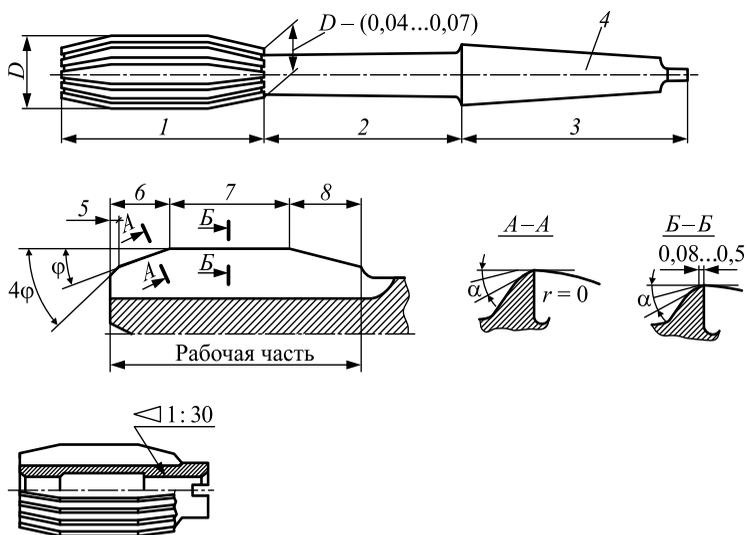


Рис. 2.47. Машинная хвостовая развертка:

1 – рабочая часть; 2 – шейка; 3 – хвостовик; 4 – конус Морзе; 5 – центрующая фаска; 6 – режущая часть; 7 – калибрующая часть; 8 – обратный конус

риваемого способа обработки на токарных станках служат машинные развертки (рис. 2.47).

Они отличаются от зенкоров большим количеством зубьев (обычно от 6 до 14), которые срезают мелкие стружки, тем самым повышая точность обработки.

По способу установки на станке развертки делятся на хвостовые и насадные, по конструкции рабочей части – на цельные и сборные. Последние состоят из корпуса и закрепленных в его пазах ножей.

Хвостовая развертка (см. рис. 2.47) состоит из хвостовика, шейки и рабочей части. В свою очередь рабочая часть делится на режущую, калибрующую и обратный конус.

Калибрующая часть имеет цилиндрическую форму. На ней располагаются вспомогательные режущие кромки, предназначенные для зачистки и калибрования отверстия. Чтобы концы зубьев калибрующей части не повредили отверстия, на небольшом участке ее выполняется незначительный обратный конус.

Для качественного развертывания необходимо обеспечить строгую соосность развертки и обрабатываемого отверстия. Для

этого следует тщательно выверить совпадение осей пиноли задней бабки и шпинделя. Кроме того, чтобы погрешности установки заготовки в патроне не влияли на качество отверстия, развертывание обычно выполняют за одну установку непосредственно после подготовительных действий по его обработке.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы особенности геометрии спирального сверла?
2. Объясните приемы сверления на токарном станке.
3. Какие сверла применяют для глубокого сверления?
4. Укажите назначение, типы и особенности зенкеров.
5. Как выполняется зенкерование на токарном станке?
6. В чем сущность растачивания?
7. Какими резцами выполняют растачивание отверстий?
8. В каких случаях применяется развертывание?

2.5. Технология обработки на сверлильных станках и их оснастка

На сверлильных станках можно выполнять не только сверление, но и другие технологические операции дальнейшей обработки отверстий. На современных сверлильных станках осуществляют следующие работы:

- сверление сквозных и глухих отверстий (рис. 2.48, *а*);
- рассверливание отверстий на больший диаметр (рис. 2.48, *б*);
- зенкерование, выполняемое для получения отверстия с высоким качеством и параметром шероховатости поверхности (рис. 2.48, *в*);
- зенкование, выполняемое для образования в основании просверленного отверстия гнезд с плоским дном под головки винтов и болтов (рис. 2.48, *г*);
- развертывание цилиндрических и конических отверстий, обеспечивающее высокую точность и шероховатость обрабатываемой поверхности (рис. 2.48, *д*);
- раскатывание отверстий специальными оправками со стальными закаленными роликами или шариками для получения плотной и гладкой поверхности отверстий, а так же шероховатости $Ra0,63...0,08$ мкм (рис. 2.48, *е*);
- нарезание внутренних резьб метчиками (рис. 2.48, *ж*);

- подрезание (цекование) торцов наружных и внутренних приливов для получения ровной поверхности, перпендикулярной к оси отверстия (рис. 2.48, з).

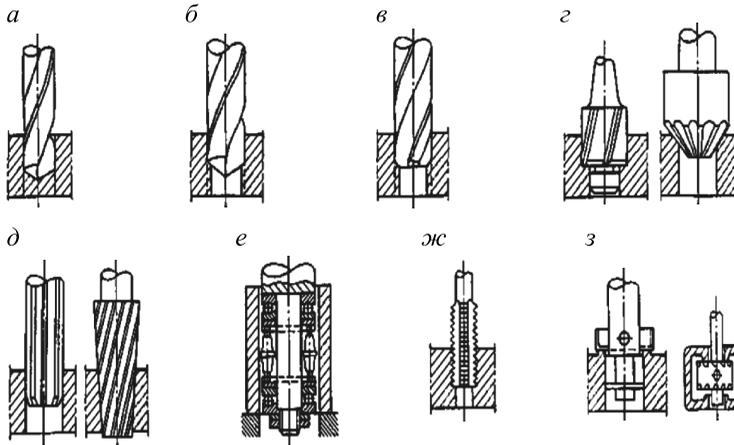


Рис. 2.48. Работы, выполняемые на сверлильных станках

Технологические возможности сверлильных станков не исчерпываются перечисленными работами. На них можно развальцовывать полые заклепки, обрабатывать многогранные отверстия, а также выполнять другие операции.

Отверстия на сверлильных станках обрабатывают различными режущими инструментами: сверлами, зенкерами, зенковками, развертками, резцами и метчиками.

Для крепления сверл, разверток, зенкеров и других режущих инструментов в шпинделе сверлильного станка применяют следующие вспомогательные инструменты: переходные сверлильные втулки, сверлильные патроны, оправки и т.д.

Переходные конические втулки служат для крепления режущего инструмента с коническим хвостовиком, когда номер конуса хвостовика инструмента не соответствует номеру конусов на шпинделе станка, например на токарно-винторезных станках.

Наружные и внутренние поверхности переходных втулок выполняют с конусом Морзе семи номеров от (0 до 6) по ГОСТ 8522–70. Втулку вместе со сверлом вставляют в конусное гнездо шпинделя станка. Если одной втулки недостаточно, то применяют несколько переходных втулок, вставляя одну в другую.

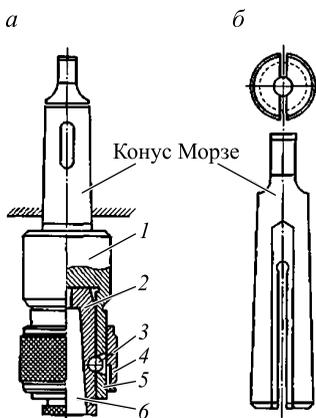


Рис. 2.49. Быстросменный сверлильный патрон (а) и коническая втулка для крепления сверл с цилиндрическим хвостовиком (б): 1 — корпус патрона; 2 — сменная втулка; 3 — шарики; 4 — муфта; 5 — кольцо; 6 — оправка

Для крепления режущих инструментов с цилиндрическим хвостовиком диаметром до 20 мм применяются *сверлильные патроны*.

Быстросменные сверлильные патроны применяют для сокращения вспомогательного времени при работе на сверлильных станках. Они позволяют быстро менять режущий инструмент, не выключая станок. Один из таких патронов, предназначенный для крепления режущих инструментов с коническими хвостовиками, изображен на рис. 2.49, а. Для крепления сверл с цилиндрическими хвостовиками в коническое отверстие патрона вставляют переходную коническую разрезную втулку (рис. 2.49, б).

В последнее время в серийном и массовом производстве широко применяют такие втулки для крепления сверл с цилиндрическими хвостовиками диаметром до 10 мм. Эта втулка, вставленная в шпиндель сверлильного станка, обеспечивает прочное закрепление сверла.

Самоустанавливающиеся сверлильные патроны применяют при обработке предварительно просверленных отверстий. Патроны позволяют центрировать режущий инструмент по оси обрабатываемого отверстия.

Предохранительные патроны служат для крепления метчиков при нарезании резьбы на сверлильных станках. Применение таких патронов улучшает качество нарезаемой резьбы и предохраняет метчик от поломки (рис. 2.50).

Реверсивные патроны используют при нарезании резьбы на сверлильном станке, который не имеет реверса (устройства для переключения на обратное вращение шпинделя). С их помощью метчик вывертывают из нарезного отверстия.

Для разверток, закрепляемых в шпинделе сверлильного станка, применяют *качающиеся оправки*, позволяющие инструменту занимать положение, совпадающее с осью обрабатываемого отверстия.

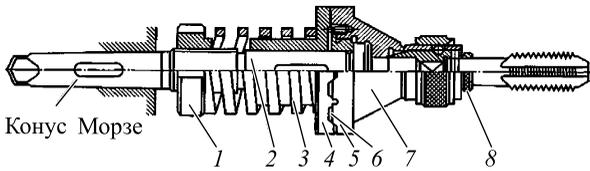


Рис. 2.50. Предохранительный патрон для нарезания резьбы в глухих сквозных отверстиях:

1 — гайка регулировочная; 2 — оправка; 3 — пружина; 4 — ведущая кулачковая полумуфта; 5, 7 — ведомые полумуфты; 6 — кулачки муфты; 8 — кольцо для крепления метчика

Для правильной установки и закрепления обрабатываемых заготовок на столе сверлильного станка применяют различные приспособления, из которых наиболее распространенными являются тиски машинные (винтовые, эксцентриковые и пневматические), призмы, упоры, угольники, кондукторы, специальные приспособления и др.

Винтовые машинные тиски широко используют в единичном производстве, а пневматические применяют чаще всего в серийном и массовом производстве при работе на станках различных групп.

Быстродействующие машинные тиски с рычажно-кулачковым зажимом (рис. 2.51) используют при работе на сверлильных станках. Они обеспечивают быстрый зажим заготовок. На плоских направляющих поворотной части 2 смонтировано основание 9 подвижной губки 5. Расстояние между губками тисков в зависимости от размеров обрабатываемой заготовки регулируются установочным винтом 4, имеющим трапецидальную резьбу. Губка 5 выполнена в виде рычага, на конец которого действует двойной кулачок 8 эксцентрикового валика 7, перемещаемого рукояткой 6. Основание 9 представляет собой опору для губки 5 рычага и кулачка 8. Для зажима обрабатываемой заготовки рукоятку 6 нужно перевести в горизонтальное положение.

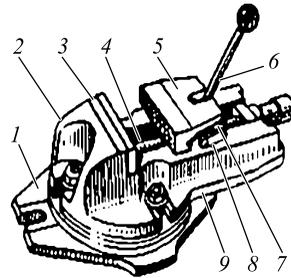


Рис. 2.51. Быстродействующие машинные тиски с рычажно-кулачковым зажимом:

1 — корпус; 2 — поворотная часть; 3 — неподвижная губка; 4 — винт; 5 — губка; 6 — рукоятка; 7 — эксцентриковый вал; 8 — двойной кулачок; 9 — основание

Для закрепления заготовок и обеспечения правильного положения инструмента относительно оси обрабатываемого отверстия на сверлильных станках используют специальные приспособления — кондукторы.

Для направления режущего инструмента в корпусе кондуктора имеются кондукторные втулки, которые обеспечивают точную обработку отверстий в соответствии с чертежом. Конструкция и размеры этих втулок стандартизированы. Существуют постоянные втулки (рис. 2.52, *а*) (применяются в кондукторах для мелкосерийного производства при обработке отверстия одним инструментом) и быстросменные (рис. 2.52, *б*) с замком (для кондукторов массового и крупносерийного производства). Втулки изготавливают из стали У10А или 20Х и подвергают химико-термической обработке для придания им необходимой твердости.

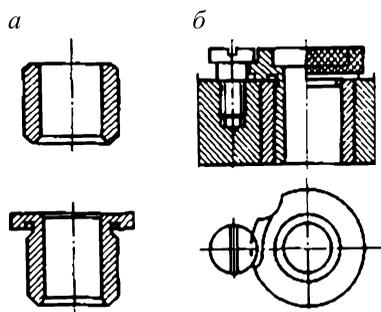


Рис. 2.52. Кондукторные втулки

Для уменьшения износа втулок и смещения оси обрабатываемого отверстия из-за возможного перекоса инструмента во втулке между ее нижним торцом и поверхностью заготовки оставляют зазор. В результате этого стружка не проходит через втулку и сбрасывается в сторону. При сверлении чугуна устанавливают зазор $0,3...0,5d$, где d — диаметр отверстия во втулке.

При сверлении стали и вязких материалов (меди, алюминиевых и других сплавов) зазор увеличивают (до диаметра отверстия во втулке).

Кондукторные плиты служат для установки в их отверстиях кондукторных втулок. В зависимости от способа соединения с корпусом кондуктора кондукторные плиты подразделяют на

постоянные, поворачиваемые, съемные, подвесные и подъемные. Постоянные плиты изготавливают как единое целое с корпусом кондуктора или жестко соединяют с ним сваркой или винтами. Поворачиваемые плиты вращаются на оси относительно корпуса кондуктора при установке и снятии обрабатываемой детали. Съемные плиты изготавливают отдельно от корпуса.

Применение кондукторов устраняет необходимость в разметке, нанесении центровых отверстий, выверке заготовок при креплении и других операциях, связанных со сверлением по разметке, снижает утомляемость рабочего и прочее, поэтому их широко используют в серийном и массовом производстве. В зависимости от конструкции различают накладные, скользящие, опрокидываемые и поворотные кондукторы.

Рассмотрим в качестве примера накладные кондукторы, называемые так потому, что их накладывают на обрабатываемую заготовку. Существует два вида накладных кондукторов: закрепляемые и незакрепляемые. На рис. 2.53 дана схема незакрепляемого накладного кондуктора для сверления четырех отверстий 6. Обрабатываемая заготовка устанавливается базовой поверхностью на поверхности приспособления 5 так, чтобы оси просверливаемых отверстий расположились вертикально, соответственно направлению рабочей подачи сверла. После закрепления в таком положении на заготовку накладывают кондукторную плиту 4. Два фиксирующих пальца 1 и 2 обеспечи-

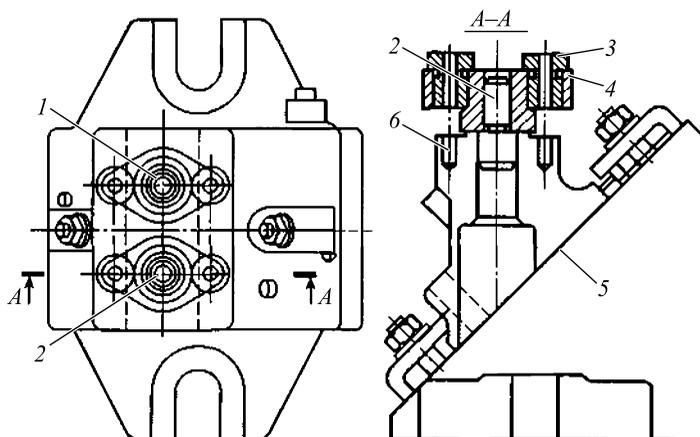


Рис. 2.53. Схема незакрепляемого накладного кондуктора

вают правильное положение направляющих втулок 3 относительно осей отверстий.

К *поворотным и передвижным приспособлениям*, используемым на сверлильных станках, относятся нормализованные стойки, поворотные и передвижные столы, обычно применяемые для обработки отверстий вместе со съёмными рабочими приспособлениями – поворотными кондукторами для установки и закрепления обрабатываемой заготовки и направления режущего инструмента. Поворотные приспособления, имеющие горизонтальную ось вращения делительной планшайбы, принято называть поворотными стойками, а приспособления с вертикальной осью вращения – поворотными столами.

Универсально-сборные приспособления (УСП) широко применяются на многих заводах и служат для закрепления заготовок при их обработке на различных металлорежущих станках (например, для обработки отверстий на сверлильных станках). Применение УСП дает большую экономию времени и средств.

Многошпиндельные сверлильные головки являются дополнительным приспособлением к сверлильному станку. Эти головки позволяют одновременно обрабатывать несколько отверстий различными инструментами, что значительно увеличивает производительность сверлильных станков.

На рис. 2.54 показана конструкция шестишпиндельной револьверной головки для последовательной обработки отверстий в заготовках различными режущими инструментами.

В головке устанавливают сменные шпиндели, приводы которых имеют различные передаточные числа. Такая конструкция головки позволяет без остановки и переналадки вертикально-сверлильного станка при последовательном повороте шпинделей выполнять различные виды обработки отверстия: сверление, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы и цекование торцов.

Каждый шпиндель головки поворачивается в вертикальное положение для последовательной обработки отверстия соответствующим режущим инструментом автоматически, без остановки станка и переключения скорости. Для включения в работу очередного шпинделя с инструментом револьверная головка, закрепленная на пиноли станка, поднимется.

При работе на сверлильных станках сверловщик часто использует контрольно-измерительный инструмент для контроля

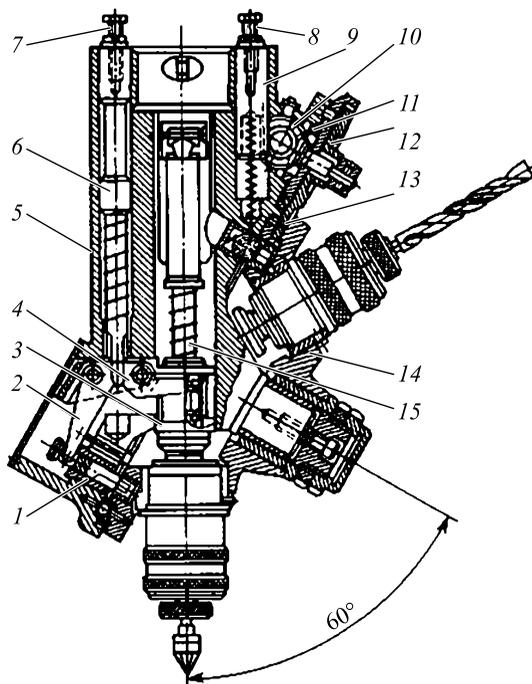


Рис. 2.54. Шестишпindleльная револьверная головка:

1 – фиксатор; 2 – рычаг фиксатора; 3 – ведущая полумуфта; 4 – рычаг муфты; 5 – корпус основной; 6 – стержень; 7, 8 – упорные винты; 9 – рейка; 10 – зубчатое колесо; 11 – коническая зубчатая передача; 12 – храповой механизм; 13 – зубчатый венец; 14 – поворотный корпус; 15 – шпindleль головки

диаметров и глубины отверстий, а также других размеров обрабатываемых заготовок.

Размеры отверстий измеряют и проверяют различными контрольно-измерительными инструментами, которые выбирают в зависимости от требуемой точности измеряемого размера и характера производства. Наиболее часто сверловщик использует следующие измерительные инструменты: измерительную линейку, нутромер, угольники, штангенциркуль, калибры гладкие, штангенглубиномер. Рассмотрим некоторые из них.

Измерительная линейка представляет собой жесткую стальную ленту длиной от 150 до 1000 мм и более с нанесенными на нее делениями через 1 мм и используется для приближенных

измерений габаритных размеров обрабатываемых заготовок, расстояний между центрами отверстий, диаметров отверстий и т.д. Точность измерения линейкой – 0,5 мм.

Индикаторный нутромер (рис. 2.55, а) применяют для измерения точных отверстий диаметром от 6 мм и более. Погрешность показаний нутромера $\pm 0,15$ мм; цена деления 0,01 мм. В комплект нутромеров входит набор сменных вставок, с помощью которых устанавливают нужные пределы измерения.

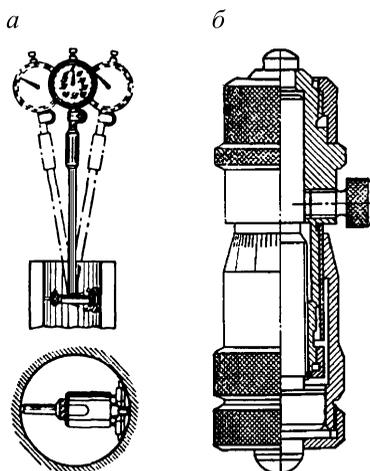


Рис. 2.55. Нутромеры

Для проверки точных отверстий применяют микрометрические нутромеры с ценой деления 0,01 мм и погрешностью показаний $\pm 0,006$ мм (рис. 2.55, б).

Гладкие калибры – бесшкальные контрольно-измерительные инструменты – используют главным образом в серийном или массовом производстве для контроля правильности изготовления отверстий.

В настоящее время применяют в основном предельные двусторонние калибры, у которых одна сторона имеет наибольшие предельные размеры детали и называется непроходной (НЕ). К предельным гладким калибрам относятся гладкие пробки (рис. 2.56, а).

Изделия, имеющие внутренние резьбы, контролируют резьбовыми калибрами – прототипами сопрягаемых изделий. Рабо-

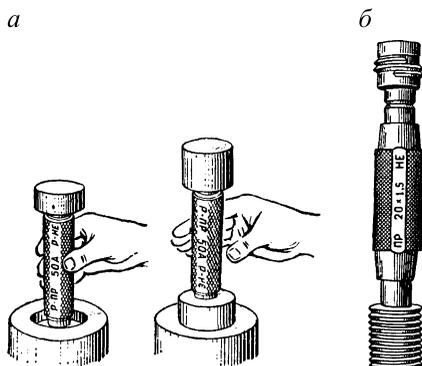


Рис. 2.56. Калибры-пробки

чими калибрами для контроля внутренних резьб являются резьбовые пробки: проходная ПР и непроходная НН (рис. 2.56, б).

Контрольные вопросы и задания

1. Какие виды работ выполняют на сверлильных станках?
2. Перечислите основные вспомогательные инструменты, применяемые сверловщиком.
3. Какие приспособления применяют при обработке на сверлильных станках?
4. Какие инструменты применяют для контроля диаметров отверстий?
5. В каких случаях применяют гладкие резьбовые калибры-пробки? Как ими пользуются?

2.6. Технология сверления и рассверливания отверстий на сверлильных станках

В зависимости от требуемого качества и числа обрабатываемых заготовок сверление отверстий производят по разметке или кондуктору. В процессе работы необходимо соблюдать следующие основные правила:

- при сверлении сквозных отверстий в заготовках необходимо обращать внимание на способ их закрепления; если заготовка крепится на столе, то следует установить ее на подкладку, чтобы обеспечить свободный выход к сверлу после окончания обработки;

- сверло следует подводить к заготовке только после включения вращения шпинделя так, чтобы при касании поверхности заготовки нагрузка на него была небольшой, иначе могут быть повреждены режущие кромки сверла;

- не следует останавливать вращение шпинделя, пока сверло находится в обрабатываемом отверстии. Сначала надо вывести сверло, а затем прекратить вращение шпинделя или остановить станок, в противном случае сверло может быть повреждено;

- в случае появления во время сверления скрежета, вибраций, возникающих в результате заедания, перекоса или износа сверла следует немедленно вывести его из заготовки и после этого остановить станок;

- при сверлении глубоких отверстий ($l > 5d$, где l – глубина отверстия, мм; d – диаметр отверстия мм) необходимо периодически выводить сверло из обрабатываемого отверстия для удаления стружки, а также для смазки сверла. Этим существенно уменьшается вероятность поломки сверла и преждевременного его затупления;

- отверстие диаметром более 25 мм в сплошном металле рекомендуется сверлить за два перехода (с рассверливанием или зенкерованием);

- сверление следует выполнять по режимам, указанным в технологических картах или в таблицах справочников, а также по рекомендациям мастера (технолога);

- при сверлении отверстий в заготовках из стали или вязких материалов обязательно применять СОТС для предохранения режущего инструмента от преждевременного износа и для увеличения режимов резания.

Сверление по разметке применяют в единичном и мелкосерийном производстве, когда изготовление кондукторов экономически неоправдано из-за небольшого числа обрабатываемых деталей. В этом случае к сверловщику поступают разметочные заготовки с нанесенными окружностями и центром будущего отверстия (рис. 2.57, а). В некоторых случаях разметку производит сверловщик.

Сверление по разметке производят в два этапа: сначала предварительное сверление, а затем – окончательное. Предварительное сверление производят с ручной подачей, высверливая небольшое отверстие ($0,25d$). После этого отводят шпин-

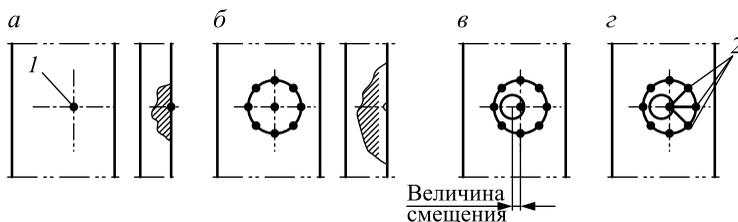


Рис. 2.57. Сверление отверстий по разметке:

a – разметка и кернение центра отверстия; *б* – разметка и кернение контрольной окружности; *в* – увод сверла от центра окружности; *г* – исправление направления сверла; 1 – след от кернера; 2 – канавка от предварительно просверленного отверстия

дель и сверло, удаляют стружку, проверяют совмещение окружности надсверленного отверстия с разметочной окружностью.

Если предварительное сверление выполнено правильно (рис. 2.57, б), сверление следует продолжить и довести до конца, а если ось отверстия ушла в сторону (рис. 2.57, в), то производят соответствующую корректировку: прорубают узким зубилом (крейцмейселем) две-три канавки 2 с той стороны от центра, куда нужно сместить сверло (рис. 2.57, г). Канавки направляют сверло в намеченное кернером место. После исправления смещения продолжают сверление до конца.

Сверление по кондуктору. Для направления режущего инструмента и фиксирования заготовки соответственно требованиям технологического процесса применяют различные кондукторы. Постоянные установочные базы приспособления и кондукторные втулки, обеспечивающие направление сверлу, повышают точность обработки. При сверлении по кондуктору сверловщик выполняет несколько простых приемов (устанавливает кондуктор, заготовку и снимает их, включает и выключает подачу шпинделя).

Сверление сквозных и глухих отверстий. В заготовках встречаются в основном два вида отверстий: сквозные, проходящие через всю толщину детали, и глухие, просверливаемые лишь на определенную глубину.

Процесс сверления сквозных отверстий отличается от процесса сверления глухих отверстий. Когда при сверлении сквозных отверстий сверло выходит из отверстия, сопротивление материала заготовки уменьшается скачкообразно. Если не уменьшить в это время скорость подачи сверла, то оно, заклиниваясь, может сломаться. Особенно часто это случается при сверлении

отверстий в тонких заготовках, сквозных прерывистых отверстий, расположенных под прямым углом одно к другому. Поэтому сверление сквозного отверстия производят с большой скоростью механической подачи шпинделя. В конце сверления необходимо выключить скорость подачи и досверлить отверстие вручную со скоростью, меньшей, чем механическая.

При сверлении с ручной подачей инструмента скорость подачи перед выходом сверла из отверстия следует также несколько уменьшить, сверление необходимо производить плавно.

Известно три основных способа сверления глухих отверстий.

Если станок, на котором сверлят отверстие, имеет какое-либо устройство для автоматического выключения скорости подачи шпинделя при достижении сверлом заданной глубины (отсчетные линейки, лимбы, жесткие упоры, автоматические остановы и пр.), то при настройке на выполнение данной операции необходимо его отрегулировать на заданную глубину сверления.

Если станок не имеет таких устройств, то для определения достигнутой глубины сверления можно использовать специальный патрон (рис. 2.58, а) с регулируемым упором. Упорную

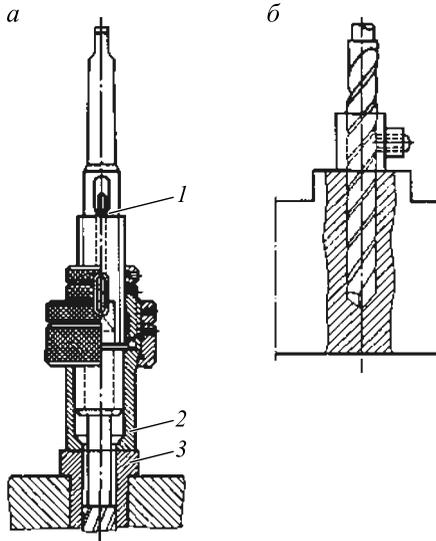


Рис. 2.58. Приспособление для ограничения движения подачи шпинделя:
 а — патрон с регулируемым упором: 1 — корпус патрона со сверлом; 2 — упорная втулка;
 3 — кондукторная втулка; б — упорное кольцо

втулку 2 патрона можно перемещать и устанавливать относительно корпуса 1 со сверлом на заданную глубину обработки. Шпиндель станка перемещается вниз до упора торца втулки 2 в торец кондукторной втулки 3 (при сверлении по кондуктору) или в поверхность заготовки. Такой патрон обеспечивает точность глубины отверстия в пределах 0,1...0,5 мм. Если не требуется большая точность глубины сверления и нет указанного патрона, то можно использовать упор в виде втулки, закрепленный на сверле (рис. 2.58, б), или на сверле отметить мелом глубину отверстия. В последнем случае шпиндель подают до тех пор, пока сверло не углубится в заготовку до отметки.

Глубину сверления глухого отверстия периодически проверяют глубиномером, но этот способ требует дополнительных затрат времени, так как приходится выводить сверло из отверстия, удалять стружку и после измерения вновь вводить его в отверстие.

Рассверливание отверстий. Отверстия диаметром более 25 мм обычно сверлят за два прохода: вначале сверлом меньшего диаметра, а затем — большего диаметра.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите основные правила выполнения операций сверления на сверлильных станках.
2. Расскажите об особенностях сверления по разметке.
3. Как производится сверление с использованием кондуктора?
4. Каковы особенности сверления сквозных и глухих отверстий на сверлильных станках?

2.7. Обработка отверстий на горизонтально-расточных станках

Горизонтально-расточные станки служат для полной обработки отверстий большого диаметра в крупных заготовках. На них можно выполнять и фрезерование плоских поверхностей. Работа на горизонтально-расточных станках в среднесерийном и крупносерийном производстве ведется обычно по кондукторам или шаблонам. При мелкосерийном и единичном производстве изготовления кондукторов не окупается, поэтому растачивание производят по разметке или методом координат. Растачивание по разметке может обеспечить точность расстоя-

ний между осями в пределах $\pm 0,5$ мм, поэтому применяется только для грубых работ. Целесообразно применять кондукторы из элементов УСП.

Метод координат позволяет достигнуть точность межосевых расстояний $\pm 0,05$ мм. Этот метод заключается в том, что положение осей отверстий определяется перемещением стола станка и расточной головки по осям координат на расстояния, измеряемые индикатором, мерными плитками и т.п. Метод координатного растачивания, как и метод растачивания по разметке, непроизводительный и требует высокой квалификации рабочего, в то время как при работе по кондуктору можно производительнее использовать рабочих менее высокой квалификации.

В массовом и крупносерийном производстве применяют специальные одно- и многошпиндельные агрегатные расточные станки. Применение агрегатных расточных станков позволяет повысить производительность труда, заменить дорогостоящие расточные станки и использовать рабочих более низкой квалификации.

В массовом и крупносерийном производстве применяют одно- и многошпиндельные агрегатные расточные станки. Применение агрегатных расточных станков позволяет повысить производительность труда, заменить дорогостоящие расточные станки и использовать рабочих более низкой квалификации. Агрегатные станки широко применяют при обработке отверстий различных корпусных деталей автомобилей, тракторов, станков, редукторов и др.

Растачивание отверстий корпусов начерно и начисто осуществляется на одном многопозиционном агрегатном станке или на отдельных агрегатных станках одно- и двухсторонних.

Схема обработки на агрегатном станке отверстий в корпусе коробки подач токарного станка приведена на рис. 2.59. Схема наладки для обработки отверстий в боковых приливах корпуса редуктора на пятипозиционном агрегатном двухстороннем станке барабанного типа приведена на рис. 2.60.

Позиция I – загрузка и разгрузка. Рабочий устанавливает заготовку на нижнюю обработанную поверхность по двум отверстиям на штифты и прижимает ее по центру. После обработки рабочий снимает заготовку на этой же позиции. На позиции II производится черновое растачивание отверстий диаметром 90 мм с двух сторон под шарикоподшипники и одновременно

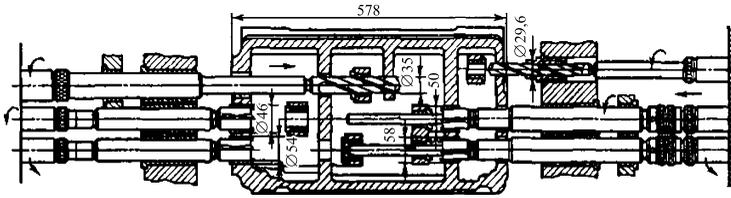


Рис. 2.59. Схема сверления и растачивания на двухстороннем агрегатном станке

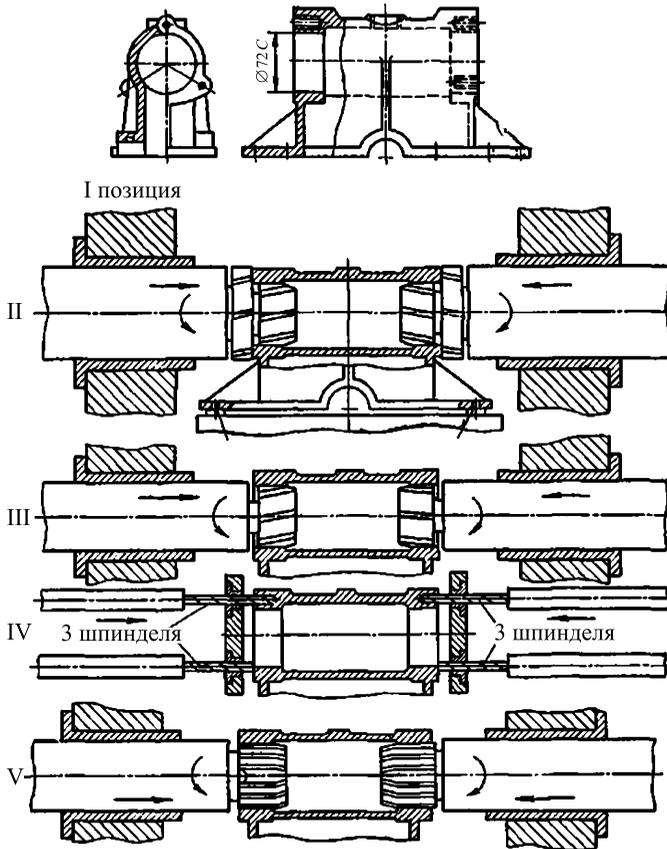


Рис. 2.60. Схема растачивания на пятипозиционном двухстороннем агрегатном станке

отрезание торцов зенкерами; на позиции III – получистовое растачивание тех же отверстий. Сверление трех отверстий осуществляется на позиции IV. Чистовое развертывание двух отверстий производится на позиции V.

Для достижения точного положения оси отверстия относительно баз применяют тонкое (алмазное) растачивание. Сущность этого способа заключается в том, что растачивание производится при большой скорости, малой глубине и подаче. При обработке отверстий в заготовках из цветных металлов применяют как алмазные резцы, так и резцы из твердых сплавов, для обработки стальных и чугунных заготовок – только резцы из твердых сплавов.

Для тонкого растачивания необходимы специальные станки, отличающиеся точностью и жесткостью. Примерные режимы резания при тонком растачивании: скорость резания 120...250 м/мин – для заготовок из чугуна, 300...400 – для заготовок из бронзы, 400...1000 – для заготовок из баббита, 500...1500 м/мин – для заготовок из алюминиевых сплавов; глубина резания около 0,05...0,15 мм; подача 0,01...0,08 мм/об. Тонкое растачивание имеет следующие достоинства:

- по сравнению с обработкой абразивным инструментом (шлифование и хонингование) отсутствие на обработанной поверхности абразивных зерен;
- легко достижимая точность размера 2-го качества при овальности и конусообразности отверстий не более 0,01 мм;
- простая конструкция режущего инструмента (из твердого сплава);
- возможность получения поверхности шероховатостью $Ra0,08...0,32$ мкм.

Приспособления для обработки отверстий на станках сверлильной группы называют кондукторами. В большинстве кондукторов правильное положение отверстий достигается тем, что режущие инструменты при работе проходят через направляющие втулки, которые точно расположены относительно установочных деталей кондуктора.

В зависимости от положения, занимаемого заготовкой во время операции, кондуктора делят на следующие типы:

- накладные, устанавливаемые на заготовку;
- стационарные, в которых заготовка во время обработки на станке не меняет свое положение;

- передвижные, в которых различное положение заготовки относительно шпинделя станка достигается перемещением или опрокидыванием кондуктора вместе с закрепленной в нем заготовкой;

- поворотные, в которых поворотная часть приспособления вместе с заготовкой в течение операции может поворачиваться вокруг горизонтальной или вертикальной оси для того, чтобы обработать отверстия, расположенные с разных сторон заготовки.

Кондукторные втулки служат для направления инструмента и бывают неподвижные и вращающиеся. Вращающиеся втулки используют для расточных операций. Неподвижные кондукторные втулки делят на постоянные, сменные и быстросменные.

Постоянные втулки делают с буртом (рис. 2.61, *а*) или без бурта (рис. 2.61, *б*) и запрессовывают по легкопрессовой или глухой посадке в стенку приспособления или в кондукторную плиту. Постоянные втулки не приспособлены для замены при износе или повреждении, ибо такая замена требует отправки в ремонт всего приспособления. Поэтому постоянные втулки применяют в приспособлениях мелкосерийного и единичного производства. В среднем срок службы кондукторной втулки до износа 15 000 сверлений.

Сменные втулки устанавливают в гнезда, запрессованные в корпус приспособления или кондукторную плиту, в качестве гнезд используют постоянные втулки. Сменная втулка от поворота и осевого смещения удерживается винтом (рис. 2.61, *в*) или планкой (рис. 2.61, *г*). Планку используют тогда, когда действующие при работе на втулку силы велики и крепление винтом оказывается ненадежным. При замене изношенной сменной втулки достаточно отвернуть крепящий ее винт или

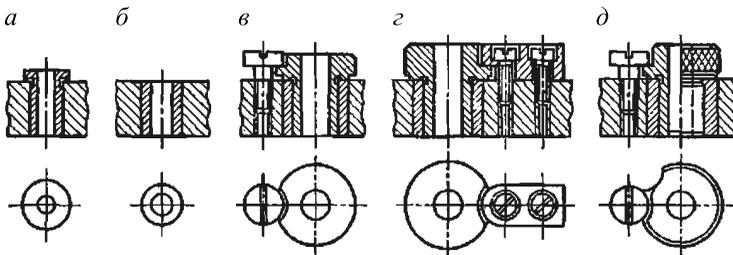


Рис. 2.61. Неподвижные вращающиеся кондукторные втулки

планку, что может быть сделано без снятия приспособления со станка.

Сменные втулки применяют в приспособлениях крупносерийного и массового производства при обработке отверстия одним инструментом.

Быстросменные втулки (рис. 2.61, *д*) применяют, если нужно за одну установку обрабатывать отверстие последовательно несколькими инструментами, для каждого из которых нужна своя кондукторная втулка. Для замены быстросменная втулка поворачивается до совпадения сквозной выемки в бурте с головкой винта, крепящего втулку. Применяют быстросменные втулки, в которых вместо винта применен бурт, входящий в соответствующий вырез втулки или гнезда. Такая конструкция более надежна, чем конструкция с креплением втулки винтом; ее можно применять при тяжелых работах. На буртах быстросменных втулок делают накатку.

Кондукторные втулки с отверстием менее 25 мм изготавливают из инструментальной углеродистой стали У10А или У12А с закалкой до твердости *HRC56...60*, втулки больших размеров — из сталей 20 или 20Х с цементацией на глубину 0,8...1,2 мм и закалкой до твердости *HRC56...60*.

Сменные и быстросменные втулки устанавливают в гнездо по посадке движения или скольжения 2—1-го класса точности. Отверстия кондукторных втулок, направляющие инструмент, делают с допусками, зависящими от вида инструмента и условий его работы. Расстояние от нижнего торца кондукторной втулки до поверхности заготовки при сверлении должно быть $(0,33...1,0)d$, где d — диаметр сверла. При большем расстоянии увеличивается увод сверла, при меньшем — стружка упирается в кондукторную плиту, запутывается вокруг сверла и затупляет его. Для хрупких материалов (чугуны, бронза) его расстояние берут меньшим, для вязких (сталь) — большим.

При обработке отверстий на расточных станках часто применяют вращающиеся направляющие втулки. Такие втулки служат для направления борштанги. Втулки приводятся во вращение с помощью шпонки, расположенной на борштанге или в самой втулке. При этом вместо трения борштанги во втулке имеет место трение в подшипнике, что повышает износостойкость борштанги.

Кондукторные плиты служат для установки в них кондукторных втулок. Кондукторные плиты бывают постоянные, шарнирные или откидные, съемные, подвесные, подъемные. По-

стоянные плиты либо являются частью корпуса приспособления, либо их делают отдельно и крепят к корпусу на винтах. Для того чтобы закрепленная и правильно выставленная на корпусе плита не сдвинулась во время работы, ее дополнительно фиксируют с помощью контрольных штифтов.

Шарнирные плиты как часть приспособления применяют тогда, когда заготовку устанавливают в кондуктор сверху и сверху производят сверление, например на радиально-сверлильных станках.

Съемные плиты применяют как самостоятельные накладные кондуктора, устанавливаемые на заготовку, и в случае необходимости прикрепляют к ней. Они могут быть частью приспособления, в котором закрепляют заготовку. В этом случае плиту фиксируют по центрирующим пальцам, имеющимся в корпусе приспособления. Такие съемные плиты укрепляют быстродействующими откидными зажимами. Съемные плиты используют, когда необходимо по одному и тому же кондуктору просверлить два отверстия в двух заготовках для того, чтобы достигнуть точного совпадения в них отверстий. В местах сопряжения съемной плиты с заготовкой или корпусом приспособления должны предусматриваться закаленные до высокой твердости накладные детали, предохраняющие сменную плиту от забоин. Масса съемных плит не должна превышать 8...10 кг. При больших размерах плит их отливают из алюминиевых сплавов, сваривают из тонкостенных труб и т.п.

Подвесные кондукторные плиты применяют только в сочетании с многшпиндельными сверлильными головками. Сверлильные приспособления с подъемной кондукторной плитой называют скальчатыми кондукторами. Скальчатый кондуктор показан на рис. 2.62.

Кондукторная плита 2 закреплена на скалках 1, направляющихся в отверстия корпуса

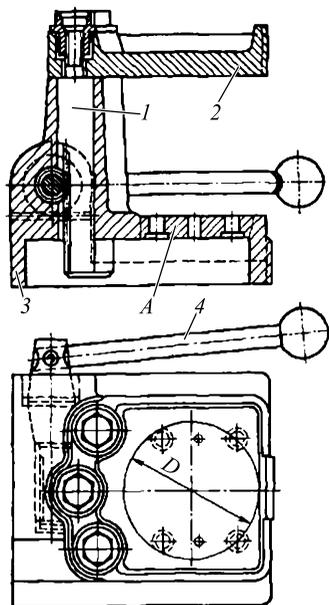


Рис. 2.62. Скальчатые кондуктора с ручным зажимом

3, и перемещается со скалками в вертикальном направлении при повороте рукоятки 4 с помощью реечной пары. На опорной поверхности А корпуса закрепляют установочные детали, на которые кладется заготовка. При повороте рукоятки вниз плита опускается и зажимает заготовку. Часто на кондукторной плите 2 располагают зажимающие заготовку детали такой формы, что они перед зажимом окончательно устанавливают заготовку в требуемое положение. Установка и зажим заготовок в скальчатом кондукторе производится одним движением рукоятки; эти кондуктора относятся к быстродействующим.

Все основные детали скальчатого кондуктора (корпус, плита, скалки, механизм передвижения плиты) обычно нормализуют и изготавливают крупными партиями. Для того чтобы использовать изготовленный «на склад» скальчатый кондуктор при обработке какой-либо заготовки, нужно лишь изготовить необходимые специальные установочные элементы, зависящие от конфигурации заготовки и требуемой ее обработки, и закрепить их на корпусе и плите.

Часто кондуктора делают такими, что новые установочные элементы прикрепляют к пальцам винтами, входящими в заранее просверленные отверстия в корпусе и плите. В этих случаях «специализация» кондуктора требует минимального времени на проектирование и изготовление. Указанное преимущество скальчатых кондукторов наряду с быстротой действия привело к их широкому применению в производстве.

В зависимости от расположения скалок относительно кондукторной плиты скальчатые кондуктора бывают консольными и порталными. В консольных кондукторах скалки находятся с одной стороны плиты, и поэтому место, где устанавливают заготовку, доступно для оператора с трех сторон. В порталных кондукторах заготовку можно устанавливать только с передней стороны кондуктора.

Передвижные кондуктора применяют в тех случаях, когда на вертикально-сверлильном станке нужно последовательно обработать несколько отверстий, расположенных с одной или нескольких сторон обрабатываемой заготовки. Для того чтобы кондуктор не поворачивался при сверлении под действием крутящего момента, создаваемого сверлом, на столе станка закрепляют упорную планку. Иногда при сверлении отверстий, расположенных в ряд, для облегчения передвижения приспособле-

ния его ставят на специальные салазки, перемещаемые между направляющими с помощью реечной или рычажной передачи.

Поворотные сверлильные приспособления с горизонтальной осью вращения применяют для сверления в одну установку отверстий, расположенных с разных сторон заготовки, а также для обработки отверстий, направленных по радиусу.

Поворотные приспособления позволяют устранить многократные перестановки заготовки при сверлении ее с разных сторон, т.е. сократить вспомогательное время, особенно при обработке заготовок большой массы (более 20...30 кг). Поворотные приспособления имеют неподвижную и поворотную части. К поворотной части прикрепляют кондуктор для заготовки.

Вспомогательные инструменты служат не только для закрепления разных режущих инструментов, применяемых при обработке на сверлильных станках, но в ряде случаев значительно расширяют технологические возможности этих станков и разрешают выполнять на них операции, не типичные для оборудования этой группы.

Для крепления режущих инструментов в шпинделе сверлильных станков используют конус Морзе. В зависимости от вида инструмента конус Морзе закреплен в конусе шпинделя с помощью переходных втулок или специальных патронов. В настольных и мелких сверлильных станках шпиндель имеет хвостовик с укороченным наружным конусом Морзе, на который надевается переходной патрон для закрепления режущих инструментов.

Замена инструментов, установленных в конусе шпинделя (или с помощью переходных втулок), связана с остановкой станка и занимает много времени, поэтому такое крепление применяют лишь при однопереходных операциях, где не нужно часто менять инструмент, а также при тех работах, где инструмент не направляется кондукторной втулкой и поэтому нужна жесткая связь сверла со шпинделем. При многопереходных операциях используют быстросменные патроны, позволяющие заменять инструмент без остановки шпинделя станка.

Многошпиндельные сверлильные головки служат для одновременной обработки на одношпиндельных сверлильных станках нескольких отверстий одинаковыми или разными инструментами. Головки значительно повышают производительность станков.

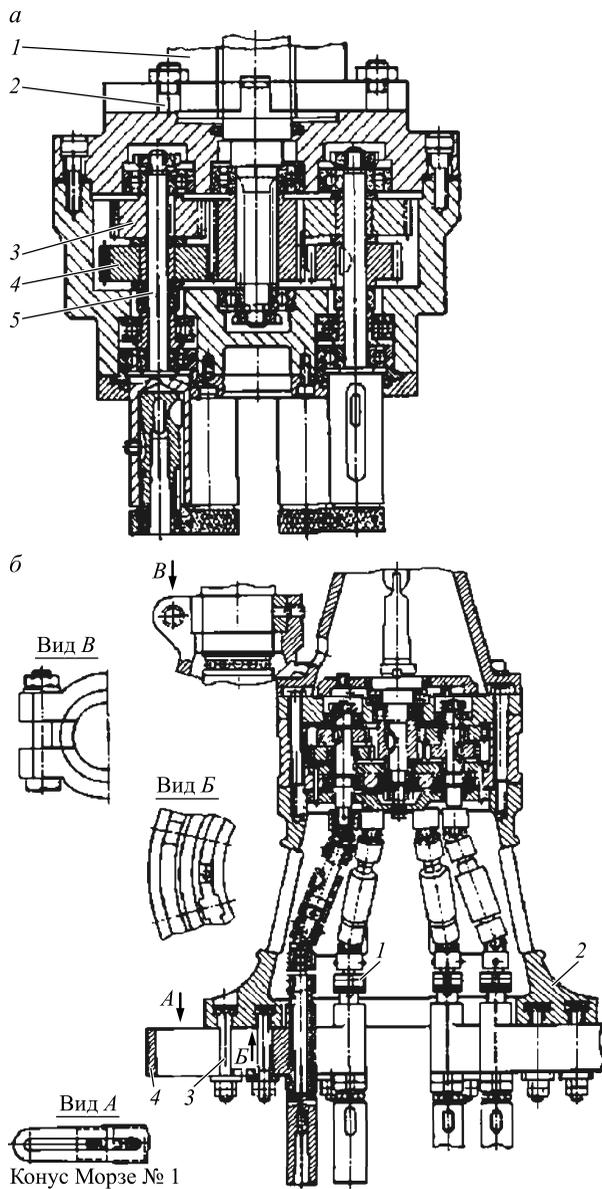


Рис. 2.63. Многошпиндельные головки:
 а – специальная; б – универсальная

Многошпиндельные головки бывают специальные с неизменяемым расположением шпинделей и универсальные с регулируемым расположением шпинделей. Специальные головки применяют в массовом и крупносерийном производстве, а универсальные — в серийном.

В показанной на рис. 2.63, а конструкции специальной головки, предназначенной для обработки шести отверстий, расположенных по окружности, из-за чрезмерной близости отверстий промежуточные зубчатые колеса 4 расположены вместе с рабочими зубчатыми колесами 3 на хвостовиках шпинделей 5 в два яруса. В нижнем ярусе головки расположены два промежуточных зубчатых колеса, каждое из которых приводит во вращение через рабочие зубчатые колеса два соседних шпинделя. Остальные два шпинделя приводятся во вращение от других двух промежуточных зубчатых колес, расположенных в верхнем ярусе. На шпинделе станка головка центрируется с помощью цилиндрической выточки и прикрепляется шпильками 2 к фланцу 1 гильзы шпинделя. Универсальная головка показана на рис. 2.63, б. Вращение от центрального зубчатого колеса к шпинделям передается с помощью карданных передач 1. Для установки шпинделей по заданным координатам необходимо освободить гайки болтов 3. В радиальном направлении шпиндели можно переставлять путем смещения их в овальном пазу державки 4. Необходимый угол наклона шпинделей достигается перемещением державок по фланцу корпуса 2 головки, для чего в нем предусмотрены Т-образные кольцевые пазы, по которым передвигают крепежные болты.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите работы, которые выполняются на горизонтально-расточных станках.
2. В чем сущность отверстий на агрегатном станке?
3. Каково назначение кондукторов при растачивании отверстий?

2.8. Протягивание и шлифование отверстий

Отверстия небольших заготовок (в зубчатых колесах, втулках, рычагах, шатунах) протягивают в массовом, крупносерийном и среднесерийном производстве. Протягиванием можно получить сквозные отверстия: цилиндрические, шлицевые, квадратные, шестигранные и других форм. Для обработки про-

тягиванием отверстия должны быть предварительно просверлены или прозенкерованы.

Для *протягивания цилиндрических отверстий* используются круглые протяжки различной конструкции. Круглые протяжки обеспечивают получение размеров 2-го качества точности и шероховатость поверхности $Ra0,32$ мкм.

Для выполнения калибровочных операций применяют прошивки. Прошивки проталкивают через отверстие. Прошивки в отличие от протяжек, работающих на растяжение, работают на продольный изгиб. Длина прошивок 150...300 мм, т.е. значительно короче протяжек.

Станки, применяемые для протягивания, делят на горизонтальные, вертикальные и непрерывного действия. Вертикально-протяжные станки занимают значительно меньшую площадь, чем горизонтальные. На этих станках устанавливать заготовки для обработки удобнее; снятие заготовки может происходить автоматически; после протягивания не требуется возвращать протяжку в первоначальное положение, так как она автоматически закрепляется либо за верхний конец, либо за нижний. Вертикально-протяжные станки выпускают в одно- и двухпозиционном исполнении, на них можно протягивать одну или одновременно две заготовки.

На протяжных станках можно одновременно протягивать два отверстия в одной заготовке (например, в шатуне двигателя), для чего необходимы специальные приспособления для установки заготовки и для захвата протяжек.

Прошивочные (толкающие) станки применяют мало. Обычно прошивание отверстий осуществляется на гидравлических, пневматических, механических и ручных прессах.

На протяжных станках заготовку устанавливают на жесткой или шаровой опоре. Заготовку устанавливают на жесткой опоре (рис. 2.64), когда торец заготовки подрезан перпендикулярно к оси отверстия. Если торец заготовки не подрезан (необработанная поверхность) или подрезан не перпендикулярно к оси отверстия, заготовку устанавливают на шаровой опоре (рис. 2.65). Шаровую опору применяют и для обработки заготовок с одним подрезанным торцом, причем опирают ее на необработанный торец, таким образом зубья протяжки будут врезаться с обработанного торца и благодаря этому будут меньше изнашиваться. Опорное кольцо 4 со сферической шайбой 3 самоустанавливается по торцу заготовки на фланце 1, приверну-

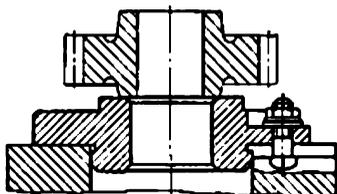


Рис. 2.64. Самоустанавливающая опора для протягивания отверстия при необработанном торце заготовки

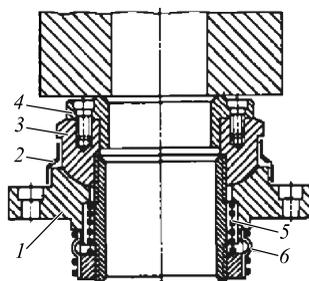


Рис. 2.65. Приспособление для протягивания отверстия в заготовках с обработанным торцом

том к планшайбе станка. Пружина 5 прижимает шайбу 3 к фланцу 1. Резиновые кожухи 2 и 6 защищают приспособление от попадания стружки.

Одновременное протягивание нескольких надетых на протяжку заготовок повышает производительность станка. Если длина отверстия у заготовки меньше двух-трех шагов между зубьями протяжки, следует протягивать одновременно отверстия нескольких заготовок. Протягиванием можно делать винтовые шлицы и канавки в отверстиях. При этом необходимо приспособление для захвата протяжки, допускающее ее вращение.

Шлифование применяют при обработке отверстий закаленных заготовок; в незакаленных заготовках шлифованием обрабатывают лишь отверстия больших диаметров.

В зависимости от типа станка отверстие шлифуют следующими способами: при вращающейся заготовке, закрепленной в патроне, на обычных внутришлифовальных станках; при неподвижной заготовке на планетарно-шлифовальных станках; при вращающейся незакрепленной заготовке на бесцентровых внутришлифовальных станках.

Наиболее распространен первый способ, применяемый главным образом для шлифования отверстий закаленных заготовок (например, цилиндрические и конические колеса, втулки и т.п.). При этом способе обрабатываемую заготовку закрепляют в самоцентрирующем патроне или в специальном приспособлении. Закрепленная таким образом заготовка вращается, шлифовальный круг, вращающийся вокруг своей оси с большой частотой вращения, совершает возвратно-поступательное

и поперечное движения, осуществляя продольную и поперечную подачи. Схема обработки отверстия на внутришлифовальном станке приведена на рис. 2.66. Направления вращения круга и заготовки должны быть противоположны. Диаметр шлифовального круга обычно принимают в пределах $0,8...0,9$ диаметра отверстия.

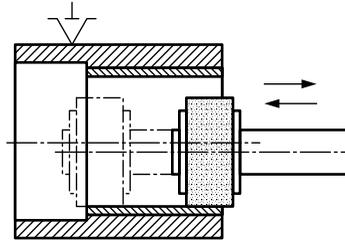


Рис. 2.66. Схема обработки отверстия на внутришлифовальном станке

При шлифовании отверстий малых диаметров круг должен вращаться с большей частотой вращения, чтобы получить необходимую скорость шлифования, но шпиндель станка не всегда может обеспечить такую частоту вращения. Поэтому шлифование отверстий малых диаметров приходится вести при сравнительно небольших скоростях, например, при диаметре шлифовального круга 8 мм скорость шлифования составляет 10 м/с вместо обычных 30 м/с. Поперечную подачу в зависимости от диаметра отверстия и требуемой точности назначают в пределах $0,003...0,015$ мм; чем меньше диаметр отверстия и выше требуемая точность его, тем меньше должна быть подача. Продольная подача, выраженная в долях высоты круга, при чистовом шлифовании принимается в пределах $0,2...0,3$, при черновом — $0,6...0,8$.

Наиболее производительными являются внутришлифовальные станки-полуавтоматы. На этих станках весь цикл шлифования автоматизирован, за исключением установки заготовки и пуска станка. Принцип работы таких станков заключается в следующем. После закрепления заготовки в патроне и пуска станка шлифовальный круг подходит к заготовке с ускоренной продольной подачей, затем подача автоматически уменьшается до величины, необходимой для чернового шлифования. Шлифование заготовки происходит до тех пор, пока не останется припуск на чистовое шлифование ($0,04...0,06$ мм на диаметр).

После этого шлифовальный круг выходит из заготовки и автоматически правится алмазом, а затем начинается чистовое шлифование, которое производят при меньшей подаче. После получения нужного диаметра отверстия станок останавливают. На таких полуавтоматах применяют активный контроль, при котором диаметр отверстия непрерывно изменяется специальными калибрами после каждого хода круга. Эти калибры связаны с электрическими датчиками, которые дают команду на переключение подачи с черновой на чистовую и на остановку станка после достижения заданного размера.

При конструировании приспособлений для шлифования необходимо учитывать следующее:

- силы резания при шлифовании малы по сравнению с силами при других видах обработки, поэтому от зажимных устройств в шлифовальных приспособлениях не требуется большой силы зажима;
- шлифование является финишной операцией, требующей высокой точности выполнения, поэтому в приспособлениях следует предусматривать возможность систематического восстановления их точности путем регулирования положения установочных элементов с последующим их шлифованием на станке, где приспособление установлено; если это невозможно, то следует предусматривать возможность точной выверки приспособления при каждой установке его на станке. Так как на приспособления попадает шлам и абразивная пыль, то, конструируя шлифовальные приспособления, нужно делать их так, чтобы шлам, смываясь охлаждающей жидкостью, не мог скапливаться в приспособлении.

Заготовки типа втулок, колец при внутреннем шлифовании закрепляют и центрируют в нормальных и специальных патронах. Для шлифования отверстий зубчатых колес последние закрепляют в специальных патронах с центрированием роликами или шариками по начальной окружности (рис. 2.67). Для шлифования торца заготовки после шлифования отверстия целесообразно применять круг, которым можно шлифовать торец и отверстие (рис. 2.68) или пользоваться станками, имеющими помимо круга для шлифования отвер-

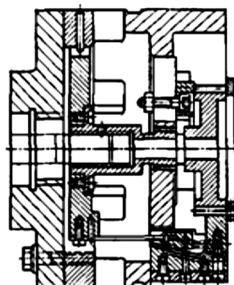


Рис. 2.67. Патрон для установки и закрепления зубчатого колеса при шлифовании отверстия

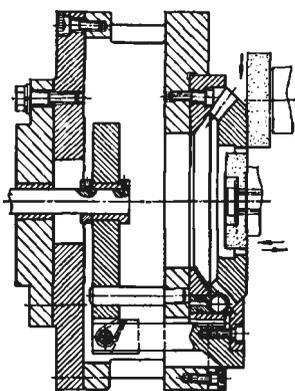


Рис. 2.68. Схема шлифования отверстия и торца чашечным кругом

ствия второй круг для шлифования торца, что обеспечивает соблюдение перпендикулярности торцевой поверхности к оси отверстия заготовки.

При неподвижной заготовке шлифование отверстия производится на горизонтальных или вертикальных планетарно-шлифовальных станках. На рис. 2.69 показана схема планетарного шлифования на этих станках. Шпиндель имеет четыре движения:

- вращение вокруг своей оси;
- планетарное движение по окружности отверстия заготовки;
- возвратно-поступательное движение вдоль оси заготовки;

- поперечное перемещение, т.е. поперечную подачу.

На станках такого рода можно шлифовать и наружные цилиндрические поверхности заготовок, которые нельзя шлифовать на круглошлифовальных станках. Эти станки применяют только для шлифования отверстий крупных заготовок, в основном корпусных, которые на других станках шлифовать нельзя.

Схема бесцентрового шлифования отверстия показана на рис. 2.70. Заготовка, предварительно прошлифованная по наружному диаметру, направляется и поддерживается тремя роликами. Ролик 3 большого диаметра является ведущим; он вращает заготовку 2 и в то же время удерживает ее от возможного вращения с большей скоростью от шлифовального круга 4. Верхний нажимной ролик 1 прижимает заготовку к ведущему

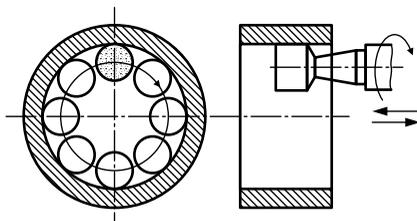


Рис. 2.69. Схема планетарного шлифования

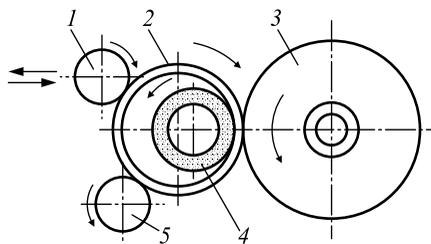


Рис. 2.70. Схема бесцентрового шлифования отверстия

ролику 3 и нижнему поддерживающему ролику 5. Заготовка, зажата между тремя роликами, имеет окружную скорость ведущего ролика 3. При смене заготовок зажимной ролик 1 отходит влево и, освобождая заготовку, позволяет вставить ручную или автоматически новую заготовку.

При бесцентровом шлифовании можно получить 1–2-й класс точности, а параллельность осей внутреннего отверстия и наружной поверхности — 0,003 мм. Этот способ можно применять для внутреннего шлифования заготовок диаметром 10...200 мм со сквозными и глухими, а также с коническими отверстиями. Можно также шлифовать отверстия заготовок, имеющих по наружной поверхности уступы и буртики. Этот способ широко применяют для шлифования колец подшипников качения.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем сущность протягивания отверстий?
2. Укажите, какие способы применяются при шлифовании отверстий.

2.9. Отделка отверстий

Хонингование отверстий. Предварительно развернутое или расточенное отверстие хонингуют специальной вращающейся и возвратно-поступательно движущейся головкой с шестью (иногда и более) хонинговальными раздвижными брусками. Раздвижение брусков в радиальном направлении осуществляется механическим, гидравлическим или пневматическим устройством. В результате хонингования получается глад-

кая и блестящая поверхность с шероховатостью поверхности $Ra0,02...0,16$ мкм и $Ra0,025...0,1$ мкм.

Охлаждение производится керосином, который способствует удалению абразивных зерен.

Станки для хонингования 3820, 3821, 3822 и другие изготавливают одно- и многшпindelными. Хонингование имеет по сравнению с внутренним шлифованием следующие преимущества: возможна обработка отверстий сложных заготовок (например, блоки цилиндров двигателей); легче достигается правильная цилиндрическая поверхность отверстия, так как отсутствует отжим инструмента; нет вибраций. Однако хонингованием нельзя устранить отклонения положения и направления оси отверстия. Достигаемая точность формы при хонинговании составляет $0,01...0,02$ мм для отверстий диаметром $100...120$ мм. Припуск на обработку $0,05...0,10$ мм может быть снят за $1...2$ мин. Хонинговальная головка вращается со скоростью $60...75$ м/мин при обработке заготовок из чугуна и со скоростью $45...60$ м/мин — при обработке заготовок из стали; скорость возвратно-поступательного движения головки $12...15$ м/мин. Конструкция хонинговальной головки с механическим раздвижением брусков приведена на рис. 2.71.

Основное время для хонингования не может быть определено достаточно точно, так как нельзя рассчитать действитель-

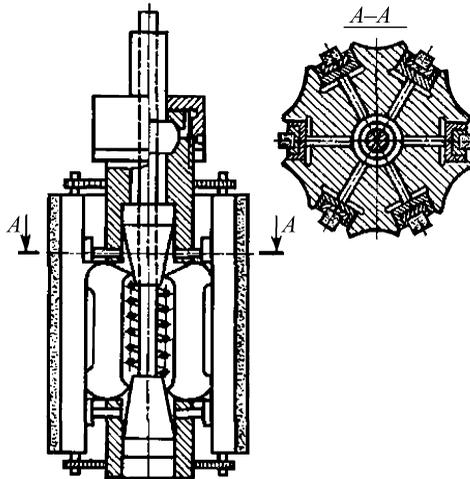


Рис. 2.71. Конституция хонинговальной головки

ный съем металла за каждый ход хонинговальной головки. Созданы новые конструкции хонинговальных головок с увеличенной поверхностью брусков, большим давлением брусков на обрабатываемую поверхность, что позволяет снимать большие припуски при сокращении времени обработки в 2–3 раза. Для изготовления абразивных хонинговальных брусков используют различные синтетические абразивные материалы, к которым относят электрокорунд, карбид кремния (карборунд), эльбор (кубический нитрид бора) и др. Алмазные бруски обладают высокой стойкостью, в десятки раз превышающей стойкость абразивных брусков. Для изготовления алмазных брусков применяют зерна природных и синтетических алмазов. Для хонинговальных брусков используют преимущественно синтетические алмазы, обладающие высокой стабильностью свойств, работоспособностью и имеющие, по сравнению с природными алмазами, меньшую цену.

Притирка отверстий. Притиркой достигается высокая точность формы и размеров отверстия (выше 1-го качества точности) и шероховатость поверхности $Ra0,025$ мкм.

Притир для обработки отверстий представляет собой втулку, имеющую с одной стороны прорезь. Этот притир устанавливают с помощью конической оправки, на которую его насаживают. На рис. 2.72 показана втулка 2, насаженная на кони-

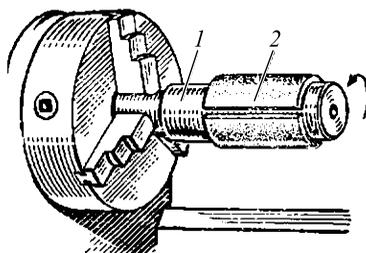


Рис. 2.72. Инструмент для притирки отверстий на токарном станке

ческую оправку 1, закрепленную в самоцентрирующем патроне. Для притирки заготовку надевают на втулку 2. Во время притирки оправка со втулкой-притиром вращается; при этом заготовке сообщают медленное прямолинейно-возвратное движение по втулке, обычно вручную. Притирку отверстий, подоб-

но притирке наружных поверхностей, производят мелким абразивным порошком, смешанным с маслом; лучшие результаты по качеству поверхности и производительности дают пасты ГОИ и алмазные. Абразивный порошок с маслом или пасту наносят на поверхность притира перед насаживанием на него притираемой заготовки. Притирку отверстий применяют в единичном и мелкосерийном производстве.

Доводка отверстий. Точные сквозные и глухие отверстия заготовок из цементированной, закаленной и азотированной сталей, алюминиевых сплавов и бронзы обрабатывают доводниками с брусками из синтетических алмазов. Этот метод сочетает преимущества обычной притирки и хонингования, обеспечивает высокую точность размеров и геометрической формы (овальность и конусообразность 1...2 мкм), а также шероховатость поверхности $Ra0,02$ мкм.

Обработка отверстий может производиться не только со снятием стружки (лезвийным инструментом), но также и без снятия стружки. Обработка отверстий без снятия стружки производится двумя методами: калиброванием с помощью проглаживающих прошивок (дорнов) и шариков и раскатыванием. Дорны (рис. 2.73, а) не имеют режущих зубьев. Они не режут, а уплотняют поверхностный слой, обеспечивая получение более точного диаметра отверстия, понижают шероховатость поверхности и повышают ее твердость. Калибрование шариком (рис. 2.73, б) заключается в продавливании стального закаленного шарика на прессе через отверстие. Диаметр дорна или шарика должен быть несколько больше требуемого диаметра отверстия, так как в этом случае имеется упругое последствие металла. Как для дорнования, так и для калибрования шариком отверстие должно быть обработано не ниже 3-го качества точности. Ско-

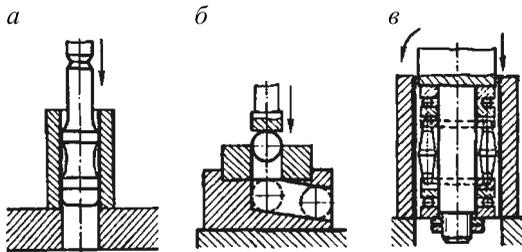


Рис. 2.73. Схемы обработки отверстий без снятия стружки

рость дорнования для заготовок из вязких металлов рекомендуется 2...5 м/мин, а для менее пластичных — 5...7 м/мин.

Стальные, закаленные и отшлифованные ролики, имеющие бочкообразную форму (рис. 2.73, в), применяют для раскатывания отверстий. Десять-двенадцать роликов расположены в паре обойм, вращающихся на упорных шарикоподшипниках. Таким образом, ролики могут вращаться вокруг своих осей и вместе с обоймами вокруг оси отверстия. Раскатывание производится за несколько двойных ходов вдоль оси, и поэтому достичь необходимую точность в данном случае проще, чем при калибровании, так как можно регулировать число двойных ходов. Раскатывание производят при усиленной смазке. Отверстие перед раскатыванием необходимо предварительно обработать достаточно точно, но менее точно, чем перед калиброванием.

Калибрование и раскатывание применяют редко, главным образом при обработке заготовок из весьма вязких металлов, когда другие методы неприменимы.

При работе на станках сверлильной группы травмы могут быть получены вследствие неправильного крепления заготовок и режущего инструмента, несоблюдения элементарных правил удаления стружки, неправильного ношения спецодежды и головных уборов и т.д. Причиной несчастных случаев служит мелкая стружка, отделяемая при сверлении отверстий. Она может повредить глаза, вызвать ожоги на открытых частях тела. Для предохранения глаз от травмирования на пути возможного отлетания стружки необходимо ставить оградительные щитки и надевать защитные очки. Нельзя выдувать стружку ртом из глухих отверстий и удалять ее со станка руками. Ее удаляют специальными скребками и щетками, намагниченными накопечниками и другими приспособлениями. Вращающиеся детали станка, вспомогательные и режущие инструменты, не имеющие ограждений, представляют серьезную опасность для сверловщика, так как могут захватить одежду, руки и волосы. Для предупреждения несчастных случаев применяют специальные ограждения, волосы убирают под головной убор, рукава спецодежды завязывают у кистей рук.

Контроль отверстий. Цилиндрические отверстия контролируют предельными калибрами-пробками (в серийном и массовом производстве) и универсальными измерительными инструментами — штангенциркулем, штихмассом, индикаторным нутромером (в единичном и мелкосерийном производстве).

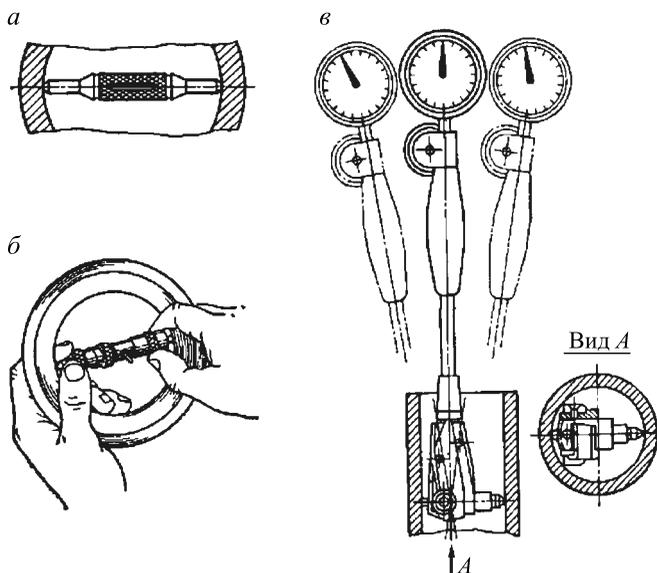


Рис. 2.74. Контроль отверстий:
 а – жестким нутромером; б – микрометрическим нутромером; в – индикаторным нутромером

Измерительные инструменты имеют точечный контакт (штихмасс) с проверяемой заготовкой, линейный контакт (пробки и штангенциркули) и поверхностный контакт.

Для контроля отверстий диаметром 100 мм рекомендуется применять полные пробки и штангенциркули, для контроля отверстий диаметром 250 мм – неполные пробки и штангенциркули, для контроля отверстий диаметром более 250 мм – штихмассы и нутромеры. Когда техническими условиями оговорены овальность, конусообразность, бочкообразность или другие отклонения от правильной геометрической формы отверстия, то для контроля применяют различные универсальные инструменты и приборы (рис. 2.74).

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите способы отделки поверхностей.
2. В чем сущность хонингования отверстий?
3. В каких случаях применяется доводка отверстий?
4. Какие контрольно-измерительные инструменты применяются при контроле отверстий?

2.10. Обработка плоских поверхностей

Поверхности детали, обладающие прямолинейностью в любом сечении, называются *плоскостями*.

По расположению относительно горизонтали различают плоскости *горизонтальные*, *вертикальные* и *наклонные*. Кроме того, поверхности детали, пересекающиеся между собой под определенным углом, принято называть *сопряженными*.

К обработке плоскостей предъявляются определенные технические требования, вытекающие из характера и условий работы данной детали в узле машины. Эти требования, объединяемые в обобщенное понятие «точность обработки», включают: точность выполнения размеров, точность геометрической формы поверхности, точность их взаимного расположения и шероховатость поверхностей.

В большинстве случаев плоские поверхности выполняют роль баз. Наиболее широкое применение при обработке плоских поверхностей получили строгание, фрезерование и шлифование.

Обработка плоских поверхностей на строгальных и долбежных станках. Стругание производят на продольно-строгальных и поперечно-строгальных станках (рис. 2.75). Эти станки имеют широкое применение в единичном, мелко- и среднесерийном производстве вследствие универсальности, простоты, достаточной точности и меньшей себестоимости по сравнению с фрезерными станками.

На долбежных станках, относящихся к классу строгальных, долбяк с закрепленным в нем резцом совершает возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости. Стол станка, на котором закрепляют заготовку, имеет движение подачи в гори-

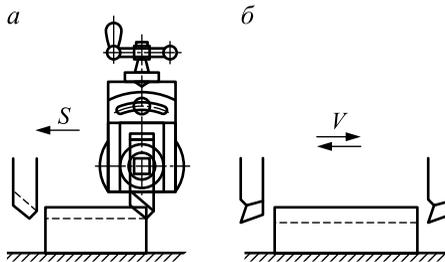


Рис. 2.75. Схемы строгания поверхности:
а – по ширине заготовки; б – по длине заготовки

зонтальной плоскости в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Долбежные станки применяют в единичном и мелкосерийном производстве для получения шпоночных канавок в отверстиях, а также для обработки сквозных и несквозных отверстий квадратных, прямоугольных и других форм. Для обработки несквозных отверстий долбление — основной метод, так как более производительные протяжные станки применять нельзя.

Строгание разделяют на черновое и чистовое. Чистовое строгание производят с малой подачей или резцами с широкой режущей кромкой при большой подаче. Скорости резания при этих видах обработки небольшие (4...20 м/мин). Точность работы на строгальных и долбежных станках 0,1...0,2 мм на 1 м длины, шероховатость поверхностей при черновом строгании $Ra0,8...6,3$ мкм.

Обработка плоскостей на фрезерных станках. Фрезерные станки подразделяются на следующие виды: конусольно-фрезерные (универсальные, горизонтальные, широкоуниверсальные, вертикальные), продольно-фрезерные (одно- и двухстоечные), фрезерные непрерывного действия (барabanные и карусельные), копировально-фрезерные и специальные.

Плоскости обрабатываются двумя основными способами — торцовыми или цилиндрическими фрезами, для которых характерны различные методы обработки: симметричный, несимметричный, встречный и попутный.

Цилиндрические фрезы (рис. 2.76), применяемые на станках с горизонтальным расположением шпинделя, выпускаются цельными, с винтовыми пластинками твердого сплава и сборными. Цельные цилиндрические фрезы из быстрорежущей стали изготавливаются в двух исполнениях — с крупными и мелкими зубьями.

Торцовые фрезы (рис. 2.77) бывают цельным и сборными.

Выбор способа обработки и размеров фрез. Торцовые фрезы по сравнению с цилиндрическими обладают рядом преимуществ: большей жесткостью на станке, участием в резании двух режущих кромок — главной и вспомогательной (зачищающей) (рис. 2.78, *a*, *б*) и большим углом контакта ψ с заготовкой (рис. 2.78, *в*, *г*).

Благодаря этому использование торцовых фрез способствует повышению производительности фрезерования плоскостей, уменьшению шероховатости обработанной поверхности, и их закрепления, как правило, являются более предпочтительным.

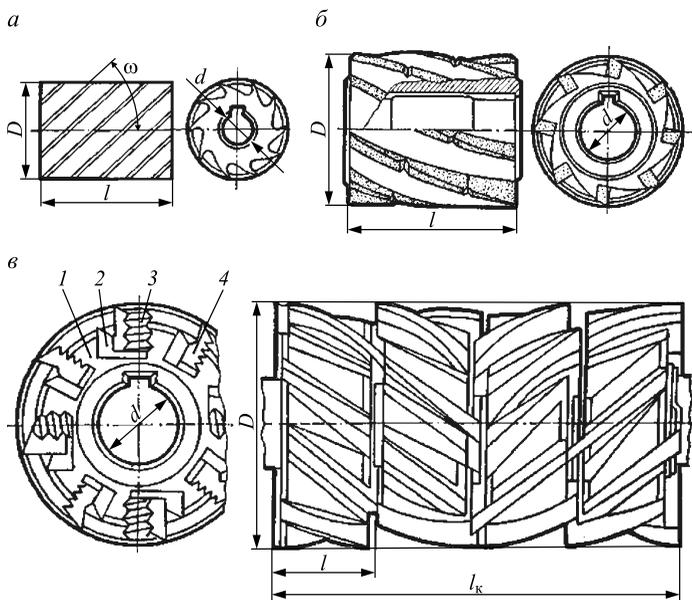


Рис. 2.76. Цилиндрические фрезы:
a – цельные; *б* – с пластинами из твердого сплава; *в* – сборные: 1 – корпус; 2 – клинья;
 3 – пазы с рифлением; 4 – ножи

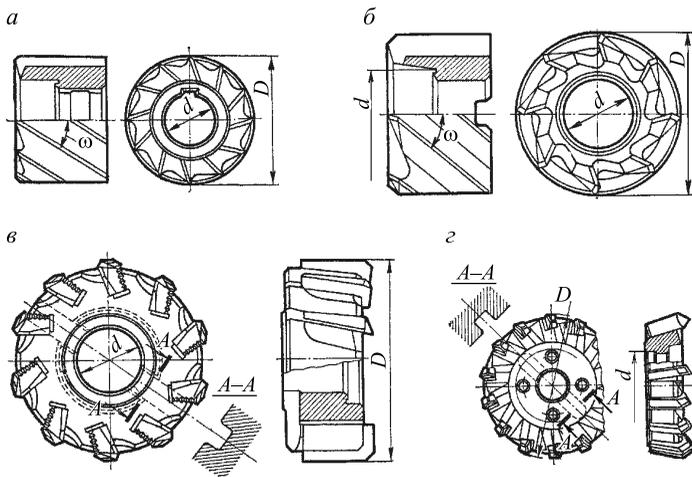


Рис. 2.77. Торцовые фрезы:
a, б – цельные; *в, г* – сборные

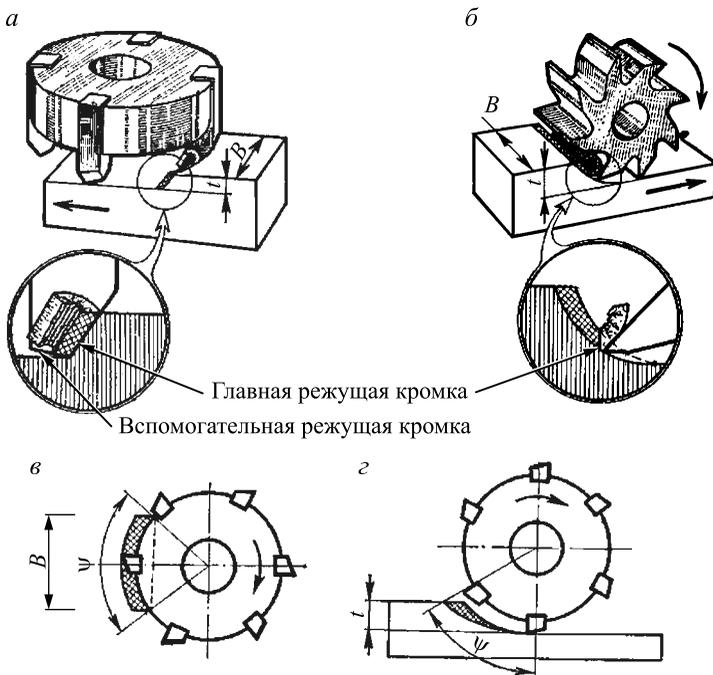


Рис. 2.78. Фрезерование торцовой фрезой (а, в) и цилиндрической (б, г)

Вместе с тем для работы на горизонтально-фрезерных станках цилиндрические фрезы более удобны и особенно незаменимы, когда обработка нескольких поверхностей ведется набором фрез, одновременно закрепляемых на центровых оправках.

Размеры для цилиндрических фрез характеризуются диаметром и длиной.

Диаметр торцовой фрезы D_T принимают таким, чтобы обработка поверхности заготовки производилась за один рабочий ход. Практикой установлено следующее соотношение:

$$D_T = (1,4 \dots 1,7) B,$$

где B — ширина фрезеруемой поверхности, мм.

Диаметр цилиндрических фрез $D_{Ц}$ целесообразно принимать возможно меньшим, но не менее десятикратной глубины резания t . Это объясняется тем, что при обработке цилиндрическими фрезами меньшего диаметра соответственно умень-

шается момент силы резания, что в свою очередь уменьшает расход мощности на резание.

Длину цилиндрических фрез обычно принимают примерно на 10 мм больше ширины фрезеруемой поверхности.

Выбор метода фрезерования. Для обработки плоскостей торцовыми фрезами возможны два метода фрезерования: симметричный и несимметричный. В первом случае оси фрезы и обрабатываемой поверхности совпадают, во втором они смещены относительно друг друга.

На рис. 2.79 видно, что при одинаковой подаче на зуб S при несимметричном фрезеровании уменьшается начальная толщина срезаемого слоя и удлиняется путь врезания зуба в заготовку. Это в свою очередь снижает силу и удар, воспринимаемые зубьями фрезы в момент внедрения в обрабатываемый материал, значительно повышает ее стойкость и уменьшает опасность возникновения вибраций. Таким образом, для фрезерования торцовыми фрезами предпочтительным является несимметричный метод.

При работе цилиндрическими фрезами практическое применение получили: *встречное* фрезерование (рис. 2.79, *а*) — когда обрабатываемая заготовка перемещается навстречу вращающимся зубьям фрезы, и *попутное* (рис. 2.79, *б*) — если направления этих движений совпадают. Каждый из указанных методов имеет свойственные ему достоинства и недостатки.

К достоинствам встречного фрезерования следует отнести возможность его осуществления на любом станке, так как горизонтальная составляющая силы резания P_r направлена против движения подачи, благодаря чему зазоры в винтовой передаче стола станка постоянно выбираются.

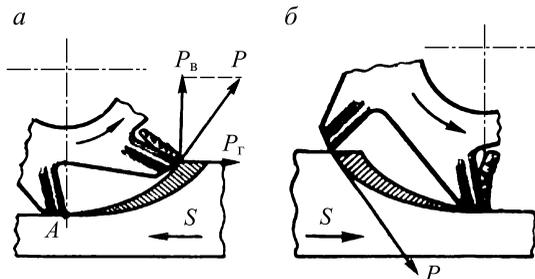


Рис. 2.79. Встречное (а) и попутное (б) фрезерование цилиндрической фрезой

Преимущества попутного фрезерования перед встречным могут быть использованы только при хорошем состоянии станка, и особенно, при отсутствии зазора в сопряжении винт – гайки продольной подачи стола.

Чтобы устранить указанное явление, современные станки оснащают специальными устройствами для периодической регулировки зазора в сопряжении винт – гайки или автоматического выбора его в процессе работы. Поэтому при обработке попутным методом фрезеровщик должен заранее знать возможности станка и, если необходимо, своевременно отрегулировать зазор в винтовой передаче стола.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие фрезы применяются для обработки плоскостей?
2. В чем сущность обработки плоских поверхностей на строгальных и долбежных станках?
3. Какие применяются методы фрезерования плоскостей торцовыми фрезами?
4. Объясните сущность встречного и попутного фрезерования.
5. Объясните достоинства и недостатки различных способов и методов фрезерования плоскостей.

2.11. Фрезерование пазов

Паз – углубление на поверхности детали, открытое в поперечном сечении с одной стороны. Пазы небольших размеров принято называть *канавками*. В зависимости от формы углубления пазы делятся на прямоугольные (рис. 2.80, *а*), треугольные (рис. 2.80, *б*), трапецеидальные (рис. 2.80, *в*), типа ласточкин хвост (рис. 2.80, *г*), Т-образные (рис. 2.80, *д*) и фасонные (рис. 2.80, *е*).

В продольном направлении уступы, пазы и канавки бывают: открытые (рис. 2.81, *а, б*), закрытые (рис. 2.81, *в, г*) и полуоткрытые (рис. 2.81, *д, е*). Кроме того, пазы и канавки в поперечном сечении делятся на глухие (рис. 2.81, *е*) и сквозные (рис. 2.81, *ж*). У первых имеется дно, у вторых его нет.

Точность обработки уступов, пазов и канавок в общем случае определяется точностью размеров, правильной геометрической формой, точностью расположения относительно других поверхностей детали и шероховатостью поверхностей. Возможные погрешности не должны превышать допустимых

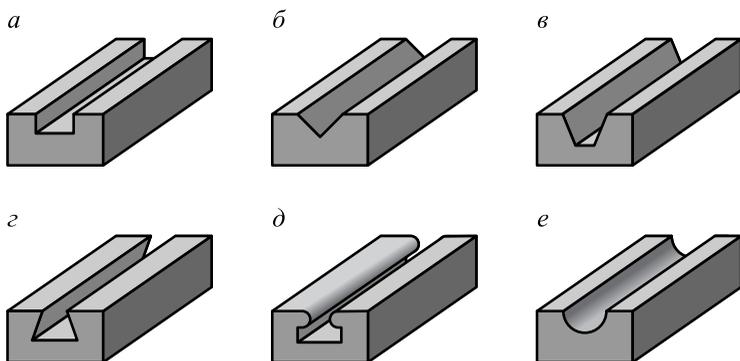


Рис. 2.80. Типы пазов по форме

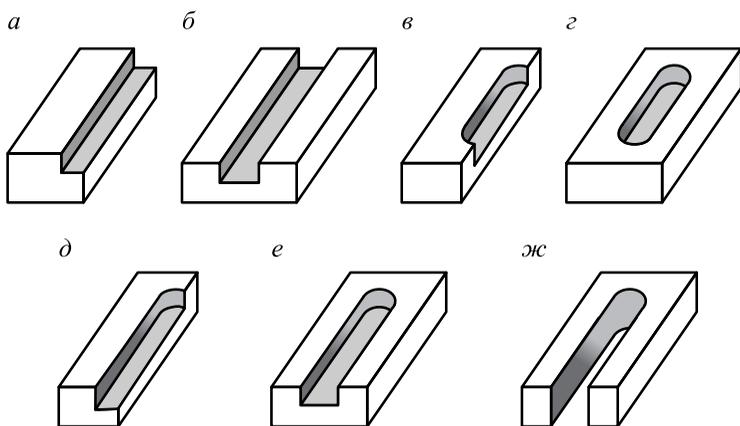


Рис. 2.81. Разновидности уступов, пазов и канавок

отклонений, обусловленных техническими требованиями чертежа.

Приемы фрезерования пазов существенно не отличаются от практических действий, выполняемых фрезеровщиком при обработке уступов. Поэтому ниже будут рассмотрены только некоторые вопросы, свойственные данному виду работ.

При фрезеровании прямоугольных пазов ширина дисковой или диаметр концевой фрезы должны быть равны ширине фрезеруемого паза, если биение режущих кромок фрез не пре-

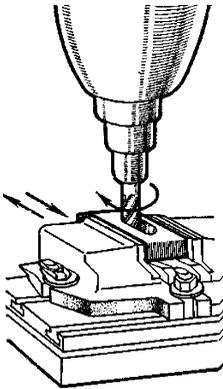


Рис. 2.82. Фрезерование закрытого сквозного паза

вышает допуска на его ширину. В противном случае ширина паза получится больше размера фрезы. Поэтому при обработке точных пазов следует уделять особое внимание устранению или сведению до минимума биения фрез. Если по каким-либо причинам это выполнить не представляется возможным, такие пазы обрабатывают фрезой несколько меньшего размера за два рабочих хода.

Несколько особым случаем является фрезерование закрытых пазов. При обработке закрытого сквозного паза (рис. 2.82) заготовка поступает на фрезерный станок размеченной и с просверленными по краям паза отверстиями для выхода фрезы и образования радиуса закругления. Ее устанавливают в тисках на две

параллельные подкладки так, чтобы последние не мешали свободному выходу фрезы в конце фрезерования. Пользуясь ручными перемещениями стола, вращающуюся фрезу вводят в отверстие паза на глубину $0,3...0,5$ ее диаметра и возвратно-поступательной механической подачей стола выполняют фрезерование. В конце каждого прохода подачу стола выключают, поднимают стол на глубину очередного прохода и вновь включают подачу в обратном направлении.

При обработке закрытого глухого паза заготовка поступает на фрезерование с размеченным пазом без отверстий. В этом случае в начале каждого прохода стол поднимают на такую величину, чтобы глубина резания не превышала высоту торцовых зубьев концевой фрезы (примерно на $2...4$ мм) и выполняют последовательное фрезерование паза с механической подачей в обе стороны.

Шпоночные пазы делятся на сквозные 2, открытые (с выходом) 1 и закрытые 3 (рис. 2.83).

Фрезерование шпоночных пазов является весьма ответственной операцией. От точности шпоночного паза зависит характер посадки на шпонку сопрягаемых с валом деталей.

Особыми требованиями, предъявляемыми к точности шпоночных пазов, являются выполнение их ширины в пределах допустимых отклонений по пазам шпоночным (ПШ) и строгая симметричность паза к оси вала. Для соблюдения этих требова-

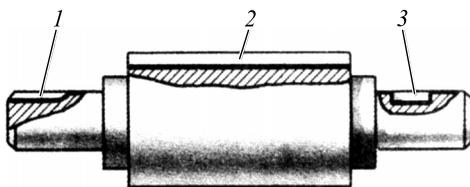


Рис. 2.83. Вал со шпоночными пазами

ний необходимо правильно подобрать фрезу, установить ее на станке с минимальным биением (не более 0,02 мм по боковым зубьям) и выверить приспособление и заготовку относительно направления продольной подачи стола станка.

Фрезерование пазов на шпоночно-фрезерных станках. Для получения точных по ширине пазов обработку ведут на специальных шпоночно-фрезерных станках с маятниковой подачей, работающих двузубыми шпоночными фрезами. При этом способе фреза врезается на 0,2...0,4 мм и фрезерует паз по всей длине, затем опять врезается на ту же глубину, как и в предыдущем случае, и фрезерует паз на всю длину, но в другом направлении (рис. 2.84).

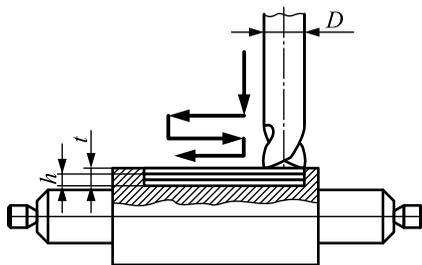


Рис. 2.84. Схема фрезерования шпоночных пазов способом «маятниковая подача»

Фрезерование пазов на автоматизированных шпоночно-фрезерных станках. Такое фрезерование производится немерными инструментами с осциллирующим (колебательным) движением. Регулируя размах осциллирования от нуля до требуемой величины, можно фрезеровать шпоночные пазы с требуемой точностью по ширине. При фрезеровании с осциллированием ширина или диаметр фрезы должны быть меньше ширины обрабатываемого паза.

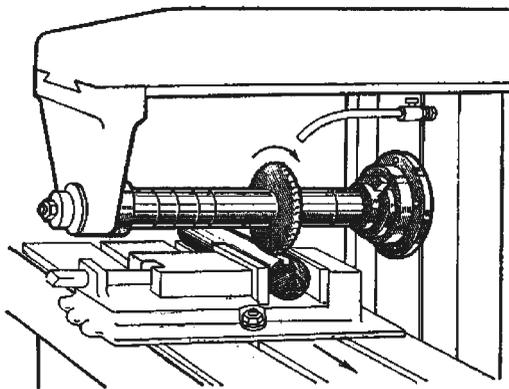


Рис. 2.85. Фрезерование открытого шпоночного паза с установкой вала в тисках

При обработке шпоночных пазов валы можно закреплять в станочных тисках, на призмах, непосредственно на столе станка или в специальных самоцентрирующихся тисках. При установке заготовок в станочных тисках (рис. 2.85) на губки следует надеть угловые нагубники из мягкого листового металла, предохраняющие поверхность вала от смятия. В этих случаях целесообразно также применять специальные призматические накладные губки к тискам.

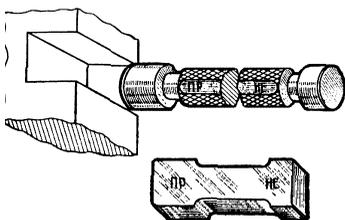


Рис. 2.86. Контроль ширины паза предельными калибрами

Для контроля ширины точных пазов часто пользуются круглыми или плоскими предельными калибрами (рис. 2.86), которые имеют две стороны: проходную ПР и непроходную НЕ. Паз считается годным по ширине, если проходная сторона калибра проходит в паз, а непроходная — не проходит. Калибр следует вводить в паз под действием собственного веса или небольшим усилием руки.

Контрольные вопросы и задания

1. Укажите разновидности уступов, пазов, канавок и требования к ним.
2. Какие технические требования предъявляются к точности обработки уступов, пазов и канавок?

3. Какими контрольно-измерительными инструментами осуществляется контроль пазов?

4. В чем состоят особенности фрезерования шпоночных пазов?

2.12. Обработка плоских поверхностей на протяжных и шлифовальных станках

При протягивании наружных поверхностей, предварительно не обработанных, за один ход протяжки достигается высокая точность и малая шероховатость поверхностей. В процессе обработки каждый режущий зуб протяжки снимает слой металла, составляющий часть припуска, а калибрующие зубья зачищают поверхность. При этом они долго не теряют своей режущей способности и формы.

При обработке поверхностей поковок и отливок целесообразно применять не обычные плоские протяжки (рис. 2.87, *а*), а прогрессивные (рис. 2.87, *б, в*). У обычных плоских протяжек каждый зуб снимают стружку по всей ширине обрабатываемой поверхности, поэтому при обработке поверхности, имеющей корку, первые зубья протяжки быстро тупятся или выкрашиваются. У прогрессивных протяжек режущие зубья делают переменной ширины, увеличивающейся постепенно, и каждый режущий зуб срезает металл не по всей ширине обрабатываемой поверхности, а полосой, причем ширина этих полос с каждым зубом возрастает, и только калибрующие зубья зачищают обрабатываемую поверхность по всей ширине.

Для обработки наружным протягиванием широких поверхностей (более 50 мм) устанавливают несколько протяжек рядом. Протягивание наружных поверхностей производят большей частью на вертикально-протяжных станках.

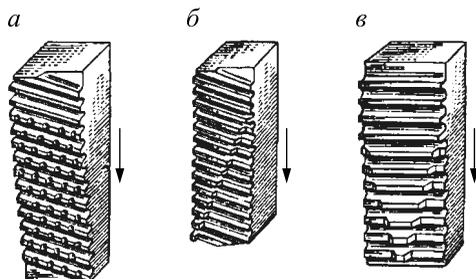


Рис. 2.87. Схемы плоских протяжек

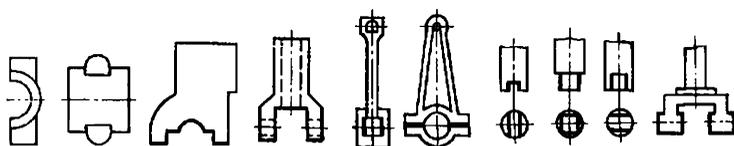


Рис. 2.88. Заготовки, обрабатываемые протяжками

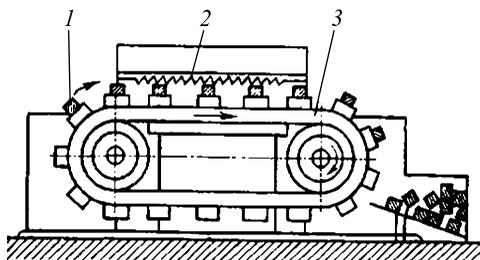


Рис. 2.89. Схема станка для непрерывного протягивания

Заготовки, плоские поверхности которых обрабатывают наружным протягиванием (места обработки показаны жирной линией), приведены на рис. 2.88.

В массовом производстве применяют высокопроизводительные протяжные станки непрерывного действия. Станки имеют цепь, которая перемещает заготовки 1 (рис. 2.89), закрепленные на ней. Когда цепь 3 перемещает заготовки мимо протяжки 2, находящийся в верхней части станка, происходит обработка поверхности.

На станках непрерывного действия с круглым столом заготовки расположены в приспособлениях, по окружности заготовки перемещаются мимо протяжек, которые обрабатывают их поверхности. Как правило, протяжные станки непрерывного действия — специальные, а недостатком их является сложность, а чаще невозможность переналадки на обработку другой заготовки.

Обработка плоских поверхностей на шлифовальных станках. Обдирочное шлифование поверхностей может быть предварительной или окончательной операцией, если не требуется большая точность и малая шероховатость поверхности. Припуск для обдирочного шлифования должен быть значительно меньше, чем для фрезерования и строгания. При больших припусках обдирочное шлифование не эконо-

мично. Обдирочное шлифование поверхностей используют в том случае, когда твердая корка на поверхности заготовки или большая твердость материала затрудняют фрезерование или строгание. Его применяют также при обработке плоских поверхностей нежестких заготовок. Черновое и чистовое шлифование поверхностей производят для большой точности и малой шероховатости поверхности, когда этого нельзя достичь фрезерованием или строганием. Круги больших диаметров для торцового шлифования изготавливают составными из отдельных сегментов, прикрепленных к металлическому диску. При работе такими кругами уменьшается выделения тепла, улучшается удаление пыли и мелкой стружки, образующейся при шлифовании, повышается безопасность шлифовальных кругов.

Чистовое шлифование поверхностей производят торцовой частью или периферией круга (рис. 2.90). При шлифовании

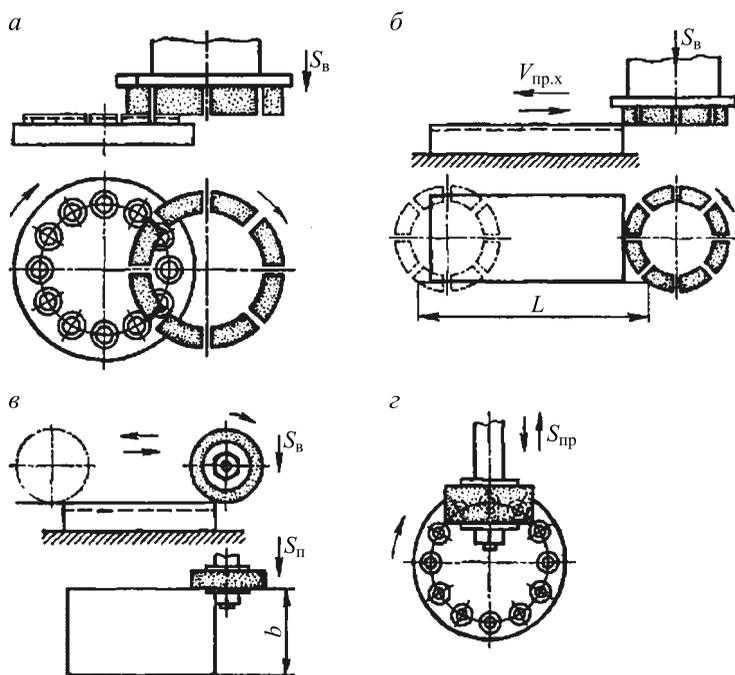


Рис. 2.90. Схемы шлифования поверхностей: торцовым кругом: а — на круглом станке; б — на прямоугольном столе; цилиндрическим кругом: в — на круглом столе; г — на прямоугольном столе

торцевой частью круга применяют круги чашечной или тарельчатой формы. Шлифование торцом круга более производительнее, чем шлифование периферией, так как обычно диаметр круга больше, чем ширина обрабатываемой поверхности, вследствие чего она вся подвергается обработке. Шлифование периферией круга производят с поперечной подачей, и поэтому оно менее производительнее, но при нем достигается более высокая точность, чем при шлифовании торцом круга.

Станки для обдирочного шлифования бывают односторонние (для обработки с одной стороны) с горизонтальным расположением шпинделя (рис. 2.91, *а*) или вертикальным (рис. 2.91, *б*); двухсторонние (для обработки с двух сторон), двухшпиндельные с горизонтальным расположением шпинделей (рис. 2.91, *в*). Станки для чернового и чистового шлифования изготавливают для работы торцевой частью круга с прямоугольным и круглым столом; они по конструкции аналогичны

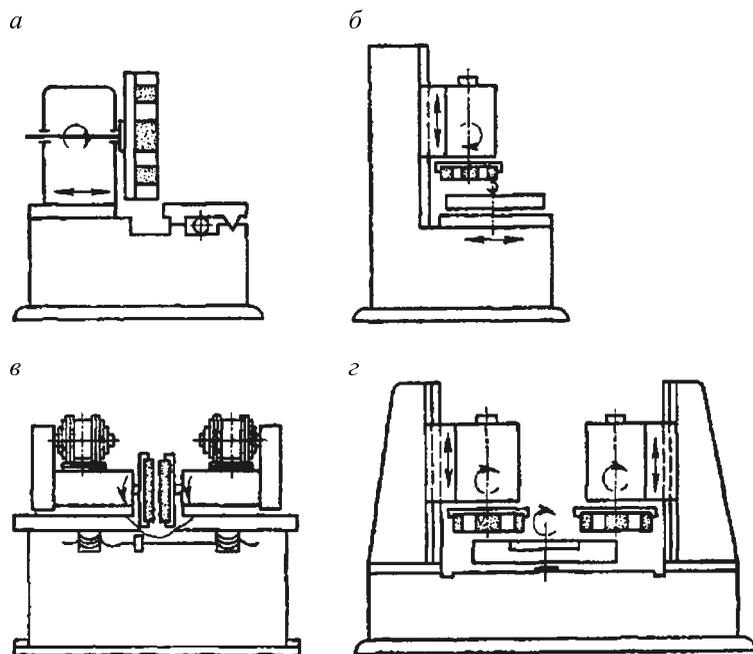


Рис. 2.91. Схемы плоскошлифовальных станков:

а — с одним горизонтальным шпинделем; *б* — с одним вертикальным шпинделем; *в* — с двумя горизонтальными шпинделями; *г* — с двумя вертикальными шпинделями

станкам, показанным на рис. 2.91, *в, з*, для работы периферией круга с прямоугольным и круглым столом.

При плоском обдирочном шлифовании стальных заготовок применяют круги из электрокорунда (Э), а для отливок из чугуна, меди и алюминия — круги из карбида кремния зернистостью 80...160 на керамической или бакелитовой связке. По сравнению с керамической бакелитовая связка обладает некоторым смазочным действием, обеспечивая меньшую шероховатость обрабатываемой поверхности. Скорость шлифовальных кругов 30...40 м/с, при скоростном шлифовании — 50...60 м/с. Скорость перемещения заготовки 10...50 м/мин. Глубина резания (0,005...0,03 мм) зависит от зернистости круга, требуемой шероховатости и точности. Подачу при шлифовании периферией круга выбирают 0,02...0,6 ширины круга за ход стола. Достигаемая шероховатость поверхности при плоском шлифовании периферий круга $Ra0,4...0,8$ мкм, при тонком шлифовании $Ra0,05...0,1$ мкм. При тонком шлифовании круг правят алмазом, глубина шлифования 3...5 мкм, скорость заготовки (стола) 2...4 м/мин; необходима тщательная балансировка круга.

В последнее время получило развитие шлифование с большим съемом металла (600 см³/мин при обработке стальных заготовок и 750 см³/мин при обработке чугунных заготовок). Такое шлифование (силовое) во многих случаях заменяет строгание, фрезерование, точение, особенно при обработке поверхностей и др. Силовое шлифование осуществляет двумя способами:

- с большой глубиной резания (6 мм) и малой скоростью подачи заготовки (1...2 м/мин);
- с небольшой глубиной резания и высокой скоростью подачи заготовки.

Силовое шлифование осуществляет на плоско- и круглошлифовальных станках. Для силового шлифования изготавливают круги повышенной прочности, допускающие окружные скорости 70 м/с, увеличивающие съем металла в 2—3 раза по сравнению с обычными методами шлифования.

Преимущества силового шлифования: интенсивный съем металла, снижение расхода энергии на кубический сантиметр снимаемого металла, сокращение времени и затрат на обработку, повышение размерной точности, сокращение времени на смену и правку кругов. Необходимая шероховатость поверхности, получаемая при обработке строганием или фрезерованием

за два рабочих хода, достигается силовым шлифованием за один рабочий ход.

Основной способ закрепления обрабатываемых заготовок на плоскошлифовальных станках — с помощью магнитного стола или магнитной плиты. Заготовки, не имеющие достаточной большой обработанной установочной поверхности, а также заготовки из немагнитных материалов закрепляют с помощью универсальных и специальных приспособлений.

Отделочная обработка плоских поверхностей. Плоские поверхности обрабатывают также притиркой, полированием и шабрением. Притирку осуществляют на тех же станках, что и для притирки наружных цилиндрических поверхностей. Обрабатываемые заготовки свободно лежат в гнездах обоймы (сепаратора). Притирка обеспечивает самую высокую точность и шероховатость поверхности $Ra0,008$ мкм.

Полирование, применяемое только для уменьшения шероховатости поверхности, осуществляется полировальными кругами, а также с помощью станков, имеющих бесконечную ленту, на которую наносят абразивную пасту.

Шабрение плоских поверхностей может осуществляться с помощью шабера вручную или механическим способом. Первый способ требует большой затраты времени и силы, но в то же время при нем достигается сравнительно высокая точность. Второй способ — механический — осуществляется с помощью устройств, на которых шабер получает возвратно-поступательное движение от электрического двигателя небольшой мощности. Такой способ применяется для шабрения сложных поверхностей. Точность шабрения характеризуется числом пятен краски, приходящихся на площадь поверхности 25×25 мм при проверке поверочными на площадь линейками, покрытыми краской. Для поверхностей, обработанных с высокой точностью, число пятен должно быть больше 25; поверхностей, обработанных со средней точностью, — 16–25 пятен и для поверхностей, обработанных с пониженной точностью, — 10–16 пятен.

Контроль плоских поверхностей. Плоские поверхности контролируют линейками, уровнями поверочных плит и различными устройствами.

На рис. 2.92 показаны схемы контроля плоских поверхностей линейками и поверочной плитой. Для проверки прямолинейности поверхности на просвет применяют лекальные ли-

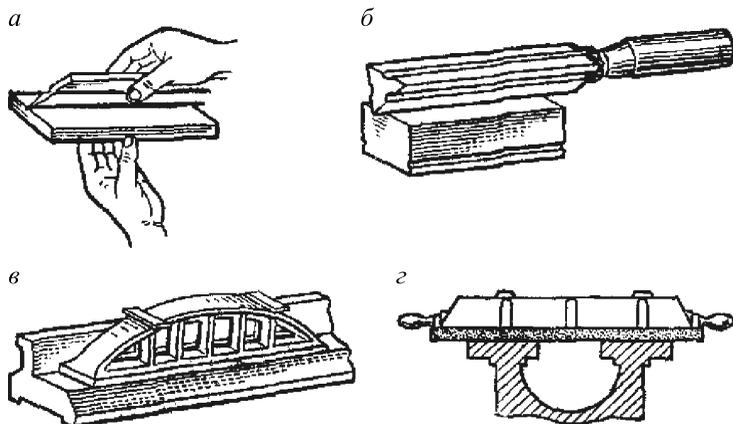


Рис. 2.92. Схемы контроля поверхностей:
 а – лекальной линейкой; б – треугольной линейкой; в – плоской линейкой; г – поверочной плитой

нейки нулевого и первого класса. При определенном опыте можно обнаружить непрямолинейность в пределах 2...3 мкм.

Поверхность после шабрения проверяют на краску. Тонкий слой краски наносят на проверяемую поверхность и перемещают по ней линейку или плиту.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем сущность обработки поверхностей на протяжных станках?
2. Какие требования предъявляются к установке протяжек на станке?
3. Какие станки применяются для шлифования плоских поверхностей?
4. Назовите способы отделки плоских поверхностей.

2.13. Обработка сложных (фасонных) поверхностей на токарных станках

Поверхности, получаемые вращением криволинейной образующей вокруг оси, называются *фасонными*. Они могут иметь сложную и простую форму. У первых образующая состоит из участков различной кривизны, которые могут соединяться между собой прямыми линиями, у вторых – в виде дуги определенного радиуса. Характерными примерами сложных фасонных поверхностей могут служить поверхности ручек маховичков суппорта, простых – шаровые поверхности.

Точность выполнения фасонных поверхностей должна соответствовать техническим требованиям рабочего чертежа по размерам, форме, расположению и шероховатости.

На токарных станках фасонные поверхности обрабатываются фасонными резцами, сочетанием ручных продольной и поперечной подач, с помощью эталонной детали или шаблона, закрепленного в задней бабке, с помощью копировального устройства или специальных приспособлений.

Обработку *фасонными резцами* применяют для изготовления деталей партиями в условиях серийного производства при ширине фасонного участка примерно 40...50 мм. Обработку ведут стержневыми, призматическими и круглыми фасонными резцами (рис. 2.93), режущая кромка которых имеет форму контура детали.

Стержневые резцы (рис. 2.93, *а*) наиболее просты в изготовлении. Они обычно оснащаются приваренными к стержню пластинками из быстрорежущей стали или припаянными — из твердого сплава. Иногда такие резцы выполняют сборными в виде режущей пластины, механически закрепленной в державке.

Фасонный контур таких резцов образуется заточкой по задней поверхности с подгонкой формы режущей кромки по шаблону, который используется также для контроля установки резца на станке.

Фасонный резец подводят к заготовке плавно с подачей 0,02...0,1 мм/об, причем в конце рабочего хода подачу уменьшают. Для получения малой шероховатости поверхности скорость резания при точении фасонными резцами не должна превышать 30 м/мин.

Недостатки стержневых резцов: малое количество возможных переточек и недостаточная шероховатость обработки, обусловленная шероховатостью режущей кромки после заточки.

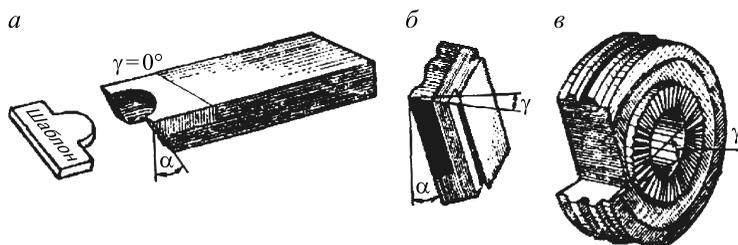


Рис. 2.93. Фасонные резцы:
а — стержневой; *б* — призматический; *в* — круглый

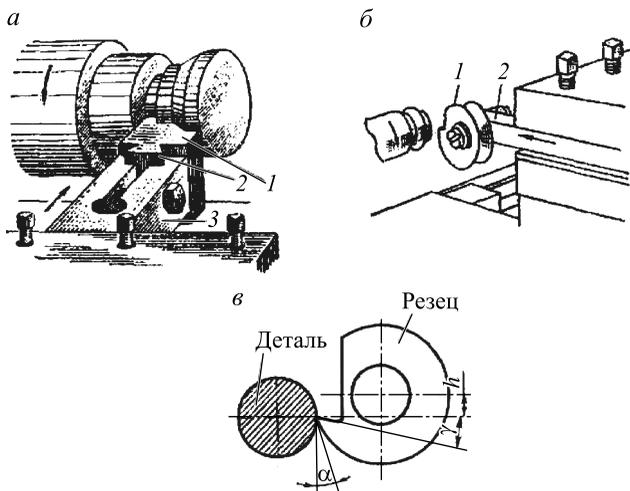


Рис. 2.94. Установка фасонных резцов на станке:
а – призматического; *б, в* – круглого

Призматический резец *1* (рис. 2.94, *а*) располагают на станке наклонно под углом α к вертикали и закрепляют за хвостовик *2* типа «ласточкин хвост» в державке *3*. Его можно перемещать вверх по мере перетачивания и таким образом сохранять постоянное положение режущей кромки. Конструкция призматических резцов позволяет максимально использовать материал режущей части.

Круглый резец *1* (рис. 2.94, *б*) обеспечивает наиболее точную обработку. Он имеет фасонную наружную поверхность, в резце сделан угловой вырез. Пересечением плоскости выреза с наружной фасонной поверхностью образуется фасонная режущая кромка.

Глубина выреза и его направление таковы, что стружка легко сбегает по передней поверхности и завивается. Резец устанавливают по отверстию на оси державки *2*.

Фасонные резцы работают в тяжелых условиях, так как срезают широкую стружку. Из-за этого поперечную подачу для них следует выбирать заниженную в пределах 0,02...0,08 мм/об в зависимости от жесткости детали.

В единичном производстве обработку фасонных поверхностей, особенно большой длины, часто выполняют наиболее до-

ступным способом — проходными резцами при одновременном использовании продольной и поперечной подачи.

Этот способ используется для обработки любой фасонной поверхности, хотя такая обработка требует высокой квалификации токаря. Последовательность обработки фасонной поверхности этим способом показана на (рис. 2.95). Рассмотренный способ получения фасонных поверхностей малопроизводителен и не обеспечивает высокой чистоты обработки.

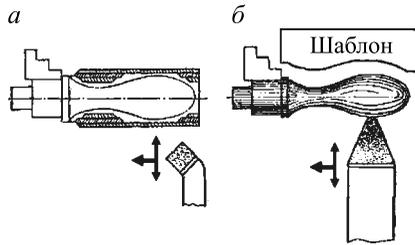


Рис. 2.95. Точение фасонной поверхности комбинированием двух подач:
а — предварительно; б — окончательно

Фасонные поверхности деталей небольших размеров можно обрабатывать с помощью несложного копировального приспособления с коромыслом (рис. 2.96). В пинюль задней бабки устанавливают копир. Корпус 6 приспособления закрепляют в резцедержателе 5. В корпусе на пальце 2 свободно насажено качающееся коромысло 1, которое поджимается к копиру пружиной 4. На одном конце коромысла закрепляют резец, а на втором — шуп 3. При включении продольной подачи шуп переме-

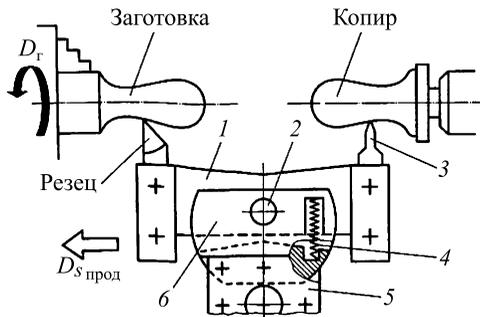


Рис. 2.96. Приспособление для обработки фасонной поверхности:
 D_1 — главное движение; $D_{S\text{ прод}}$ — движение резца в продольном направлении

щается в продольном направлении по копиру и резец описывает кривую, заданную копиром. Из рисунка видно, что для выпуклого участка детали участок копира должен быть вогнутым и, наоборот, для вогнутого участка – выпуклым.

В резцедержателе с помощью несложной державки закрепляются резец и такой же по форме щуп 3. Перемещая суппорт вручную одновременно продольно и поперечно, надо следить за тем, чтобы щуп все время касался поверхности копира. Резец, совершая аналогичные движения, обточит на детали такой же профиль. Если токарь имеет достаточные навыки, продольную подачу суппорта можно выполнять с помощью механической подачи.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите виды фасонных поверхностей и требования к ним.
2. Какими способами можно обработать фасонные поверхности на токарном станке?
3. Объясните особенности конструкции, геометрии и заточки фасонных резцов.
4. Объясните сущность обработки фасонных поверхностей способом сочетания ручных поперечной и продольной подач.
5. В чем заключается принцип обработки фасонных поверхностей по копиру?

2.14. Обработка фасонных поверхностей на фрезерных станках

Различают контурные и объемные фасонные поверхности. Контурные поверхности ограничены двумя плоскими основаниями и имеют криволинейный профиль только в сечении, проведенном параллельно им. Такие поверхности могут быть получены обработкой на консольно-фрезерных станках. На рис. 2.97 показаны контурные фасонные поверхности у гаечно-



Рис. 2.97. Детали, имеющие фасонные поверхности

го ключа (рис. 2.97, *а*), профильных дисковых кулачков (рис. 2.97, *б*) и рычага (рис. 2.97, *в*).

Объемная фасонная поверхность в сечениях, проведенных в двух взаимно перпендикулярных направлениях, имеет криволинейную форму, для ее обработки требуются специальные копировально-фрезерные станки. Такие поверхности имеются в штампах, пресс-формах и других деталей.

Технические требования, предъявляемые к фасонным поверхностям: обеспечение точности их формы, размеров, определенного расположения их относительно других поверхностей и получение заданной шероховатости в соответствии с техническими требованиями чертежа.

На консольно-фрезерных станках контурные фасонные поверхности можно обрабатывать одним из следующих способов: фасонными фрезами, комбинированием двух подач, по копии, на круглом поворотном столе.

Фрезерование фасонных поверхностей фасонными фрезами. Фасонные поверхности детали простой и сложной формы в условиях серийного и массового производства обрабатываются фасонными фрезами. Они относятся к категории специального режущего инструмента и предназначены для изготовления детали с фасонными поверхностями определенного профиля.

По форме профиля режущих кромок фасонные фрезы подразделяются на вогнутые (рис. 2.98, *а*) и выпуклые (рис. 2.98, *б*).

Фасонные фрезы, у которых режущие кромки имеют постоянный радиус кривизны, относятся к категории фрез (в сочетании с прямолинейными участками) со сложным профилем (рис. 2.98, *в*).

Форма зубьев фасонных фрез должна соответствовать фасонной поверхности обрабатываемой детали.

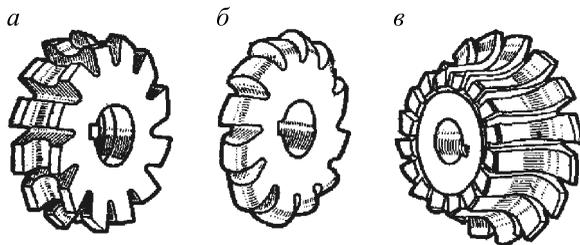


Рис. 2.98. Разновидности фасонных фрез

По конструкции фасонные фрезы бывают цельные и сборные и, как правило, изготавливаются из быстрорежущей стали. Они в основном выпускаются с затылованными зубьями, задняя поверхность которых выполнена по кривой, называемой архимедовой спиралью.

Величина заднего угла обычно равна $10...12^\circ$. Перетачивают фасонные фрезы с затылованными зубьями только по передней поверхности, сохраняя величину переднего угла, заданную чертежом. С каждой новой переточкой увеличивается ширина канавки и облегчается выход стружки, но при этом уменьшается прочность зубьев.

Фрезерование фасонных поверхностей набором фрез. Этот способ значительно сокращает время на обработку, так как обработка нескольких поверхностей осуществляется одновременно за один рабочий ход (рис. 2.99).

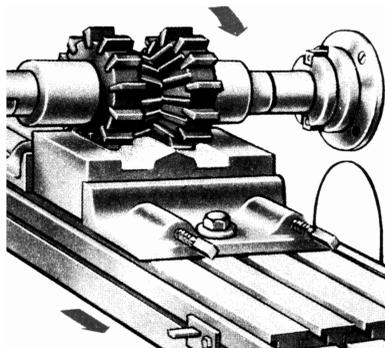


Рис. 2.99. Фрезерование фасонной поверхности набором фрез

При фрезеровании набором фрез применяют фрезы с затылованными и остроконечными зубьями. Применение такого способа экономически оправдывается при изготовлении деталей крупными партиями.

Для обработки широких фасонных поверхностей применяются наборы из двух и более фрез. Диаметры фрез в наборе определяются в зависимости от глубины обработки различных участков детали.

Обработка фасонной поверхности комбинированием двух подач. Данную обработку в основном производят на вертикально-фрезерных станках концевыми фреза-

ми. Диаметр фрезы обычно подбирают по наименьшему радиусу вогнутого участка. Характерной особенностью обработки этим способом является непостоянство глубины фрезерования, которая может изменяться в широком пределах в зависимости от припуска на отдельных участках заготовки и формы поверхности. По этой причине такие поверхности фрезеруют за несколько проходов. При черновых проходах криволинейному участку придают приближенную форму, оставляя припуск до 1 мм на чистовой проход.

На рис. 2.100 показано фрезерование концевой фрезой фасонной поверхности планки комбинированием двух подач. Размеченная заготовка 4 базируется на параллельной подкладке 3 и с помощью прихватов 1 и 2 закрепляется на столе станка. Фрезерование начинают с участка, имеющего наибольший припуск на обработку. За один или несколько черновых проходов поверхности придают приближенную форму относительно линии разметки. При чистовом фрезеровании производят плавные перемещения стола в продольном и поперечном направлениях, непрерывно и внимательно следя, чтобы режущие кромки зубьев фрез проходили по линиям разметки.

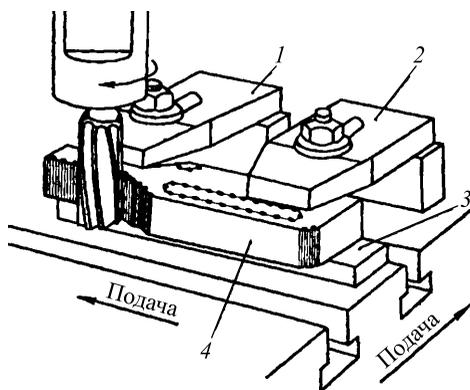


Рис. 2.100. Фрезерование фасонной поверхности планки

Обработка фасонной поверхности по копиру на универсальных станках. Накладной копир представляет собой элемент приспособления, изготовленный из листовой стали толщиной 5...10 мм, термически обработанный до высокой твердости и имеющий криволинейный контур, соответствующий форме и размерам контура детали.

Заготовка и копир прочно скрепляются между собой и закрепляются в приспособлении. Фрезерование чаще всего производится на вертикально-фрезерных станках концевыми фрезами, имеющими шлифованную цилиндрическую шейку, диаметр которой равен диаметру режущей части фрезы.

Выбор диаметра фрезы, как и при фрезеровании комбинированием двух подач, определяется наименьшим радиусом вогнутого участка фасонного контура.

Принцип копирования заключается в воспроизведении на обрабатываемой поверхности заготовки криволинейного контура накладного копира. В процессе фрезерования заготовке и копиру комбинированием двух подач сообщаются два движения: продольное и поперечное.

Объемное фрезерование по копиру или по специально изготовленной модели производят на различных копировально-фрезерных станках. У одного из таких станков щуп копировальной головки управляет двумя электрическими цепями, включающими поперечную и продольную подачи. На рис. 2.101, а изображена схема управления таким станком. На схеме

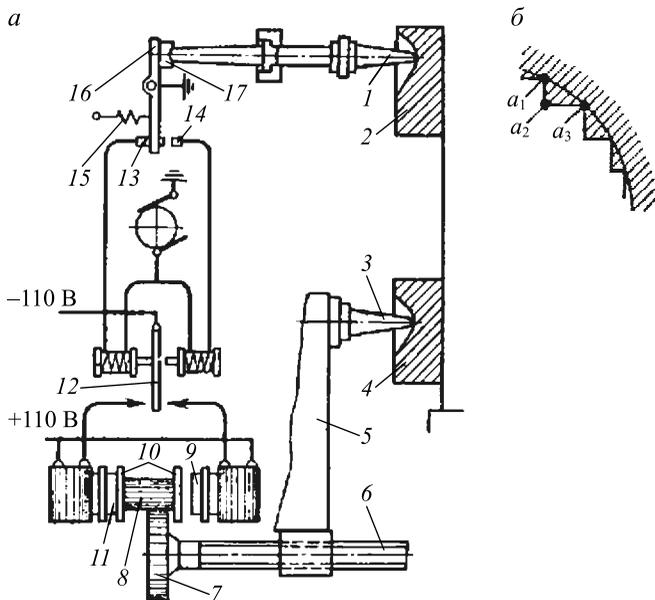


Рис. 2.101. Схема управления копировально-фрезерным станком

показан момент подхода одного конца щупа 1 к копиру 2 и пальцевой фрезы 3 к заготовке 4. Щуп упирается в шайбу 17, смонтированную на конце рычага 16, где находятся контакты 13 и 14. Рычаг 16 перемещается от контакта 13 к контакту 14 и возвращается в исходное состояние пружиной 15. Контакт 13 при этом замыкается.

Поперечные салазки 5 станка, несущие щуп 1, фрезу 3, получают движением от электродвигателя с помощью ходового винта 6 с гайкой зубчатого колеса 7 и передвигного зубчатого колеса 8 с дисками 10 на торцах. Электромагнитные муфты 9 и 11, расположенные на одной оси с колесом 8, вращаются в разные стороны от отдельных электродвигателей. В зависимости от того, какой из контактов (13 или 14) замкнут рычагом 16, якорь 12 включает левую 11 или правую 9 муфту. Зубчатое колесо 8 приводит во вращение ходовой винт 6, сообщая поперечными салазками соответствующее движение.

Все движения механизмов подачи станка сочетаются таким образом, что горизонтальное или вертикальное перемещение возможно, лишь когда механизм поперечного перемещения бездействует, т.е. когда рычаг 16 находится в промежутке между контактами 13 и 14, не замыкая ни одного из них. Предположим, что щуп, подойдя к копиру, коснется в точке a_1 (см. рис. 2.101, б) и осуществит на него давление, и контакт 13 разомкнется. Тотчас же включается вертикальное движение, и щуп перемещается в точку a_2 . Так как при этом щуп выходит из соприкосновения с копиром, то контакт 13 мгновенно замкнется, и в тот же момент начинается поперечное движение щупа в точке a_3 и т.д. Таким образом, путь фрезы, повторяющей движения щупа, состоит как бы из ряда малых ступеней, которые позволяют вести копирование с точностью 0,01...0,02 мм. В копировально-фрезерном станке 6441Б щуп управляет движениями не в результате прерывистого замыкания и размыкания контактов, а путем плавного регулирования скорости двигателей подач.

Обработка фасонной поверхности на круглых поворотных столах. Круглые поворотные столы являются принадлежностями универсально-фрезерных станков. На круглых поворотных столах можно фрезеровать круговые канавки различного профиля, криволинейные контуры и другие фасонные поверхности. Их также применяют для поворота заготовки на определенный угол или для сообщения ей непрерывного вращательного движения. Они бывают с ручным и механическим приводом.

Поворотные столы с ручным приводом (рис. 2.102) нормализованы, имеют типовую конструкцию и изготавливаются с диаметром планшайбы 160, 200, 250 и 320 мм. Стол состоит из основания 2, которое устанавливается на столе фрезерного станка и крепится на нем с помощью болтов, размещенных в пазах стола, поворотной планшайбы 1 с Т-образными пазами и коническим отверстием в центре для установки и закрепления заготовки или приспособления. При вращении рукоятки 4 через червячную передачу начинает вращаться планшайба. На ее боковой поверхности нанесены градусные деления для отсчета угла поворота. Винтом 5 фиксируется указатель на круговой шкале стола. Винтом 6 фиксируется риску указателя на круговой шкале стола.

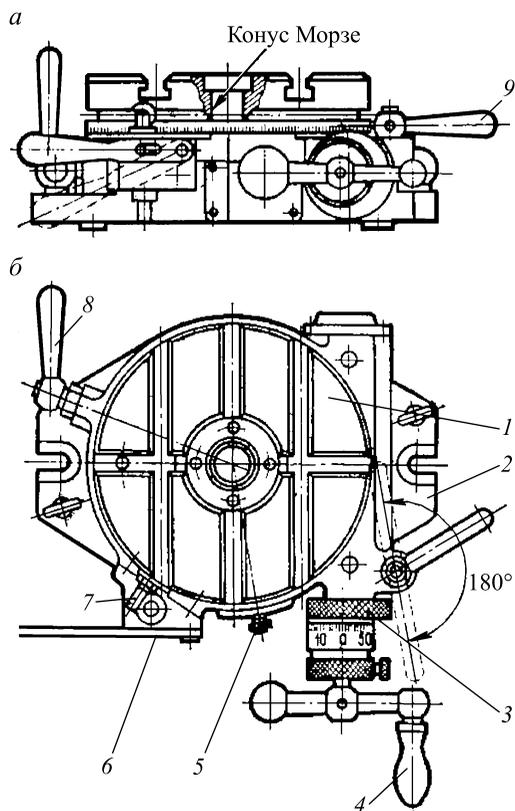


Рис. 2.102. Круглые поворотные столы с ручным приводом

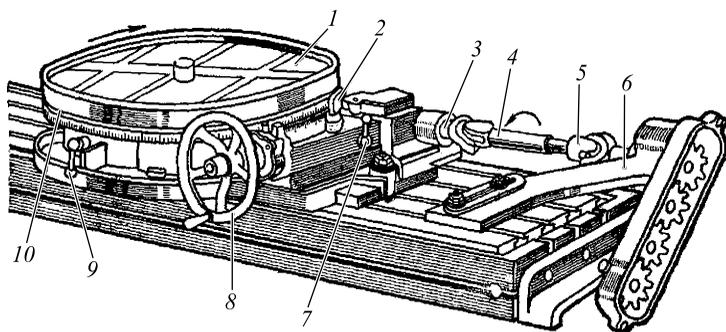


Рис. 2.103. Круглый поворотный стол с механическим приводом

Вал червяка установлен в эксцентричной гильзе 3, которую можно повернуть рукояткой 9, тем самым отсоединив червяк от червячного колеса. Это делается для быстрого поворота планшайбы вручную. Ограничитель 7, связанный с рукояткой 6, позволяет производить поворот планшайбы на требуемый и заранее установленный угол поворота. Неподвижное закрепление планшайбы на основании после ее поворота на необходимый угол производится рукояткой 8.

Поворотные круглые столы с механическим приводом также нормализованы и изготавливаются с диаметром планшайбы 320, 400, 500 и 630 мм. Стол такой конструкции (рис. 2.103) имеет две червячные передачи: одну для привода планшайбы 1 вручную маховичком 8, другую — для механического привода. Механическая круговая подача планшайбы стола заимствуется от вала, расположенного под столом станка, и передается через зубчатые колеса кронштейна 6, телескопический шарнирный вал 4, шарниры 3 и 5 на вал привода червячной передачи. Включение механической подачи планшайбы производится рукояткой 7, а автоматическое выключение — кулачком 2, расположенным в круговом пазу 10. Закрепление планшайбы в неподвижном положении производится рукояткой 9. Если отсоединить вал 4 от червяка, вращение планшайбы производится вручную маховичком 8.

Контрольные вопросы и задания

1. Как классифицируются фасонные поверхности?
2. Какие технические требования предъявляются к фасонным поверхностям?

3. Назовите основные способы обработки фасонных поверхностей на консольно-фрезерных станках, их преимущества и недостатки.

4. Как фрезеруются криволинейные поверхности комбинированием двух подач?

5. В чем сущность копировального фрезерования?

6. Для чего предназначены круглые поворотные столы?

2.15. Обработка зубчатых поверхностей

Зубчатые колеса бывают цилиндрические, конические и червячные. Цилиндрические зубчатые колеса выполняют одно- и многовенцовыми (блочными). По конфигурации зубчатые колеса делают в виде дисков с гладкими или шлицевыми отверстиями, а также в виде фланцев и валиков (с хвостовиками). У цилиндрических колес зубья выполняют прямыми, косыми и шевронными; у конических – прямыми, тангенциальными круговыми и криволинейными. Зубья цилиндрических зубчатых колес нарезают с помощью червячных фрез (зубофрезерование), долбяков в виде шестерен (дисковых) и долбяков в виде гребенок (зубодолбление).

Нарезание цилиндрических прямозубых и косозубых колес можно выполнять на горизонтальных и универсальных фрезерных станках с помощью делительной головки модульными дисковыми фрезами. Этот метод заключается в последовательном фрезеровании впадин между зубьями фасонной дисковой модульной фрезой. Такие фрезы изготавливают наборами, состоящими из 8 или 15 фрез для каждого модуля. Обычно применяют набор из 8 фрез, обработка которыми позволяет получить колеса 9-й степени точности. Для изготовления колес с модулем свыше 8 мм требуется набор, состоящий из 15 фрез. Такое число фрез в каждом наборе необходимо, так как для различного числа зубьев колес эвольвентные профили зубьев будут различны. Каждая фреза набора предназначена для обработки определенного интервала чисел зубьев.

Колеса нарезают по одному (рис. 2.104) или несколько на оправке, что увеличивает производительность вследствие сокращения времени на врезание и выход фрезы, а также вспомогательного времени.

Если на шпиндельной оправке расположить две или три фрезы (рис. 2.105, а), каждая из которых будет прорезать впадины зубьев у заготовок своей группы, то производительность

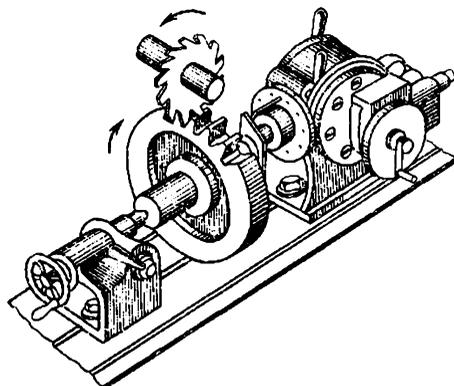


Рис. 2.104. Нарезание зубьев зубчатых колес дисковыми фрезами

будет еще выше. В этом случае необходима многшпиндельная делительная головка (рис. 2.105, б).

Основное время нарезания прямозубых цилиндрических зубчатых колес модульной дисковой фрезой

$$T_o = (l_0 + l_{вп} + l_{п}) \left(\frac{1}{s_{р.х}} + \frac{1}{s_{об.х}} \right) \frac{zi}{m} + \frac{\tau zi}{m} \text{ (мин)},$$

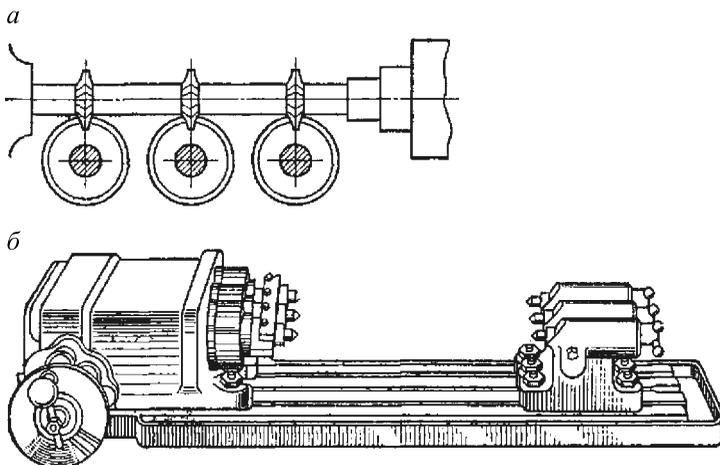


Рис. 2.105. Схемы нарезания зубьев тремя модульными фрезами одновременно с применением трехшпиндельной делительной головки

где l_0 – длина нарезаемого зуба, мм; $l_{вр}$ – длина врезания инструмента, мм; $l_{п}$ – длина перебега инструмента, мм; $s_{р.х}$ – подача при рабочем ходе, мм/мин; $s_{об.х}$ – скорость обратного хода, мм/мин; z – число зубьев нарезаемого колеса; i – число ходов; τ – время поворота заготовки на зуб, мин; m – число одновременно нарезаемых колес.

Величина врезания

$$l_{вр} = \sqrt{h(D_{ф} - h)} + (1...2) \text{ мм},$$

где h – высота зуба, мм; $D_{ф}$ – диаметр фрезы, мм.

При нарезании зубьев на горизонтально- или универсально-фрезерном станке время на отвод стола в исходное положение и время на поворот заготовки с помощью делительной головки перед нарезанием каждого зуба относится к вспомогательному.

Дисковыми модульными фрезами можно также обрабатывать цилиндрические косозубые колеса на универсально-фрезерных станках, поворачивая стол на угол наклона зуба.

Зубья цилиндрических колес средних модулей 9–10-й степени точности можно достаточно производительно нарезать одновременно двумя дисковыми модульными фрезами (рис. 2.106). Черновое нарезание таких же зубчатых колес средних и крупных модулей можно осуществлять тремя дисковыми «угловыми» фрезами (рис. 2.107).

Нарезание зубьев пальцевыми модульными фрезами. Пальцевыми модульными фрезами нарезают зубья средних и крупномодульных цилиндрических (рис. 2.108, а), конических (рис. 2.108, б), шевронных (рис. 2.108, в) колес, реек и др.

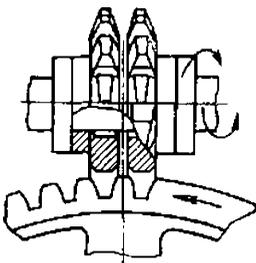


Рис. 2.106. Схема нарезания зубьев двумя дисковыми модульными фрезами

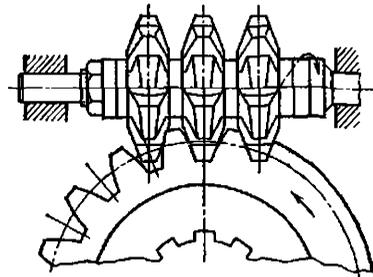


Рис. 2.107. Схема нарезания зубьев тремя дисковыми «угловыми» фрезами

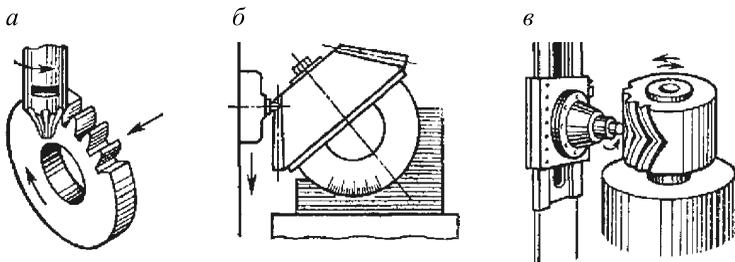


Рис. 2.108. Схемы нарезания пальцевыми фрезами зубьев колес

Нарезание зубьев колес дисковыми модульными фрезами, а также пальцевыми фрезами осуществляют в единичном и мелкосерийном производстве при отсутствии специальных зубчатых станков.

Нарезание зубьев червячными фрезами (зубофрезерование). Для нарезания зубьев колес червячными фрезами требуются специальные зубофрезерные станки (5М32, 5М324, 5К342 и др.). Этот метод обеспечивает высокую производительность труда вследствие автоматического цикла работы станка и возможности многостаночного обслуживания, получаемая точность 8-й степени, а при использовании шлифованных фрез и точных станков — 7-й степени. Этот метод имеет наибольшее распространение. В зависимости от модуля устанавливают число ходов фрезы. Колеса с модулем 2,5 мм нарезают начисто за один ход, колеса с модулем более 2,5 мм нарезают начерно и начисто в два и даже три хода. Для черновых ходов лучше применять двух- и трехходовые червячные фрезы, которые увеличивают производительность, хотя и обеспечивают меньшую точность обработки по сравнению с одноходовыми вследствие увеличенного угла подъема витка.

Основное время нарезания прямозубых цилиндрических зубчатых колес червячной фрезой

$$T_o = \frac{(l_0 m + l_{вп} + l_{п})}{s n q m} z i \quad (\text{мин}),$$

где $l_{вп}$ — длина врезания, $l_{вп} = (1,1 \dots 1,2) \sqrt{h(D_{ф} - h)}$ мм; $l_{п}$ — длина перебега, $l_{п} = 2 \dots 3$ мм; s — подача на один оборот зубчатой

того колеса, мм; n – частота вращения фрезы, об/мин; q – число заходов червячной фрезы (для чистовых проходов $q = 1$, для черновых $q = 2$); m – число одновременно нарезаемых колес.

Длина врезания червячных фрез значительна, что вызывает затрату времени при работе станка. Сократить это время на 20...30% можно заменой осевого врезания радиальным (рис. 2.109).

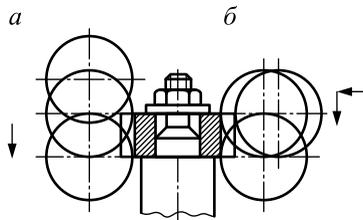


Рис. 2.109. Схемы врезания червячной фрезы:
а – осевое; б – радиальное

Для повышения точности и уменьшения шероховатости поверхности профиля зубьев, а также увеличения стойкости червячной фрезы в процессе резания рекомендуется осуществлять перемещение червячной фрезы вдоль ее оси. Современные станки имеют специальное устройство для осевого перемещения фрезы. Это перемещение может осуществляться после нарезания определенного числа колес, после каждого цикла зубофрезерования во время смены заготовок и непрерывно при работе фрезы.

Применение червячных фрез из твердых сплавов позволяет производить обработку со скоростями 150...200 м/мин и подачами 3...4 мм на оборот заготовки, что по сравнению с фрезами из быстрорежущей стали увеличивает производительность в 10–15 раз.

Относительная производительность различных методов зубофрезерования по сравнению с зубофрезерованием однозаходными червячными фрезами из быстрорежущей стали характеризуется данными, приведенными в табл. 2.4.

В процессе эксплуатации червячных фрез необходимо проводить осмотры их зубьев, проверять надежность крепления и т.п.

Процесс скоростного зубофрезерования ведется с образованием большого количества нагретой стружки, отлетающей на значительное расстояние от рабочей зоны. В этих условиях кроме обычных правил по технике безопасности следует заранее

осуществлять ряд дополнительных мероприятий, гарантирующих безопасность работы станочников.

Таблица 2.4. Относительная производительность различных методов

Метод фрезерования зубьев	Увеличение производительности, раз
Однозаходной червячной фрезой: из быстрорежущей стали (стандартной конструкции) с радиальным врезанием	1 1,2–1,3
Черновое, дисковыми модульными фрезами набором в две-три фрезы: из быстрорежущей стали для крупных модулей из твердых сплавов	1,2–1,5 2 и более
Черновое, однозаходной фрезой из твердого сплава с большими подачами	3–4
Двух- и трехзаходными червячными фрезами из быстрорежущей стали	1,5–1,8
Скоростные, однозаходной фрезой из твердого сплава с большими скоростями и большими подачами	10–15

Вместо червячных зуборезных затылованных фрез применяют червячные острозаточенные фрезы, которые отличаются от затылованных следующими особенностями:

- заточка фрезы осуществляется не по передним, а по задним поверхностям;
- задние углы устанавливаются не из конструктивных соображений, а из условий резания, у острозаточенных фрез углы 8...15° вместо углов 3...4° у затылованных, что в несколько раз повышает стойкость и возможность числа переточек; увеличение числа переточек острозаточенных фрез объясняется тем, что объем металла, снимаемого за одну переточку с одного зуба острозаточенной фрезы, меньше, чем объем металла, снимаемого с одного зуба затылованной фрезы, причем с увеличением модуля удельный съём металла на одну переточку уменьшается;
- снижается трудоемкость заточки острозаточенных фрез.

При нарезании червячных зубчатых колес на зубофрезерных станках 5К32, 5330, 5342, 5353 и других ось фрезы перпендикулярна к оси обрабатываемого колеса и находится точно по центру его ширины. Нарезание червячных колес может производиться способами радиальной или тангенциальной подачи,

кроме того, червячные зубчатые колеса могут быть нарезаны резцами, закрепленными в оправке.

Нарезание червячных колес способом радиальной подачи (рис. 2.110, *а*) имеет большее распространение, чем другие способы. При этом способе суппорт с фрезой неподвижны, стол с укрепленным на нем нарезаемым колесом подается в радиальном направлении. В крупных зубофрезерных станках радиальная подача осуществляется стойкой, несущей суппорт с фрезой. Способ радиальной подачи используют главным образом для нарезания однозаходных и реже двухзаходных червячных колес.

Основное время нарезания способом радиальной подачи

$$T_0 = \frac{(h - l_{\text{вп}})z}{s_p n q},$$

где s_p — радиальная подача на один оборот заготовки, мм; n — частота вращения фрезы, мин^{-1} ; q — число заходов фрезы.

К рассчитанному времени прибавляют время на работу фрезы при включенной радиальной подаче за один-два оборота нарезаемого червячного зубчатого колеса для получения всех зубьев одинаковой высоты.

Способ тангенциальной подачи применяют при нарезании червячных колес к многозаходным червякам. Для этого способа необходим специальный суппорт, позволяющий осуществлять тангенциальную подачу фрезы (рис. 2.110, *б*). Нарезание

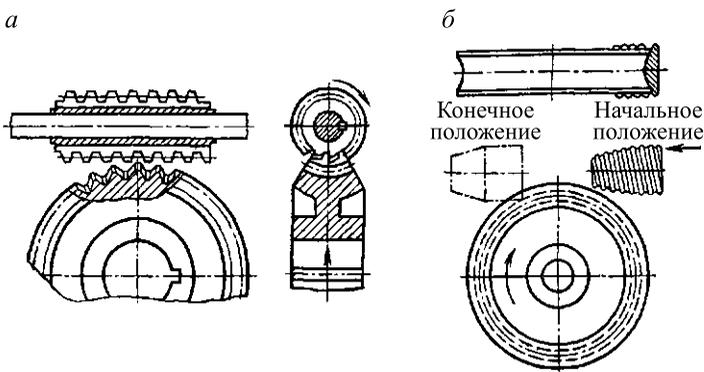


Рис. 2.110. Схемы зубонарезания червячных зубчатых колес червячными фрезами

колеса заканчивается, когда все зубья фрезы перейдут за ось колеса на величину l_{Π} . При нарезании способом тангенциальной подачи получается более правильный профиль зубьев.

Основное время нарезания способом тангенциальной подачи

$$T_0 = \frac{l_0 + l_{\text{вр}} + l_{\Pi}}{s_{\text{T}} n} = \frac{2,95m\sqrt{z}}{s_{\text{T}} s_{\text{ф}} q},$$

где $l_0 + l_{\text{вр}} + l_{\Pi} = 2,94m\sqrt{z}$ – величина перемещения фрезы, мм; s_{T} – тангенциальная подача фрезы за один оборот заготовки, мм; $s_{\text{ф}}$ – подача фрезы за один оборот; n – частота вращения заготовки, мин^{-1} ; q – число заходов фрезы.

Нарезание червячных колес резцом (рис. 2.111, *a*) применяют при единичном производстве, когда изготовление специальных червячных фрез экономически не оправдано. Нарезание производится одним или последовательно двумя резцами – черновым и чистовым. Резцы закрепляют в оправке в виде односторонней фрезы. Чистовой резец изготавливают точно по профилю, а черновой – уже чистового, благодаря чему остается припуск 0,5 мм на сторону зуба. Если нарезание производят двумя резцами, то черновым резцом работают с радиальной подачей, а чистовым – только с тангенциальной. Резцы – черновой и чистовой – можно менять в оправке (рис. 2.111, *б*).

Обработка червяков. Распространенными червяками являются архимедовы, эвольвентные, конвальные и глобоидные. Архимедовы червяки чаще всего нарезают на токарных станках. При этом прямолинейные режущие кромки резцов располагают в осевом сечении (рис. 2.112, *a*), как при нарезании

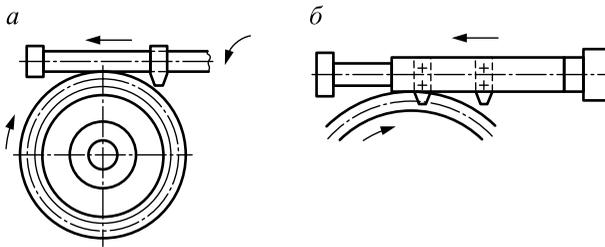


Рис. 2.111. Схемы зубонарезания червячных зубчатых колес резцами

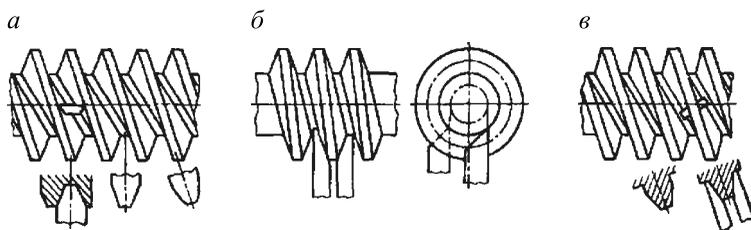


Рис. 2.112. Схемы нарезания резцами червяков:
a – Архимедова; *б* – эвольвентного; *в* – конволютного

нии трапецидальной резьбы. Винтовая поверхность такого червяка называется архимедовой, так как с торцевой поверхности его она образует архимедову спираль. Такие червяки представляют обычный винт с трапецидальной резьбой.

Архимедов червяк в осевом сечении имеет прямоугольный профиль с углом, равным профильному углу резца. При крупносерийном производстве архимедовы червяки фрезеруют дисковыми фрезами (рис. 2.113, *a*) с криволинейными режущими

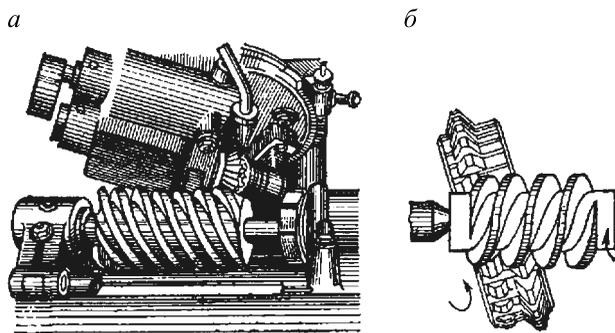


Рис. 2.113. Фрезерование червяка:
a – дисковой фрезой; *б* – фрезой-улиткой

кромками. Шлифование таких червяков осуществляют дисковым конусным или тарельчатым кругом (рис. 2.114) с припуском 0,1...0,2 мм на сторону в зависимости от модуля червяка.

Шлифование червяков с малым модулем производят на резьбошлифовальном станке или на токарном, но со специальным устройством, показанным на рис. 2.115. С таким устройством можно шлифовать червяки и с крупным модулем.

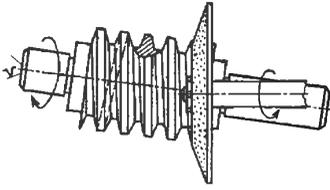


Рис. 2.114. Схема шлифования червяка на резьбошлифовальном станке

В крупносерийном и массовом производстве профиль витков червяка с крупным модулем шлифуют на специальном червячно-шлифовальном станке коническим дисковым кругом большого диаметра (800 мм и более). Таким кругом можно обработать червяки разного профиля путем перемещения круга в горизонтальной плоскости.

Шлифование производят при трех движениях: вращении круга, медленном вращении червяка и поступательном перемещении круга на один шаг (ход для многозаходных червяков) за один оборот заготовки. Для отделки витков червяков ответственных передач применяют притирку их чугунами или фибровыми притирами в форме червячного колеса. В качестве абразивного материала применяют микропорошки с маслом и пасты ГОИ.

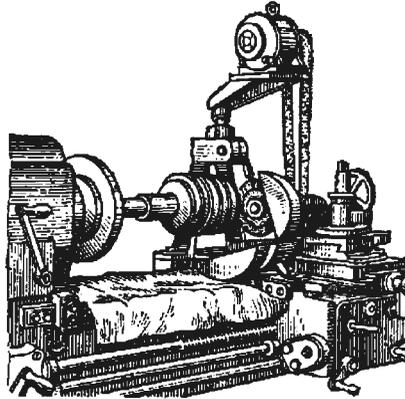


Рис. 2.115. Шлифование червяка на токарном станке

Эвольвентные червяки нарезают на токарных станках с раздельной обработкой каждой стороны витка при смещении прямолинейных режущих кромок резцов на величину радиуса основного цилиндра винтовой эвольвентой поверхности. Если червяк правый, то левую сторону боковой поверхности витков нарезают резцом, поднятым относительно осевой линии, а пра-

вую — опущенным резцом. При левом червяке оба резца соответственно меняют местами. Эвольвентные червяки редко нарезают указанным способом из-за неблагоприятных условий резания резцами, поднятыми или опущенными относительно осевой линии. Такие червяки фрезеруют фасонными дисковыми фрезами-улитками и иногда пальцевыми фрезами, а шлифуют их плоской стороной тарельчатого шлифовального круга. Эвольвентный червяк можно рассматривать как цилиндрическое зубчатое колесо с малым числом спиральных зубьев, имеющих большой угол наклона.

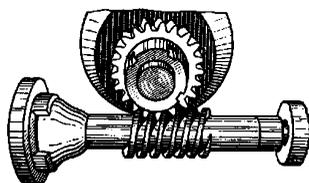


Рис. 2.116. Зуботочение

В крупносерийном и массовом производстве архимедовы и эвольвентные червяки нарезают обкаточными дисковыми резцами, подобными зуборезным долбякам (рис. 2.116) на специальных станках. Подача осуществляется инструментом в осевом направлении заготовки червяка при вращении его и резца. Червяк с прямосторонним профилем в нормальном сечении витка называют конволютным. Его нарезают резцами, расположенными перпендикулярно к боковым поверхностям витка.

Контроль червяков. Размеры червяков проверяют с помощью предельных скоб, микрометров и т.п. Наиболее сложными операциями контроля червяков является проверка среднего диаметра витков, параллельности их оси оси опорных шеек, угла профиля витков и равномерности шага. Средний диаметр червяка проверяют индикаторной скобой (рис. 2.117, а), у которой два неподвижных зуба 2 вводят во впадины червяка, а верхний подвижной зуб 1, находящийся также во впадине, связан с индикатором. Угол профиля витков проверяют с помощью нормальных угловых шаблонов с базой от наружного диаметра. Для более точных червяков угол профиля контролируют на специальном приборе (рис. 2.117, б).

Осевой шаг червяка проверяют на приборе с индикатором (рис. 2.117, в). Схема проверки параллельности их оси опорных шеек приведена на рис. 2.117, г.

Нарезание зубьев долбяками. Зубья цилиндрических прямозубых и косозубых колес нарезают долбяками в виде колес и реек на зубодолбежных станках, работающих по принципу обката. Долбяк имеет форму нарезаемого колеса. Долбяки диаметром 100 и 75 мм применяют для наружного и внут-

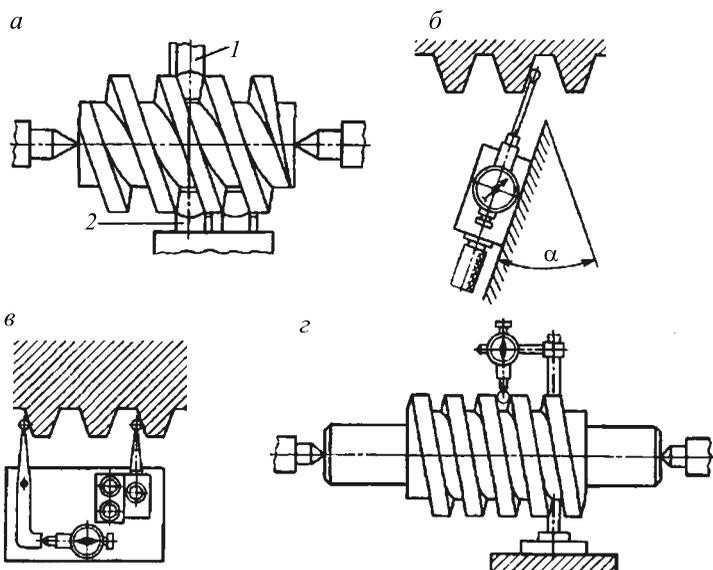


Рис. 2.117. Схемы контроля червяков

ренного долбления, долбяки диаметром 50 и 25 мм — для внутреннего долбления, т.е. для нарезания зубьев колес с внутренним зацеплением.

Для нарезания косозубых колес необходим долбяк со спиральным зубом и с тем же углом подъема спирали, что и нарезаемое колесо; он получает добавочное вращение от специального копира, помещенного в верхней части шпинделя долбяка. Обработку производят за один ход — для колес с модулем 1...2 мм, за два хода — для колес с модулем 2...4 мм и за три хода — при модулях свыше 4 мм.

Колеса, конструкция которых допускает свободный выход инструмента, при модулях свыше 3,5 мм целесообразно подвергать предварительной обработке на зубофрезерных станках, а чистовой — на зубодолбежных, так как при больших модулях зубофрезерование более производительнее, чем зубодолбление. При нарезании зубьев блочных колес, в которых нет выхода для фрезы, а также колес внутреннего зацепления зубодолбление является основным методом обработки. Зубодолбежные станки (5122, 5123, 5130 и др.) обеспечивают получение зубчатых колес 7–8-й степени точности. Основное время для нарезания

зубьев зубчатых колес на зубодолбежных станках дисковыми долбьяками

$$T_0 = \frac{h}{s_p n} + \frac{\pi m z}{s_k n} i \text{ (мин)},$$

где h — высота зуба, мм; s_p — радиальная подача на один двойной ход долбьяка, мм; n — число двойных ходов долбьяка в минуту; s_k — круговая подача зубчатого колеса на один двойной ход долбьяка, мм; m — модуль, мм; z — число зубьев; i — число ходов.

На специальных зубодолбежных станках двумя спиральными долбьяками нарезают зубья шевронных колес (рис. 2.118).

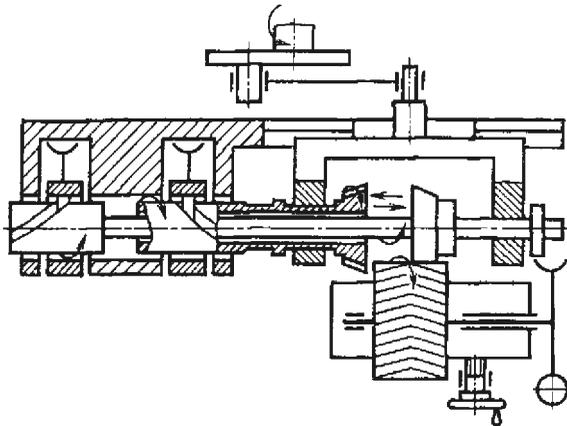


Рис. 2.118. Схема долбления шевронного колеса

Производительность зубодолбления значительно повышается при совмещении чернового нарезания зубьев колес с одновременным применением двух или трех долбьяков, установленных на штосселе зубодолбежного станка. Расстояние между торцовыми поверхностями долбьяков должно быть на 1...3 мм больше ширины венца. Верхний долбьяк служит для окончательного профилирования зубьев колеса; нижний долбьяк перешлифовывают так, чтобы ширина и высота зубьев его была меньше ширины и высоты зубьев верхнего долбьяка. Блочные зубчатые колеса целесообразно обрабатывать на комбинированных станках. Червячной фрезой нарезают зубья большего венца, а долбьяком — меньшего, что позволяет сократить зани-

маемую станком производственную площадь и обслуживающий персонал, а также повысить производительность труда и оборудования.

Зубодолбление долбяком-гребенкой применяется редко. Этот метод по сравнению с обработкой долбяком имеет то преимущество, что при нарезании косозубых колес суппорт с гребенкой поворачивается на угол наклона зуба, а поэтому не требуется специальный долбяк. Кроме того, для крупномодульных колес (свыше 10 мм) гребенка дешевле долбяка.

Долбление зубьев методом копирования с помощью много-резцовой головки (рис. 2.119, *a*) заключается в том, что все зубья изготавливаемого колеса обрабатывают одновременно специальной многорезцовой головкой с набором профильных резцов, число которых равно числу зубьев обрабатываемого колеса (рис. 2.119, *б*). Резцы расположены в точных радиальных пазах головки. Заготовка имеет возвратно-поступательное движение — вверх и вниз. Когда заготовка входит внутрь неподвиж-

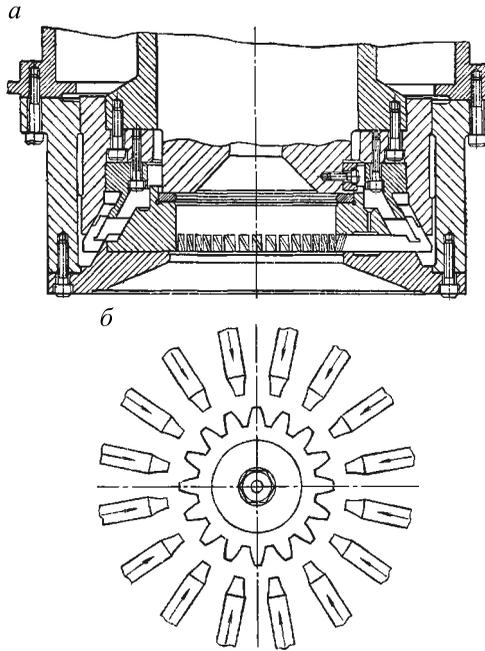


Рис. 2.119. Схема зубодолбления специальной многорезцовой головкой

ной резцовой головки, все резцы одновременно производят нарезание зубьев. Перед началом рабочего хода все резцы одновременно перемещаются в радиальном направлении, т.е. осуществляется подача к центру колеса. Когда заготовка выходит из резцовой головки, резцы отодвигаются в радиальном направлении для уменьшения трения задних поверхностей резцов об обрабатываемую поверхность зубьев. Этот метод обеспечивает наибольшую производительность по сравнению с другими методами и экономичен только при большом выпуске одинаковых колес, так как для нарезания колес с определенным числом зубьев и модулем на станках 5110, 5120 и 5130 должна быть изготовлена специальная многорезцовая головка.

Основное время

$$T_0 = \frac{(1,1...1,2)h}{s_{\text{рад}}n} \text{ (мин)},$$

где h — глубина впадины между зубьями, мм; $s_{\text{рад}}$ — радиальная подача резцов за один двойной ход заготовки, мм; n — число

двойных ходов заготовки в минуту, $n = \frac{1000u_p}{l_0 + l_{\text{п}}}$, здесь $u_p = 10...15$ м/мин; l_0 — длина нарезаемого зуба, мм; $l_{\text{п}}$ — длина перебега, $l_{\text{п}} = 2...5$ мм.

В единичном и мелкосерийном производстве зубья неточных зубчатых колес можно обработать на долбежном или строгальном станках фасонным резцом, профиль которого должен соответствовать впадине зуба колеса. Резец совершает возвратно-поступательные перемещения, а заготовка за каждый двойной ход резца получает периодическое радиальное перемещение (движение подачи). Нарезание впадины зуба будет закончено, когда резец полностью образует ее, после этого заготовка возвращается в исходное положение. С помощью делительного устройства заготовка поворачивается на один зуб, а потом нарезается соседняя впадина зуба и т.д. Такой малопроизводительный способ нарезания зубьев иногда применяют в условиях ремонта при отсутствии зуборезных и горизонтально-фрезерных станков.

Нарезание методом зуботочения. Зуботочение используют для нарезания цилиндрических прямозубых и косозубых зубчатых колес на специализированных зубофрезерных

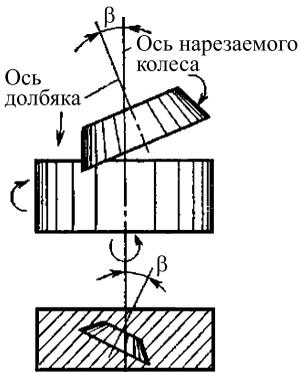


Рис. 2.120. Схема зуботочения цилиндрических зубчатых колес

станках с помощью инструмента долбьяка (рис. 2.120). Долбьяк имеет винтовые зубья, снабженные режущими кромками, и затачивают его аналогично косозубому долбьяку.

На обычных зубофрезерных станках этим методом можно нарезать колеса с большим числом зубьев (больше 80). Долбьяк с нарезаемым колесом зацепляются как два винтовых колеса. При таком зацеплении происходит продольное скольжение поверхностей зубьев, являющееся в данном случае движением резания. На зубофрезерном станке вместо червячной фрезы устанавливают долбьяк под углом к оси заготовки. Долбьяк вращается и осуществляет движение подачи заготовки. Углы подъема долбьяка и нарезаемого колеса, а также угол наклона суппорта станка подбирают таким образом, чтобы сумма всех трех углов была равна 90° . Наладку зубофрезерного станка производят для работы с большими скоростями вращения стола. Метод зуботочения по сравнению с зубофрезерованием червячной фрезой позволяет снизить основное (машинное) время в 2–3 раза, увеличить стойкость инструмента в 1,5–2 раза и снизить затраты на инструмент на 40...50%.

Протягивание зубьев колес. Обработку протягиванием впадин между двумя или несколькими зубьями производят последовательно протяжкой, имеющей профиль, соответствующий профилю зубьев нарезаемого колеса. После каждого хода протяжки, за который она обработает впадины на полную глубину, колесо поворачивается, для чего протяжной станок должен быть оснащен делительным механизмом. Таким способом нарезают зубья цилиндрических прямозубых колес с наружным и внутренним зацеплением. Протягивание экономично при крупносерийном и массовом производстве. Одновременное протягивание всех наружных зубьев колеса производят специальными кольцевыми протяжками. При протягивании прямозубых колес имеется только одно движение заготовки вдоль ее оси. При протягивании косозубых колес кроме указанного движения заготовки вдоль оси ей вместе со столом сообщается еще вращательное движение, образующее наклон зубьев.

Нарезание зубьев конических зубчатых колес. Для нарезания зубьев конических зубчатых колес 7–8-й степени точности требуются специальные зуборезные станки. При отсутствии их конические зубчатые колеса с прямым и косым зубьями можно нарезать на универсально-фрезерном станке с помощью делительной головки дисковыми модульными фрезами. Точность обработки при этом способе ниже 9–10-го качества точности.

Заготовку 1 (рис. 2.121, а) конического зубчатого колеса устанавливают на оправе в шпиндель делительной головки 2, который поворачивают в вертикальной плоскости до тех пор,

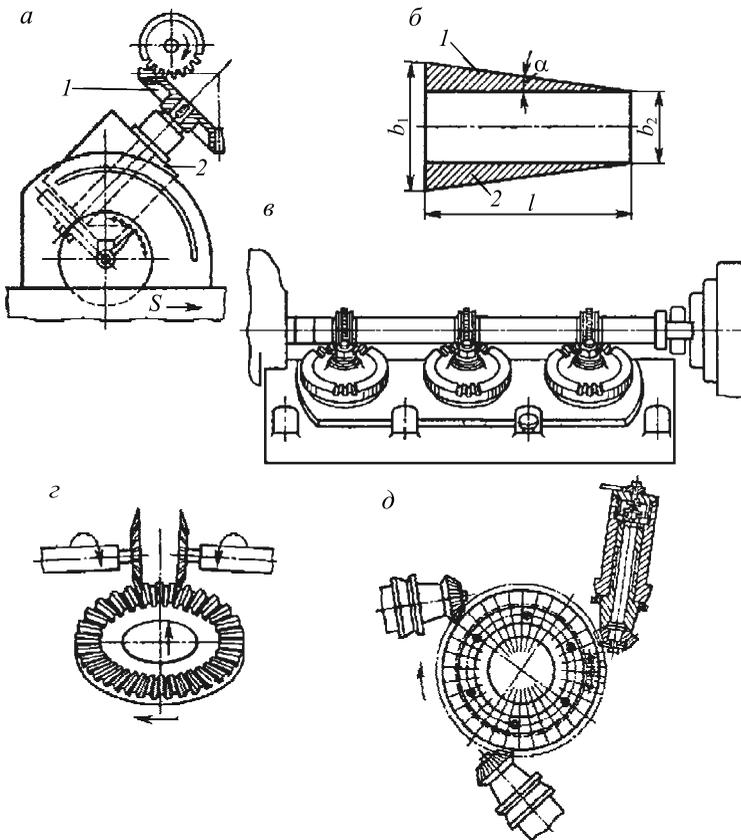


Рис. 2.121. Схемы зубофрезерования конических колес

пока образующая впадины между двумя зубьями не займет горизонтального положения.

Зубья нарезают за три хода и только при малых модулях за два хода. При первом ходе фрезеруют впадину между зубьями шириной b_2 (рис. 2.121, б). Форма фрезы соответствует форме впадины на ее узком конце. Вторым ходом производят модульной фрезой (профиль которой соответствует наружному профилю зуба), поворачивая при этом стол с делительной головкой на угол α :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b_1 - b_2}{2l},$$

где b_1 — ширина впадины между зубьями на ее широком конце, мм; b_2 — ширина впадины между зубьями на ее узком конце, мм; l — длина впадины, мм.

При таком положении фрезеруют поверхность l зубьев. За третий ход фрезеруют поверхность 2 зубьев, для чего делительную головку поворачивают на тот же угол, но в противоположном направлении. Указанный способ нарезания зубьев малопроизводителен, а точность обработки соответствует примерно 10-й степени.

Для нарезания прямых зубьев точных конических зубчатых колес в серийном и массовом производстве применяют более производительные станки — зубострогальные, на которых зубья обрабатывают методом обката. При обработке зубьев с модулем свыше 2,5 мм их предварительно прорезают профильными дисковыми фрезами методом деления. Таким образом, на сложных зубострогальных станках не осуществляют предварительную грубую обработку, и, следовательно, их используют для точной обработки.

На рис. 2.121, в показана схема предварительного фрезерования зубьев трех конических зубчатых колес одновременно на специальном или специализированном станке, применяемом в крупносерийном и массовом производстве. Станок снабжен устройством для автоматического деления и одновременного поворота всех обрабатываемых заготовок.

Основное время при предварительном нарезании прямозубых конических колес дисковыми модульными фрезами на многошпиндельных станках

$$T_o = \frac{(l_0 + l_{\text{вр}} + l_{\text{п}})}{s_{\text{м}} m_1} z i + \frac{\tau z}{m_1} \text{ (мин)},$$

где l_0 — длина нарезаемого зуба, мм; $l_{\text{вр}}$ — длина врезания, мм; $l_{\text{п}}$ — длина перебега, мм, $l_{\text{п}} = 2 \dots 5$ мм; z — число зубьев нарезаемого колеса; $s_{\text{м}}$ — подача, мм/мин, $s_{\text{м}} = s_z z_{\text{ф}} n_{\text{ф}}$, здесь s_z — подача на зуб фрезы, мм; $z_{\text{ф}}$ — число зубьев фрезы; $n_{\text{ф}}$ — частота вращения фрезы, мин^{-1} ; i — число ходов, $i = 1$; m_1 — число одновременно нарезаемых конических колес; τ — время на быстрый отвод и подвод стола с заготовками в исходное положение и поворот заготовок на один зуб, мин.

Длина врезания

$$l_{\text{вр}} = \sqrt{t(D_{\text{ф}} - t_1) + (1 \pm 2)} \text{ (мм)},$$

где $D_{\text{ф}}$ — диаметр фрезы, мм; t_1 — наименьшая глубина прорезаемой впадины между зубьями, мм.

Схема предварительного фрезерования зубьев двумя дисковыми фрезами на специальном станке конструкции ЭНИМСа показана на рис. 2.121, *з*. В крупносерийном и массовом производстве для предварительного (чернового) нарезания зубьев небольших конических зубчатых колес применяют зуборезные станки для одновременного фрезерования трех заготовок с автоматическим делением, остановом, подводом и отводом заготовок. Схема расположения шпинделей трехшпиндельного высокопроизводительного станка для одновременного фрезерования зубьев трех заготовок, расположенных вокруг специальной дисковой фрезы, изображена на рис. 2.121, *д*. Станочник поочередно устанавливает заготовки на оправках рабочих головок, подводит головку до упора и включает самоход. Все остальные движения производятся автоматически: рабочая подача, отход нарезаемого колеса и поворот его на один зуб, следующий подвод, выключение, когда остальные две головки продолжают работать.

Основное время при предварительном нарезании конических зубчатых колес с прямыми зубьями фрезой большого диаметра на высокопроизводительных трехшпиндельных станках

$$T_o = \frac{(T + \tau) z}{60} \text{ (мин)},$$

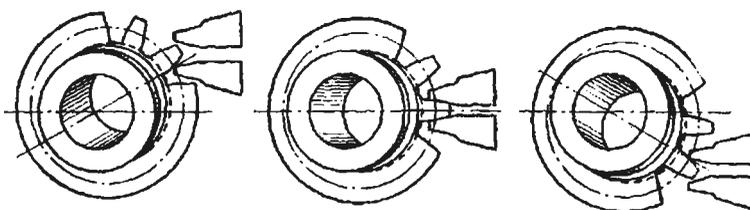


Рис. 2.122. Последовательность строгания конического зубчатого колеса

где T — время нарезания одного зуба, с; τ — время на отвод и подвод шпинделя с заготовкой в исходное положение и поворот заготовки на один зуб, с; z — число зубьев нарезаемого конического колеса.

Зубья 8-й степени точности нарезают при строгании на зубострогальных станках 5236, 5250, 5283. Станки эти работают методом обката (рис. 2.122): два строгальных резца совершают прямолинейные возвратно-поступательные движения вдоль зубьев обрабатываемой заготовки. При обратном ходе резцы немного отводятся от обрабатываемой поверхности для уменьшения изнашивания режущей кромки из-за трения. Взаимное обкатывание заготовки и резцов обеспечивает получение профиля эвольвенты. Время нарезания зуба в зависимости от материала, модуля, припуска на чистовую обработку и других факторов составляет 3,5...30 с, степень точности колес 7–9-я, шероховатость $Ra1,6...6,3$ мкм.

Для обработки прямых зубьев небольших конических зубчатых колес в массовом производстве применяют круговое протягивание зубьев (рис. 2.123) на специальных зубопротяжных станках 5248 и 5С268. Режущим инструментом служит круговая протяжка, состоящая из нескольких секций фасонных резцов (15 секций по пяти резцов в каждой секции). Резцы с изменяющимся профилем расположены в протяжке в последовательном порядке для чернового, получистового и чистового нарезания зубьев. Каждый резец при вращении круговой протяжки снимает определенный слой металла в соответствии с величиной припуска. Протяжка вращается с постоянной частотой вращения и в то же время совершает поступательное движение, скорость которого различна на отдельных участках проходимого пути. При черновом и получистовом нарезании протяжка имеет поступательное движение от вершины начального конуса к его основанию, а при чистовом — в обратном на-

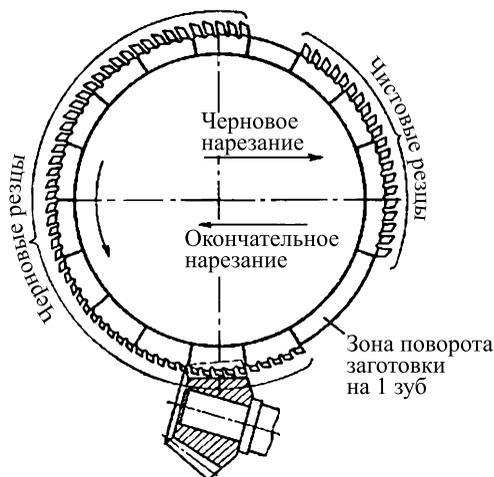


Рис. 2.123. Схема кругового протягивания зубьев конического колеса

правлении, от основания к вершине. За один оборот протяжка полностью обрабатывает одну впадину зубчатого колеса. Во время резания обрабатываемая заготовка неподвижна. Для обработки следующей впадины она поворачивается на один зуб в то время, когда подходит свободный от резцов сектор круговой протяжки. Описанный способ нарезания зубьев отличается высокой производительностью (в 2–3 раза более высокой по сравнению со строганием), и в то же время точность обработки соответствует точности, достигаемой при нарезании методом обкатки.

Основное время нарезания зубьев конического зубчатого колеса методом кругового протягивания

$$T_0 = \frac{(T + \tau)z}{60} \text{ (мин)},$$

где T – время нарезания одного зуба, с; τ – время поворота заготовки на один зуб, с.

Нарезание конических зубчатых колес с криволинейными зубьями может быть выполнено только на специальных станках. Изготавливают станки, на которых режущим инструментом является резцовая головка (рис. 2.124, а). Различают головки цельные и со вставными резцами. Цельные головки изго-

тавливают с номинальным диаметром от 12,7 (1/2") до 50,8 мм (2") для нарезания колес мелких модулей. Резцовые головки диаметром 88,9 мм ($3\frac{1}{2}$ ") более 457,2 мм (18") изготавливают со вставными резцами.

Резцовые головки подразделяют по роду обработки, для которой они предназначены, на черновые (для черновых проходов) и чистовые (для чистовых проходов). Резцовые головки бывают односторонние, двухсторонние и трехсторонние.

Для чернового нарезания зубьев применяют двухсторонние и трехсторонние резцовые головки. Двухсторонние головки используют при нарезании зубьев методами обката и копирования (врезания), а трехсторонние — только при работе методом копирования. Двухсторонние головки режут наружными и внутренними резцами, расположенными поочередно. Каждый резец одновременно обрабатывает боковую сторону зуба и часть впадины (рис. 2.124, б). Трехсторонние головки в отличие от двухсторонних имеют наружные, внутренние и средние резцы. Наружные и внутренние резцы обрабатывают только боковые стороны зуба, а средние резцы — только впадины зубьев (рис. 2.124, в).

Односторонние и двусторонние чистовые резцовые головки используют главным образом для окончательного нарезания зубьев после чернового нарезания. Односторонние головки имеют все наружные или все внутренние резцы. Наружные резцы служат для обработки вогнутой стороны зубьев, внутрен-

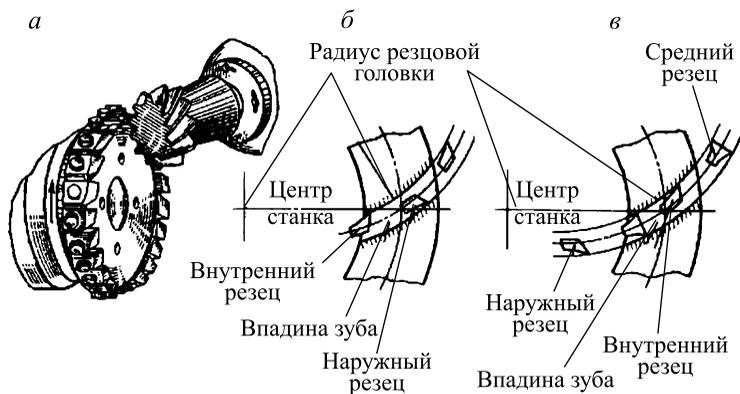


Рис. 2.124. Схемы нарезания конического зубчатого колеса с криволинейными зубьями

ние — для выпуклой. Резцы чистовых головок срезают металл только с боковых сторон зубьев.

Черновое нарезание зубьев конических колес с большим числом зубьев обычно производят методом копирования, при котором обрабатываемая заготовка закреплена неподвижно, а вращающаяся резцовая головка перемещается вдоль оси и прорезает впадины зубьев поочередно. Этот метод более производительен, чем метод обката, применяемый для нарезания колес с малым числом зубьев.

Чистовое нарезание зубьев конических колес производят только методом обката, колеса с большим числом зубьев нарезаются обычно двухсторонними головками, а с малым числом — односторонними.

Основное (технологическое) время нарезания конических зубчатых колес с криволинейными зубьями

$$T_0 = \frac{(T + \tau)z}{60} \text{ (мин)},$$

где T — время нарезания одной впадины зуба, с; τ — время поворота заготовки на один зуб, подвод и отвод ее в исходное положение, с.

Закругление зубьев колес. У колес для коробок скоростей торцы зубьев закругляют на специальных закругляющих станках двумя методами: пальцевой фрезой (рис. 2.125, *a*) и пустотелой фрезой (рис. 2.125, *б*). Пальцевая фреза в процессе работы вращается и одновременно имеет возвратно-поступа-

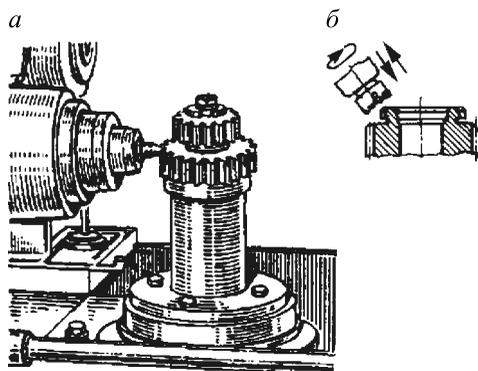


Рис. 2.125. Закругление зубьев цилиндрических зубчатых колес

тельное движение; обрабатываемое колесо медленно вращается. В результате сложения двух движений фреза огибает кромку каждого зуба, закругляя его. Пустотелая фреза тоже имеет вращательное и поступательно-возвратное движение, но колесо имеет периодическое делительное движение на один зуб. При этом фреза скругляет противоположные кромки смежных зубьев.

Накатывание зубьев колес. Накатывание в 15–20 раз производительнее зубонарезания и, кроме того, экономит металл. Зубья колес с модулем до 1 мм накатывают в холодном состоянии, а зубья колес с модулем более 1 мм — в горячем. В холодном состоянии мелкозубные колеса можно накатывать на токарных станках с продольной подачей. Схема такого накатывания показана на рис. 2.126, а. На оправке, установленной в центрах, закрепляют заготовки 2 и делительное колесо 4, находящееся в начале процесса в зацеплении с двумя или тремя накатниками 1 и 3, закрепленными на суппорте станка. По вы-

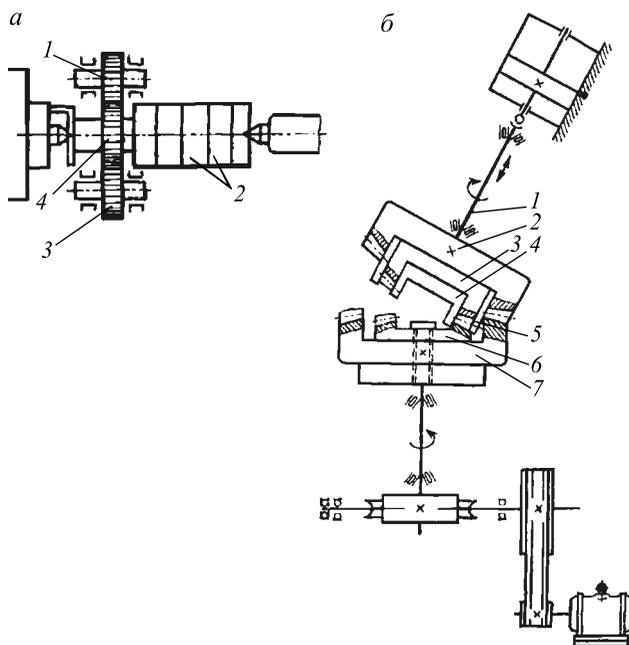


Рис. 2.126. Схемы зубонакатывания колес:
а — цилиндрических; б — конических

ходе из зацепления с колесом 4 накатники приводятся во вращение зубьями накатанной части заготовок. Для образования симметричного профиля зубьев накатывание производят сначала в прямом, а потом в обратном направлении вращения шпинделя. Каждый накатник имеет заборную часть для постепенного образования накатываемых зубьев. Степень точности зубьев колес при холодном накатывании примерно 7–8-я. Разработан другой способ холодного накатывания зубьев, который предназначен для получения косых и прямых зубьев цилиндрических колес и особенно зубьев на концах валов. Сущность этого способа заключается в том, что заготовку, установленную в центрах специального станка, накатывают двумя накатниками, имеющими форму плоских реек.

При горячем накатывании нагрев заготовок до 1000...1200 °С происходит за 20...30 с, после чего осуществляется накатывание зубьев двумя накатниками.

Горячее накатывание производят как с радиальной, так и с продольной подачей на специальных мощных станах. Перед накатыванием заготовку с оправкой опускают в высокочастотный индуктор, в котором они нагреваются, после чего начинается процесс накатывания. Горячее накатывание с продольной подачей осуществляют путем перемещения (обычно снизу вверх) заготовок, нагретых в индукторе. Штучное время накатывания зубьев колес с модулем 2...3 мм составляет 30...60 с в зависимости от числа зубьев. Степень точности зубьев таких колес 9–10-я (ГОСТ 1643–81). Для повышения точности зубьев применяют комбинированное накатывание, представляющее собой горячее накатывание с последующей холодной калибровкой. В горячем состоянии накатывают зубья конических колес с модулем до 4,5...5 мм и диаметром до 450 мм. На накатывание зубьев таких колес требуется 1...2 мин.

Схема накатывания криволинейных зубьев конического венца заднего моста автомобиля на зубонакатном стане приведена на рис. 2.126, б. Штампованную заготовку обрабатывают на токарных полуавтоматах. Затем ее устанавливают и закрепляют на нижний шпиндель зубонакатного стана. С помощью индуктора поверхность заготовки нагревают до 1250 °С в течение 1 мин на величину, равную высоте зуба. Индуктор автоматически отводится и подводится верхним шпинделем 1 с зубонакатником 3 и колесом-синхронизатором 2, сцепляемым с коническим колесом-синхронизатором 7, закрепленным на ниж-

нем шпинделе. Зубья нижнего колеса-синхронизатора входят в зацепление с зубьями верхнего колеса-синхронизатора и во вращение приводится зубонакатник 3, зубья которого и реборды 4 и 5 образуют зубья накатываемого венца 6. Общее время накатывания 1,5 мин. Экономия легированной стали около 40%.

Требуемая точность зубьев получается после чистовой обработки зуба. Припуск при этом равен 0,2...0,3 мм на сторону зуба. Накатывание зубьев повышает срок службы зубчатых колес вследствие увеличения их износостойкости.

Отделочная обработка зубьев колес. С помощью обкатки, шевингования, шлифования, зубохонингования, притирки и приработки осуществляют отделочную обработку зубьев колес. Обкаткой называют процесс получения гладкой поверхности зубьев незакаленного колеса при вращении его в зацеплении с закаленными шлифованными колесами. При этом погрешности формы зуба устраняются.

Шевингованием называют процесс чистовой отделки зубьев незакаленного колеса, заключающийся в соскабливании мелких волосообразных стружек особым инструментом — шевером. Шевингованием достигается 5–7-я степень точности и шероховатость $Ra0,4...0,8$ мкм. Шевингование производят двумя способами, отличающимися применяемым инструментом: шевер-колесом и шевер-рейкой. Шевер-колесо представляет собой режущее колесо с канавками глубиной 0,8 мм, прорезанными на боковых сторонах каждого зуба. Канавки образуют режущие кромки, которые и соскабливают стружку. Оправку с обрабатываемым колесом (рис. 2.127) закрепляют в центрах на столе станка. Шевер находится в зацеплении с обрабатываемым колесом, образуя с ним винтовую пару со скрещивающимися под углом 15° осями. Шевер приводится во вращение и вращает обрабатываемое колесо, которому сообщается осевое возвратно-поступательное перемещение, называемое продольной подачей (0,15...0,3 мм на 1 оборот колеса), необходимое для равномерного снятия металла по всей длине. Стол станка имеет вертикальное перемещение для давления шевера на колесо. После окончания каждого хода стола шевер получает вращение в обратную сторону и обрабатывает другую сторону зуба. Для предварительной обработки число ходов 4–6, для окончательной 2–4.

Шеверы из быстрорежущей стали обрабатывают зубчатые колеса с твердостью $HRC35$. Для более твердых колес использу-

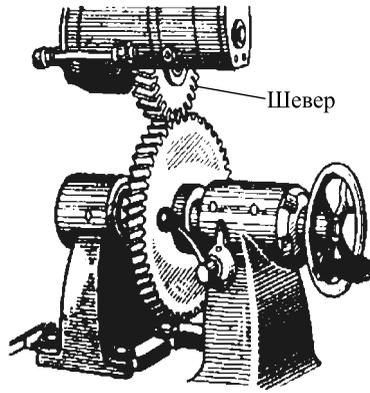


Рис. 2.127. Шевингование зубьев круглым шевером

ют шевера сборной конструкции, зубья которых оснащают твердосплавными пластинками, припаянными на эвольвентную часть шевера. На пластинках предусмотрены канавки, образующие режущие кромки. Шевингование осуществляют на станках 5701, 5702, 5703 и др.

Основное время для шевингования зубьев цилиндрических зубчатых колес дисковым шевером

$$T_o = \frac{(l_0 + l_{вр} + l_{п})}{n_{шев} z_{шев} s_{пр} s_{в}} k \text{ (мин)},$$

где $n_{шев}$ — частота вращения шевера, мин^{-1} ; $z_{шев}$ — число зубьев шевера; $s_{пр}$ — продольная подача на один оборот зубчатого колеса, мм; $s_{в}$ — вертикальная подача на один ход стола, мм; k — коэффициент, учитывающий дополнительные калибрующие хода, $k = 1, 1...1, 2$.

Окружная скорость вращения шевера при шевинговании колес, изготовленных из стали с $\sigma = 60...75 \text{ кгс/мм}^2$, около 100 м/мин. Под шевингование на сторону зуба принимают следующие показатели:

- модуль, мм 2,0 3,0 4,0 5,0 6,0;
- припуск, мм 0,030 0,040 0,050 0,055 0,06.

Большое распространение получает способ шевингования зубчатых колес средних модулей за один ход шеверами специальной конструкции. Такие шеверы имеют зубья (рис. 2.128):

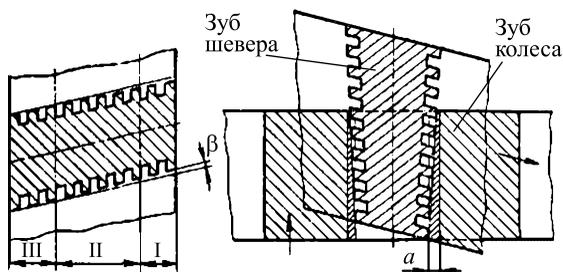


Рис. 2.128. Схемы зубошевингования за один ход

заборные III, режущие II и калибрующие I. Боковые поверхности правой и левой сторон заборной и режущей частей зубьев шевера составляют с соответствующими боковыми поверхностями калибрующей части углы β . Шевер такой конструкции позволяет снимать весь припуск за один рабочий и один обратный (калибрующий) ход стола, осуществляемый при постоянном расстоянии между осями шевера и колеса.

Специальные шеверы могут быть изготовлены путем шлифования стандартных шеверов шириной 20...25 мм. При этом заборная и режущая части должны иметь не менее 4–6 режущих кромок каждая. Производительность обработки при шевинговании за один ход увеличивается в 2–3 раза благодаря сокращению числа циклов до одного и исключению радиальных перемещений стола с обрабатываемым колесом, неизбежных при шевинговании стандартными шеверами.

Точность колес после обработки специальными шеверами несколько выше, чем при использовании стандартных шеверов, что объясняется обработкой при постоянном межосевом расстоянии шевера и зубчатого колеса. Отсутствие механизма для радиальной подачи стола повышает жесткость системы СПИЗ. Припуск по межцентровому расстоянию составляет 0,2...0,35 мм. Стойкость таких шеверов в 2–3 раза выше стойкости шеверов стандартной конструкции благодаря увеличению числа режущих кромок, одновременно участвующих в работе, и уменьшению нагрузки на каждую из них. Повышение стойкости обусловлено также улучшением условий врезания зубьев шевера, которое происходит плавно и непрерывно не в радиальном, а в осевом направлении. Кроме того, калибрующие зубья не участвуют в срезаии основного припуска a (см. рис. 2.128).

При шевинговании с диагональной подачей поступательное перемещение обрабатываемого колеса осуществляется не по направлению его оси, а под углом $\alpha = 5^\circ$ и более (рис. 2.129).

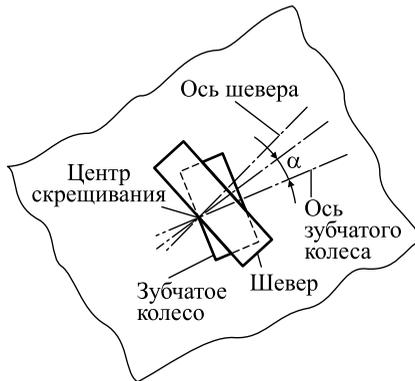


Рис. 2.129. Схема шевингования с диагональной подачей

Вследствие этого длина хода уменьшается, число проходов можно принять меньше, чем при обычном шевинговании, что сокращает время обработки. Шевингованием можно получить зубья, концы которых (рис. 2.130, а) на 0,02...0,03 мм тоньше середины, что придает им бочкообразную форму. Такая форма зуба получается посредством применения специального качающегося приспособления (рис. 2.130, б). Колеса с бочкообразным зубом меньше шумят при работе и более износостойки.

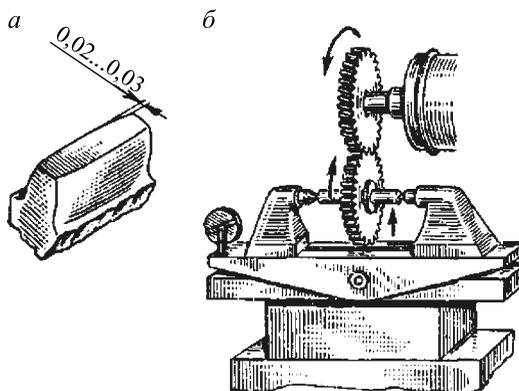


Рис. 2.130. Шевингование бочкообразного зуба

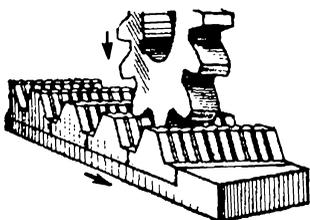


Рис. 2.131. Шевингование шеввер-рейкой

Шеввер-рейка (рис. 2.131) состоит из отдельных зубьев с канавками, образующими режущие кромки на стороне каждого зуба. В процессе обработки стол станка с закрепленной на нем шеввер-рейкой имеет возвратно-поступательное движение, и шеввер-рейка приводит во вращение обрабатываемое колесо. Шеввер-рейку изготавливают с наклонными зубьями

под углом 15° для обработки прямозубых колес; для обработки косозубых колес шеввер-рейка имеет прямые или наклонные зубья, чтобы образовать угол скрещивания около 15° . После каждого хода стола колесо перемещается в вертикальном направлении вниз на $0,025...0,04$ мм. Из-за высокой цены инструмента, скопления стружки во впадинах зубьев рейки, невозможности обработки бочкообразных зубьев шевингование шеввер-рейкой не нашло широкого применения. Схема шевингования зубьев червячного колеса приведена на рис. 2.132.

У закаливаемых колес зубья шевингуют до термической обработки, которая снижает достигнутую точность и повышает шероховатость поверхности. Тем не менее при изготовлении закаливаемых колес шевингование применяют как метод чистовой обработки, позволяющий ограничиваться только нарезанием зубьев на зубофрезерных станках, не прибегая к чистовому нарезанию на зубодолбежных станках.

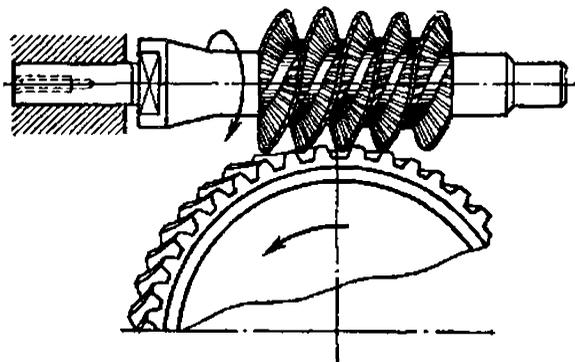


Рис. 2.132. Схема шевингования зубьев червячного колеса

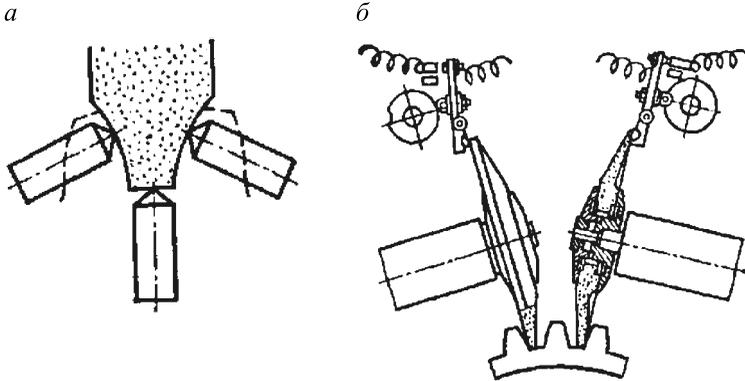


Рис. 2.133. Схемы зубошлифования методами копирования и обкатки

Шлифование зубьев применяют исключительно для обработки закаленных колес для достижения 6-й и 5-й степеней точности. Шлифование зубьев с эвольвентным профилем производят методами копирования и обката. На станках, работающих по методу копирования, шлифование зубьев осуществляется кругом, профиль которого соответствует впадине зубьев, аналогично дисковой модульной фрезе. Круг заправляется особым копировальным механизмом с помощью трех алмазов (рис. 2.133, *a*), два из них получают движение от эвольвентных копиров. Для колес с различными модулями и числом зубьев надо иметь различные копиры. При шлифовании колес с большим числом зубьев по методу копирования имеет значение износ шлифовального круга; если зубья шлифуют в последовательном порядке, то ошибка между первым и последним профилями зубьев будет максимальной. Для предотвращения этого рекомендуется повертывать колесо не на один зуб, а на несколько, тогда износ шлифовального круга не будет вызывать накопленной ошибки между крайними зубьями.

Станки, работающие по методу копирования, имеют бóльшую производительность, чем станки, работающие по методу обката. Однако эти станки обеспечивают меньшую точность.

Основное время для зубошлифования методом копирования

$$T_0 = \left(\frac{2Lk_{\text{д}}}{1000V_{\text{ст}}} \right) z \text{ (мин)},$$

где L — длина хода стола, мм; i — число рабочих ходов, зависящее от припуска и продолжительности выхаживания; k_d — коэффициент, учитывающий время деления, т.е. поворота колеса на зуб, $k_d = 1,3 \dots 1,5$; $V_{ст}$ — скорость возвратно-поступательного движения стола, м/мин.

Длина хода стола

$$L = l_0 + \sqrt{h(D_k - h)} + 10,$$

где D_k — диаметр круга, мм; h — высота зуба, мм.

Станки, работающие по методу обката, менее производительны, но обеспечивают большую точность (4–6-й степени); шлифование производится одним или двумя кругами на станках 5B830, 5B832, 5B835 и др.

На зубошлифовальных станках два тарельчатых круга расположены под углом зацепления, образуя как бы профиль зуба исходной рейки, по которому и происходит обкатка колес (рис. 2.133, б). В процессе работы шлифуемое колесо перемещается в направлении, перпендикулярном к оси, одновременно поворачиваясь вокруг этой оси (движение обката). Кроме того, шлифуемое колесо имеет возвратно-поступательное движение вдоль своей оси, что обеспечивает шлифование профиля зуба по всей его длине. Благодаря движению обката получается эвольвентная поверхность, поэтому данный метод более точный, чем метод копирования, но менее производительный из-за затраты времени на обкаточное движение, отсутствующее при методе копирования.

Обрабатываемые колеса закрепляют на оправке, которую устанавливают в центрах бабок, расположенных на столе станка. Стол имеет возвратно-поступательное движение на величину, равную суммарной ширине колес, увеличенной на вход и выход шлифовального круга. Автоматический поворот колеса на один зуб происходит после одно- или двукратного прохождения колес под шлифовальным кругом. Припуск на шлифование устанавливают 0,1...0,2 мм на толщину зуба. Для предотвращения погрешностей, связанных с износом шлифовальных кругов, станки снабжают специальными устройствами для автоматической правки кругов и регулировки их положения.

Основное время для зубошлифования на станках, работающих методом обката двумя тарельчатыми кругами:

$$T_o = \left(\frac{Li}{s_{пр}} + i\tau \right) z \text{ (мин)},$$

где L — длина хода стола, мм; i — число ходов; $s_{пр}$ — продольная подача стола мм/мин; τ — время на переключение и деление, мин.

Длина хода стола

$$L = l_0 + 2 \left[\sqrt{h(D_k - h)} + 5 \right] \text{ (мм)}.$$

Станки, работающие по методу обката одним дисковым кругом, представляющим зуб рейки, проще по конструкции и занимают меньшую площадь цеха, чем станки с двумя кругами. Точность обработки на них несколько меньше, но 6-я степень обеспечивается. Относительные движения обрабатываемого колеса и шлифовального круга у них такие же.

Зубошлифовальные станки 5А830, 5А832, 5В833, 5835 работают шлифовальным кругом, заправленным в виде червяка (рис. 2.134). На этих станках можно шлифовать зубья с модулем 10 мм, а с модулем 1 мм можно прорезать в сплошном металле. Правку червячного круга производят последовательно черновым и чистовым дисковыми многониточными накатниками.

Прямые зубья конических колес шлифуют по методу обката двумя дисковыми абразивными кругами на станках 5870, 5А87 (рис. 2.135, а), сконструированных по принципу работы зубострогальных станков.

Шлифование круговых зубьев конических колес осуществляется на специальных станках чашечным шлифовальным кругом (рис. 2.135, б). Сечение боковой стороны круга должно иметь профиль зуба рейки. Чашечный круг имеет обкаточное движение относительно шлифуемого зуба.

Для окончательной отделки зубьев прямозубых и косозубых цилиндрических зубчатых колес применяют зубооцилиндрование, обеспечивая 6–7-ю степень

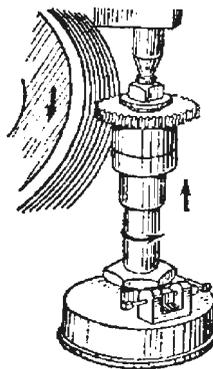


Рис. 2.134. Зубошлифование цилиндрического зубчатого колеса червячным шлифовальным кругом

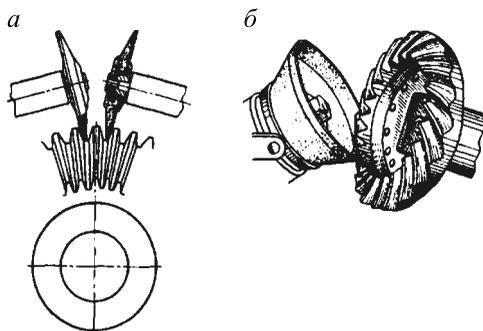


Рис. 2.135. Схемы зубошлифования конического зубчатого колеса:
a – с прямым зубом; *б* – с криволинейным зубом

точности. Хон представляет собой колесо из мелкозернистого абразивного материала, из которого делают хонинговальные бруски. Хонингуемое колесо, находясь в зацеплении с хонем, совершает реверсируемое вращение (попеременно в обе стороны) и возвратно-поступательное движение вдоль своей оси. Хонингование всех зубьев колес при $m = 2...3$ мм, $z = 30...40$ производят за 30...40 с при обильном охлаждении керосином. Припуск под хонингование 0,02...0,05 мм на сторону зуба. Для хонингования зубьев колес необходимы станки 5913, 2К139.

Притирку применяют для отделки зубьев колес после термической обработки. Процесс притирки заключается в том, что обрабатываемое колесо вращается в зацеплении с чугунными колесами-притирами, смазанными абразивной пастой. Кроме того, обрабатываемое колесо и притиры имеют в осевом направлении возвратно-поступательное движение относительно друг друга; такое движение ускоряет процесс обработки и повышает точность.

Притирочные станки изготавливают с параллельными осями притиров (рис. 2.136, *a*) и со скрещивающимися (рис. 2.136, *б*). Зубопритирочные станки работают тремя притирами, установленными под разными углами. Один притир (прямозубый) установлен параллельно оси обрабатываемого колеса, а два других (косозубых) – под углом около 5° с разным направлением (один правый, другой левый). При таком расположении притиров колеса работают, как в винтовой передаче. При дополнительном осевом перемещении притираемого колеса притирка происходит равномерно по всей длине зуба. Притираемое коле-

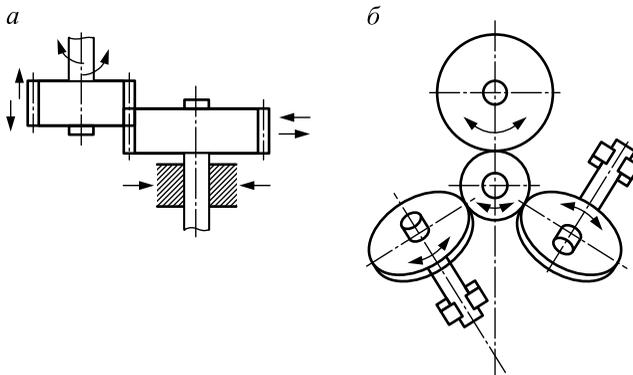


Рис. 2.136. Схемы притирки зубьев цилиндрических зубчатых колес

со получает вращение попеременно в обе стороны для равномерной притирки обеих сторон зуба, а необходимое давление притиров на боковые поверхности зубьев создается гидравлическими цилиндрами.

Притирка уменьшает шероховатость поверхности зубьев, уменьшая шум и увеличивая плавность работы колес. Притиркой можно исправить лишь незначительные погрешности профиля шага. При значительных погрешностях колесо надо шлифовать, после чего притирать.

Приработка отличается от притирки тем, что притирают не колесо с притиром, а два парных колеса, изготовленных для совместной работы в собранной машине.

Таким образом, методы обработки зубьев колес зависят от предъявляемых к колесу требований. Для получения зубьев 5–7-й степени точности их подвергают предварительной и чистой обработке, а затем отделке. Для получения 8-й степени точности зубья обрабатывают без отделки. Колеса 9-й и 10-й степени точности получают при однократной нарезке зубьев. Небольшие зубчатые колеса с модулем до 1 мм 7–8-й степени точности можно накатывать холодным способом, а колеса с модулем 2 мм и более получают 9–10-й степени точности при горячем накатывании. Отделку зубьев до термической обработки осуществляют шевингованием, обеспечивая 5–7-ю степень точности и небольшую шероховатость поверхности зубьев. После термической обработки высокая точность, достигнутая шевингованием, снижается примерно на одну степень в резуль-

тате коробления зубьев, поэтому приходится производить дополнительную отделочную обработку зубьев. Дорогим методом отделки термически обработанных зубьев является их шлифование, при котором обеспечивается 5–6-я степень точности. Производительными методами отделки зубьев являются их хонингование, обеспечивающее 6–7-ю степень точности.

При производстве зубчатых колес 9–10-й степени точности их обработка заканчивается термической обработкой. Прямые зубья конических колес 9–10-й степени точности начерно нарезают дисковыми модульными фрезами, а чистовую их обработку производят на зубострогальных станках методом обката или на протяжных станках круговой протяжкой, достигая при этом 9-й степени точности. Круговые зубья конических колес такой же точности нарезают резовыми головками.

Контроль зубчатых колес. Различают следующие виды контроля зубчатых колес:

- окончательный, или приемочный, — устанавливает соответствие точности изготовленных зубчатых колес условиям работы передачи. На этом этапе контролю подвергаются те показатели, которым должны соответствовать зубчатые колеса по своему назначению и условиям работы;

- профилактический — состоит в проверке технологического оборудования, приспособлений, режущего инструмента. Этот вид контроля проводится до начала обработки, что позволяет исключить брак и сократить количество контролируемых параметров при окончательном контроле;

- технологический — состоит в поэлементном контроле зубчатого колеса. На этом этапе устанавливается точность элементов технологического оборудования.

Зубоизмерительные приборы для контроля зубчатых колес делятся:

- на станковые, на которых размещают проверяемые зубчатые колеса;

- накладные, устанавливаемые на проверяемые колеса по зубьям или впадинам.

Измерение шага зацепления зубчатого колеса осуществляется накладным шагомером. Шагомер (рис. 2.137, *a*) состоит из корпуса 1 с отсчетным устройством 9 МИГ, которое связано с подвижным измерительным наконечником 8. Переставной наконечник 7 с широкой измерительной поверхностью, переставляемый винтом 2, закрепляется зажимом 5. Опорный наконеч-

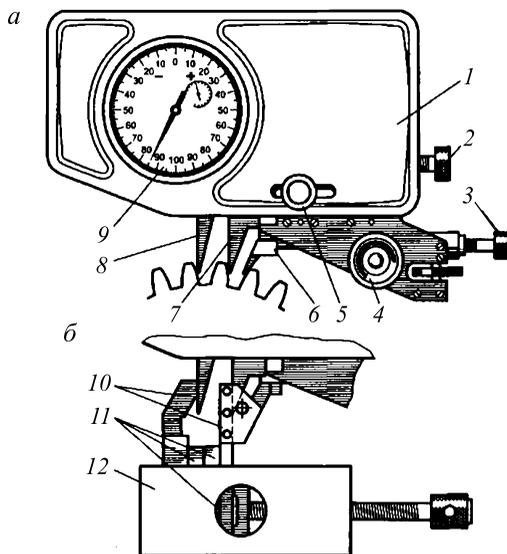


Рис. 2.137. Шагомер для измерения шага зацепления:
а — измерение шага зацепления; *б* — установка шагомера на размер и на «0»

ник *б*, переставляемый винтом *3*, закрепляется зажимом *4*. Шагомер устанавливается на номинальный размер по блоку концевых мер *11* с помощью боковиков *10* и державки *12* (рис. 2.137, *б*). Перед измерением прибор устанавливают на нуль. В процессе измерения прибор покачивают относительно опорного наконечника. За отклонение от номинального значения шага зацепления принимают максимальное показание по шкале головки при движении шагомера вокруг колеса.

Устройство шагомера для измерения шага зубчатого колеса представлено на рис. 2.138. Шагомер состоит из корпуса *5*, индикатора *4*, подвижной губки *9* и переставной губки *8*, которая устанавливается на модуль проверяемого колеса по шкале *7* и зажимается винтом *2*. Положение передних *6* и заднего *3* упоров регулируют так, чтобы измерительные губки касались зубьев в точках, близких к делительной окружности, и зажимают винтами *1*. При измерениях шагомер устанавливают на нуль по любой паре зубьев, а затем последовательно накладывают на соседние пары до возвращения на исходную пару зубьев. Индикатор показывает отклонение шагов зубьев. Разность шагов определяют как разность показаний индикатора.

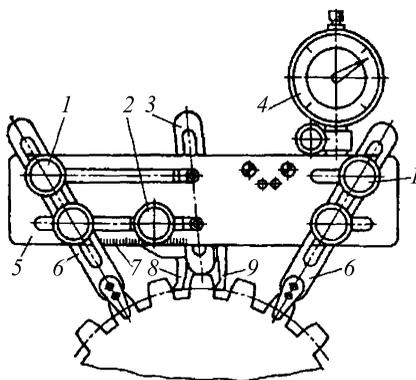


Рис. 2.138. Шагомер для измерения шага зубчатого колеса

Контроль профиля зубьев. Осуществляется следующим методом:

- сопоставлением действительного профиля зуба с образцовым контуром шаблона «на просвет»;
- сравнением профиля зуба, увеличенного в 10–100 раз на проекторах, с теоретическим профилем, вычерченным с тем же увеличением;
- измерением на эвольвентомерах — приборах, сопоставляющих действительный профиль зуба с теоретической эвольвентой основной окружности зубчатого колеса.

По методу воспроизведения образцовой эвольвенты приборы подразделяют на индивидуально-дисковые и универсальные.

Устройство индивидуально-дискового эвольвентомера показано на рис. 2.139. Прибор имеет сменный диск 4, равный по диаметру основной окружности проверяемого колеса. На одной оси с диском крепится проверяемое колесо 3. Диск пружинами прижимается к рабочей поверхности линейки 2, установленной на каретке 7. При перемещении каретки винтом 1 линейка, находящаяся в контакте с диском, будет поворачивать его вокруг оси без проскальзывания. В этом случае любая точка диска будет перемещаться относительно соответствующей точки поверхности линейки по эвольвенте. Измерительный рычаг 6 находится в плоскости рабочей поверхности линейки.

Если действительный профиль зуба будет отличаться от эвольвенты, то наконечник отклонится и с помощью измерительной головки будет зафиксирована погрешность профиля

зуба. Шкала 9 возвращает измерительный наконечник прибора 8 в исходное положение и устанавливает его по диаметру основной окружности. Шкала 5 предназначена для оценки угла поворота проверяемого колеса. Для контроля следующего зуба колесо поворачивают на один угловой шаг, а каретку по шкале 9 перемещают в исходное положение.

Измерение радиального биения зубчатого венца. Выполняют на биенимерах с помощью измерительного наконечника (рис. 2.140, а) в виде усеченного конуса с углом 2α при его вершине. Конус вводят во впадину зубчатого колеса. С измерительной головки 2

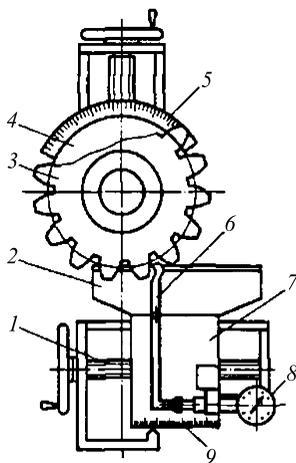


Рис. 2.139. Индивидуально-дисковый эвольвентомер

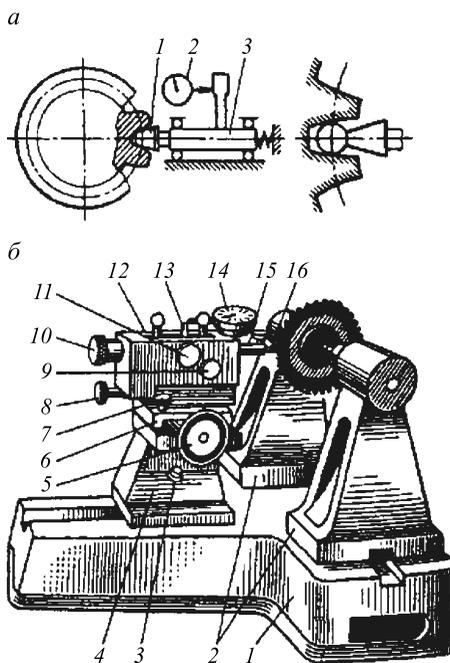


Рис. 2.140. Биенимер Б-10М

снимают показание. Затем, отводя каретку 3 и поворачивая зубчатое колесо, вводят измерительный наконечник в каждую следующую впадину. За значение радиального биения принимают разность наибольшего и наименьшего показаний головки за один оборот колеса.

Для колес с внутренним зацеплением наконечники выполняют в виде шариков или роликов диаметром $d = 0,5\pi t \cos\alpha$.

Устройство биенимера показано на рис. 2.140, б. Он состоит из станины 1, центральных бабок 2 для креплений зубчатого колеса и бабки 4, на которой расположена каретка 6 с измерительным узлом 12. Бабка 4 вручную перемещается перпендикулярно к линии центров и стопорится винтом 3. Каретку 6 перемещают вдоль линии центров маховиком 5 и стопорят винтом 7. Маховиком 9 подводят измерительный узел 12 к колесу так, чтобы наконечник 16 попал во впадину колеса, и стопорят его винтом 10. Шток 15, упирающийся планкой 13 в наконечник индикатора 14, отводят от колеса ручкой 11. При контроле конечных зубчатых колес измерительный узел 12 поворачивают в горизонтальной плоскости при освобожденной ручке 8 и устанавливают по угломерной шкале на определенный угол.

В цеховых условиях контроль радиального биения зубчатого венца 3 (рис. 2.141) можно осуществлять в центрах 1 и 5. Зубчатое колесо надевается на оправку 2, а во впадины колеса последовательно закладывается ролик 6, по которому ведут отсчет с измерительной головки 4.

Измерение смещения исходного контура. При изготовлении зубчатых колес необходимые боковые зазоры в зубчатом зацеплении создаются путем смещения исходного контура зуборезного инструмента к оси колес (рис. 2.142, а). Смещение исходного контура определяют по формуле $E_h = E_s / 2t \operatorname{tg}\alpha$, где E_s — отклонение толщины зуба; $\alpha = 20^\circ$.

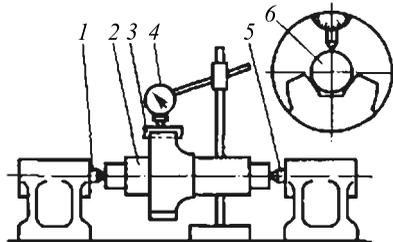


Рис. 2.141. Контроль радиального биения зубчатого венца в центрах

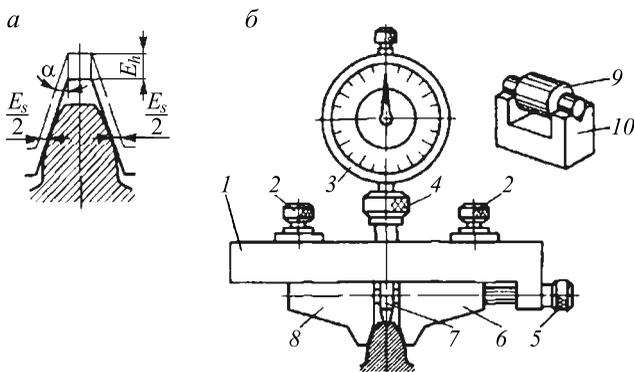


Рис. 2.142. Тангенциальный зубомер:
a – схема измерения: E_n – смещение исходного контура; E_s – отклонение толщины зуба;
 $\alpha = 20^\circ$; *b* – внешний вид: 1 – основание; 2, 4, 5 – винты; 3 – измерительная головка;
 6, 8 – измерительные губки; 7 – измерительный стержень

Тангенциальный зубомер предназначен для определения смещения исходного контура относительно наружного диаметра колеса. Исходный контур (рис. 2.142, *b*) воспроизводится двумя измерительными губками 6 и 8, имеющими угол скоса 20° . Губки расположены на основании 1 симметрично относительно оси индикатора 3 с удлиненным измерительным стержнем 7. Индикатор зажимается винтом 4. Перед измерением зубомер настраивают на номинальное положение исходного контура по калиброванному ролику 9 с диаметром $d = 1,2037m$, уложенному в призму 10. Зубомер губками устанавливают на ролик. Расстояние между губками регулируют вращением винта 5 так, чтобы стрелка индикатора сделала один-два оборота. Затем положение губок фиксируют винтами 2 и индикатор настраивают на нуль. При измерении зубомер накладывают губками на проверяемый зуб и легко покачивают вокруг оси колеса. Наибольшее показание индикатора равно смещению исходного контура. Положительные отклонения стрелки указывают на уменьшение толщины зуба, а отрицательные – на увеличение толщины зуба.

Измерение толщины зуба. Для измерения толщины зуба на заданном расстоянии от окружности выступов применяют штангензубомеры и индикаторно-микрометрические зубомеры.

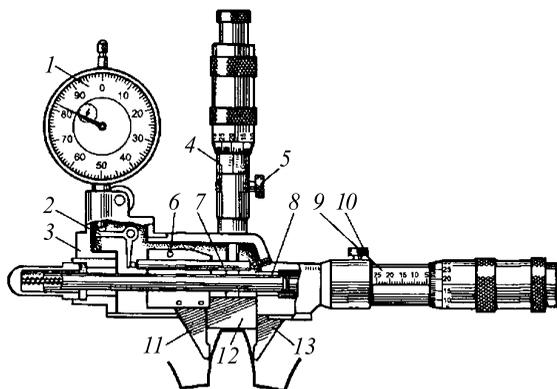


Рис. 2.143. Индикаторно-микрометрический зубомер ЗИМ-16

Более высокую точность измерения толщины зубьев можно получить с помощью индикаторно-микрометрического зубомера типа ЗИМ-16. Основанием прибора (рис. 2.143) является корпус 3, на котором закреплена в вертикальном положении микрометрическая головка 4. Микрометрическая головка предназначена для установки высотной линейки 12. В корпусе горизонтально укреплена микрометрическая головка 9 с неподвижной губкой 13 для измерения толщины зуба. Внутри корпуса перемещается измерительный стержень 8, с которым винтом 6 соединяется подвижная губка 11. Положение губки 11 связано с измерительным наконечником отсчетной индикаторной головки 1 с помощью рычага 2 и штифта 7. Высота головки зуба колеса устанавливается по микропаре 4, номинальная толщина зуба — по микропаре 9, и обе закрепляются зажимными винтами 5 и 10. Зубомер устанавливает высотной линейкой на вершину зуба, а отклонение толщины зуба отсчитывают по отсчетной головке 1.

Измерение длины общей нормали. Длиной общей нормали W называется расстояние между параллельными плоскостями, касательными к двум разноименным профилям зубьев. Для измерения длины общей нормали применяют микрометрический нормалемер МЗ со специальными губками из плоских дисков (рис. 2.144).

Зубомерный микрометр часто применяют для определения неизвестного модуля колеса. Для этого измеряют длину общей нормали, обхватив сначала n -е количество зубьев, а затем на

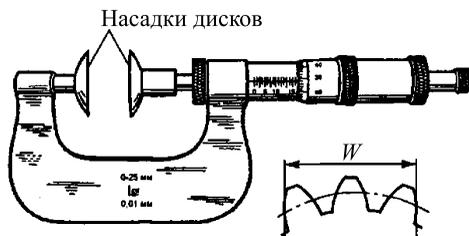


Рис. 2.144. Зубомерный микрометр МЗ:
 W — длина общей нормали

один зуб меньше $(n - 1)$. Разность результатов измерений определяет основной шаг P_t зубчатого колеса, по которому можно определить модуль:

$$m = \frac{P_t}{\pi \cdot \cos \alpha},$$

где $\alpha = 20^\circ$.

Отклонения длины общей нормали устанавливают по результатам измерений, выполненных при нескольких положениях зубчатого колеса, и сравнением их среднего значения с расчетной длиной, определяемой по таблицам или по формулам для прямозубых колес с углом зацепления $\alpha = 20^\circ$.

$$W = m [1,476 (2\pi - 1) + z \cdot 0,01387],$$

где m — модуль, мм; z — число зубьев колеса.

Колебания длины при различных измерениях характеризуют точность расположения зубьев колеса.

Значительно быстрее и точнее колебания длины общей нормали можно измерить с помощью рычажного зубомерного микрометра (рис. 2.145), представляющего собой обычный рычажный микрометр, оснащенный специальными измерительными губками. Измерение колебаний длины общей нормали выполняют при застопоренном микровинте по показаниям отсчетного устройства.

Более точные отклонения длины общей нормали измеряют с помощью индикаторного нормалемера БВ-50-45 (рис. 2.146). Измерения выполняют путем сравнения с мерой. Нормалемер имеет трубчатую штангу 3 и индикаторную головку 1, связанную с подвижной измерительной губкой 9. Перед измерением

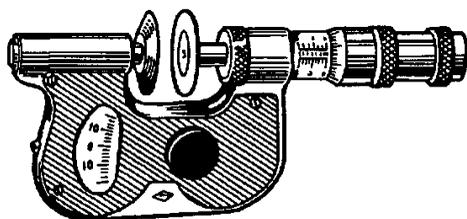


Рис. 2.145. Рычажный зубомерный микрометр

кольцо 4 с переставной губкой 8 устанавливают на расчетное значение длины общей нормали по блоку концевых мер и зажимают винтом 5. Тонкое перемещение губки осуществляют гайкой микроподачи 6 при зажатом кольце 7. При измерении губку 9 отводят рычагом 2 и нормалемер устанавливают на зубья колеса. Наименьшие показания индикатора при легком покачивании прибора определяют отклонение длины общей нормали от расчетного значения.

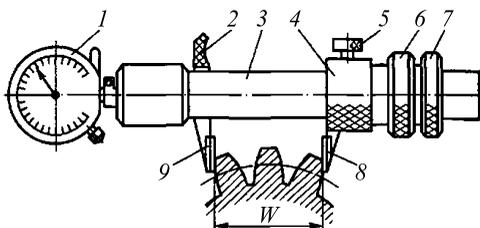


Рис. 2.146. Индикаторный нормалемер БВ-50-45:
 W – длина общей нормали

Контроль контакта зубьев. Полнота контакта зубьев в передаче определяется отклонениями формы и направления контактных линий, по которым сопрягаются зубья зубчатых колес. Контроль полноты контакта зубьев осуществляется на специальных приборах — контактомерах, измеряющих отклонения направления зубьев, и контактомерах, предназначенных для определения погрешности формы и направления контактной линии.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем суть процесса нарезания зубьев дисковыми модульными фрезами?

2. Охарактеризуйте методы нарезания зубьев червячными фрезами.
3. Приведите схемы обработки червяков.
4. Как нарезаются зубья долбьями?
5. В каких случаях используется зуботочение?
6. Объясните принцип нарезания конических зубчатых колес.
7. Приведите схему накатывания зубьев колес.
8. В чем сущность отделочной обработки зубьев?
9. Перечислите основные параметры резьбы.
10. Какими методами контролируют параметры резьбы?
11. Какими методами измеряют средний диаметр наружной резьбы?
12. Как измеряется средний диаметр внутренней резьбы?
13. Перечислите основные параметры прямозубчатого цилиндрического зубчатого колеса.
14. Какие нормы характеризуют точность зубчатых колес?
15. Как выполняется контроль накопленной погрешности основного шага колеса?
16. Как контролируется профиль зуба колеса?
17. Расскажите, как измеряется радиальное биение зубчатого венца колеса.
18. Как измеряется толщина зуба?
19. Что понимают под пятном контакта и как его определяют?
20. Что понимают под кинематической погрешностью и как ее определяют?

2.16. Обработка шпоночных канавок и шлицевых поверхностей

Обработка шпоночных канавок. Шпоночные канавки на валах предназначены для призматических клиновых или сегментных шпонок. Шпоночные канавки для призматических шпонок могут быть закрытыми с двух сторон (глухие), с одной стороны и сквозными. Сквозные шпоночные канавки и закрытые с одной стороны фрезеруют дисковыми фрезами (рис. 2.147, *a*). Канавку фрезеруют за один ход. При этом ширина канавки получается с точностью 4-го качества класса. Для повышения точности осуществляют два хода, используя фрезу, ширина которой на 1...2 мм меньше ширины канавки.

Сквозные шпоночные канавки валов можно обрабатывать и на строгальных станках. Канавки на длинных валах, например на ходовом вале токарного станка, экономичнее строгать на продольно-строгальном станке, чем фрезеровать на продольно-фрезерном.

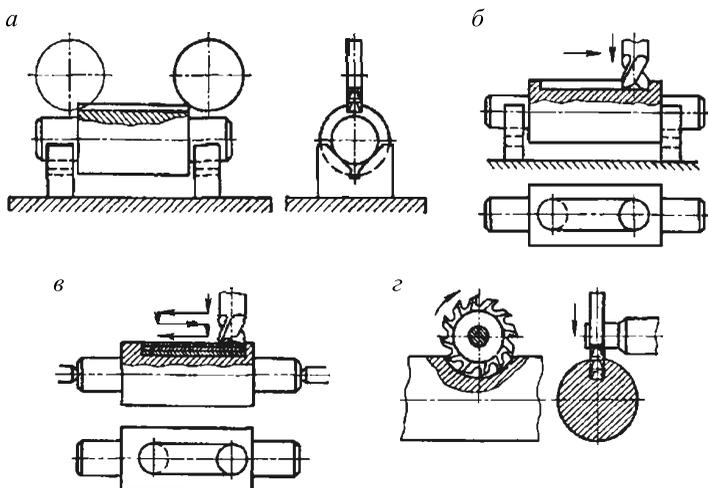


Рис. 2.147. Схемы фрезерования шпоночных канавок валов

Глухие шпоночные канавки фрезеруют стандартными пальцевыми шпоночными фрезами двумя способами. Первый способ заключается в том, что фреза сначала углубляется на полную глубину канавки, после чего включается продольная подача, с которой шпоночную канавку фрезеруют на всю длину (рис. 2.147, б). При этом способе фреза работает в основном своей периферийной частью, диаметр которой после заточки несколько уменьшается, поэтому ширина канавки получается неточной. При втором способе шпоночная фреза углубляется на 0,1...0,3 мм и фрезерует канавку на всю длину, затем опять углубляется на ту же величину и опять фрезерует канавку на всю длину в другом направлении (рис. 2.147, в). Такие движения фрезы повторяются до тех пор, пока канавка не будет обработана на полную глубину. Отсюда и происходит название этого способа — маятниковый.

Маятниковый способ обеспечивает получение более точных размеров канавок, так как фреза работает торцевой частью, и наружный диаметр ее не изменяется. Кроме того, срок службы фрезы значительно возрастает, так как переточку ее производят по торцу (как у сверл). Для маятникового способа фрезерования шпоночных канавок необходим специальный шпоночно-фрезерный станок 692М. При обработке канавки шириной

до 8 мм более производителен второй способ, а при обработке канавки шириной свыше 10 мм – первый способ.

Шпоночные канавки под сегментные шпонки фрезеруют (рис. 2.147, *з*) фрезами для сегментных шпонок на обычных фрезерных станках. В массовом производстве для этой операции применяют упрощенные специальные станки небольших размеров.

Шпоночные канавки в отверстиях втулок, колес, шкивов и других деталей обрабатывают в единичном и мелкосерийном производстве на долбежных станках, а в серийном и массовом – на протяжных станках. На рис. 2.148 показана схема протягивания шпоночной канавки в заготовке зубчатого колеса на горизонтально-протяжном станке. При протягивании шпоночной канавки в отверстии втулки с помощью приспособления втулка отверстием надевается на цементированный и закаленный установочный палец (адаптер) с пазом для направления протяжки. На дне паза адаптера установлена закаленная и шлифованная подкладка, удерживаемая от смещения в продольном направлении выступами на концах. Подкладка служит для того, чтобы предотвратить износ дна паза адаптера, компенсировать изменение высоты протяжки при ее переточке, вести протягивание, если требуется, за несколько последовательных переходов. Основное время для всех случаев обработки шпоночных канавок определяют по общим формулам для соответствующего метода обработки.

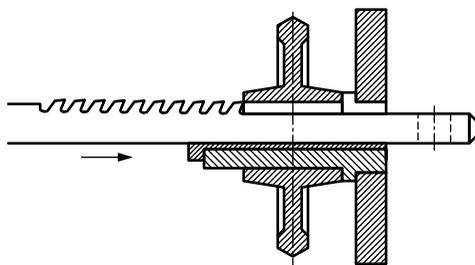


Рис. 2.148. Схема протягивания шпоночной канавки в отверстии

Обработка шлицевых поверхностей. В шлицевых соединениях сопряженные детали центрируют тремя способами (рис. 2.149, *а*): по наружному диаметру $d_{\text{н}}$; по внутреннему диаметру $D_{\text{в}}$; по боковым сторонам шлицев. Форма шлицев бы-

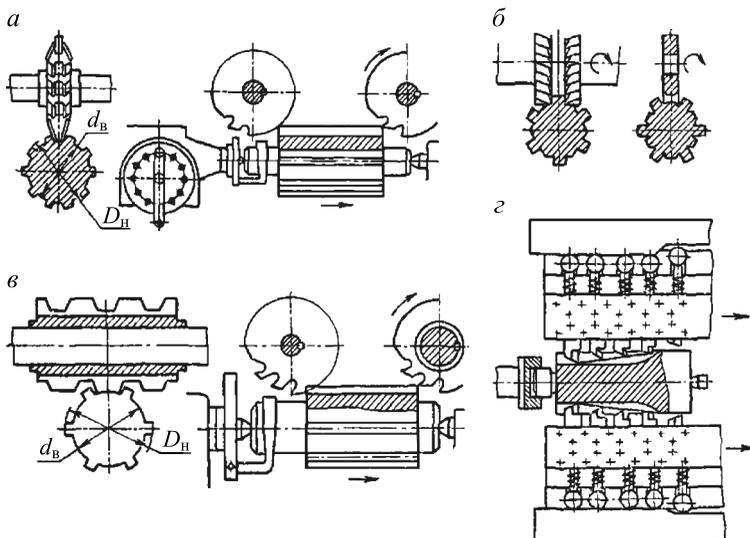


Рис. 2.149. Схемы фрезерования и протягивания шлицев валов

вайт прямоугольная, эвольвентная и треугольная. В машиностроении используют все указанные выше способы центрирования. Наиболее точным является центрирование по внутреннему диаметру; центрирование по наружному диаметру встречается наиболее часто; центрирование по боковым сторонам шлицев применяют сравнительно редко. Черновое фрезерование шлицев иногда производят фасонными дисковыми фрезами на горизонтально-фрезерных станках с помощью делительной головки.

Фрезеровать шлицы можно способом, позволяющим применять более дешевые фрезы (рис. 2.149, б), чем фреза, изображенная на рис. 2.149, а, но менее производительным. Для повышения производительности применяют одновременное фрезерование двух-трех шлицевых валов двумя-тремя дисковыми фрезами с помощью трехшпиндельной делительной головки. Фрезерование шлицев дисковыми фрезами не обеспечивает достаточную точность по шагу и ширине шлицев.

Более точное фрезерование шлицев производят методом обката с помощью шлицевой червячной фрезы (рис. 2.149, в) на шлицефрезерных или зубофрезерных станках аналогично фрезерованию зубьев колес. Этот метод является наиболее распро-

страненным. В зависимости от требуемой точности и размеров шлицев осуществляют один или два хода.

При центрировании по внутреннему диаметру как червячная, так и дисковая фрезы должны иметь «усики», вырезающие канавки у основания шлица, чтобы не было заедания во внутренних углах. Эти канавки необходимы также, если предусмотрено последующее шлифование по боковым сторонам и внутреннему диаметру. Определение основного времени фрезерования шлицев производится по тем же формулам, что и при фрезеровании зубьев колес.

Производительным методом обработки шлицев является одновременное долбление всех впадин шлицев специальной многолезцовою головкой, аналогичной головке для долбления зубчатого колеса.

Впадины шлицев протягивают также двумя специальными блочными протяжками (рис. 2.149, з) с последующим поворотом заготовки. Этим методом обрабатывают сквозные и несквозные шлицы, допускающие выход инструментов. Протягивание блочными протяжками в несколько раз производительнее фрезерования шлицев. Протягивание шлицев осуществляют на специальном станке.

Холодное накатывание шлицев является производительным процессом. Его применяют для получения как прямобочных, так и эвольвентных шлицев. Накатывание шлицев без нагрева заготовки осуществляется роликами или рейками. Схема профильного накатывания шлицев с помощью специальной головки, в которой расположены ролики, профиль которых соответствует профилю поперечного сечения шлицев, показана на рис. 2.150. Вращающиеся на осях ролики (диаметром 100 мм) по одному на каждый шлиц расположены радиально в корпусе головки. При передвижении головки по заготовке со скоростью 3 м/мин свободно вращающиеся ролики, вдавливаясь в поверхность вала, образуют на ней шлицы, профиль которых соответствует профилю ролика. Все шлицы накатываются одновременно без вращения заготовки. На таких станках наибольшее число накатываемых шлицев 18, наименьшее — 6. Получаемая точность шлицев по шагу 0,04 мм, не-

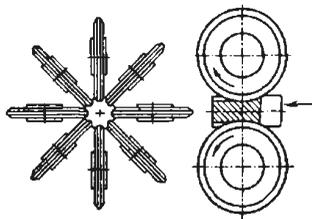


Рис. 2.150. Схема профильного накатывания шлицев

прямолинейность не превышает 0,04 мм на 100 мм длины. Полный профиль шлицев формируется за несколько ходов (три – шесть). Обжатие металла осуществляется постепенно, путем периодического вдавливания накатных роликов в заготовку. Радиальная подача роликов осуществляется автоматически.

Накатывание за несколько ходов значительно уменьшает усилие деформирования и позволяет накатывать шлицы средних и крупных размеров большой длины (550 мм) на валах пониженной жесткости. Основное время при накатывании шлицев

$$T_0 = \frac{l_0 + l_{\text{п}}}{1000} \left(\frac{1}{V_{\text{р}}} + \frac{1}{V_{\text{об}}} \right) i \text{ (мин)},$$

где l_0 – длина накатываемых шлицев, мм; $l_{\text{п}}$ – длина перебега роликов, мм; $V_{\text{р}}$ – скорость накатывания, м/мин, т.е. передвижение головки по заготовке при рабочем ходе; $V_{\text{об}}$ – скорость головки при обратном ходе головки, м/мин; i – число ходов.

Валы с накатанными шлицами имеют более высокие эксплуатационные свойства, потому что формообразование шлицев накатыванием в холодном состоянии повышает точность и стабильность размеров, уменьшает шероховатость поверхностей, упрочняет металл. Применение станков для накатывания шлицев эффективно в массовом и крупносерийном производстве.

Накатывание шлицев можно производить методом «Рото-фло». Этот метод заключается в том, что обрабатываемая заготовка вращается в центрах между верхней и нижней инструментальными рейками, которые быстро перемещаются в противоположных направлениях, выдавливая при этом металл по периферии круглой заготовки. Методом «Рото-фло» кроме шлицев можно накатывать зубья, всевозможные резьбы, канавки.

У незакаленных шлицевых валов при центрировании по наружному диаметру шлифуют только наружную цилиндрическую поверхность вала на обычных круглошлифовальных станках. Шлифование боковых сторон шлицев не требуется, если применялось чистовое фрезерование червячной фрезой. При центрировании незакаленных шлицевых валов по внутреннему диаметру фрезерование шлицев обеспечивает точность обработки по внутреннему диаметру 0,05...0,06 мм, что не всегда является достаточным для точной посадки, и в таких случаях осуществляют шлифование.

Закаленные шлицевые валы необходимо шлифовать в зависимости от способа центрирования по наружному или по внутреннему диаметру, а по боковым сторонам шлицев — во всех случаях. Наиболее производительным является способ шлифования фасонным кругом (рис. 2.151). Но при таком способе износ шлифовального круга влияет на точность обработки, и поэтому требуется частая правка круга. Несмотря на это, данный способ широко распространен в машиностроении. На рис. 2.152 показана схема правки шлифовального круга алмазами с помощью приспособления для правки.

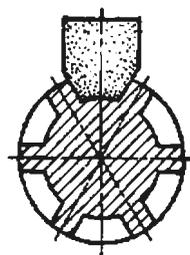


Рис. 2.151. Схема шлифования фасонным кругом

Шлифование шлицев может быть произведено в две отдельные операции: в первой производят шлифование по внутреннему диаметру (рис. 2.153, б), а во второй — шлифование боковых сторон шлицев (рис. 2.153, а). При обоих способах шлифования после каждого двойного хода стола производится поворот вала и, таким образом, шлифовальный круг шлифует впадины постепенно, одну за другой. Поворот вала на шлифшлицевальных станках производится автоматически.

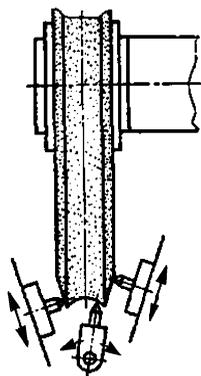


Рис. 2.152. Схема правки шлифовального круга алмазами с помощью приспособления для правки

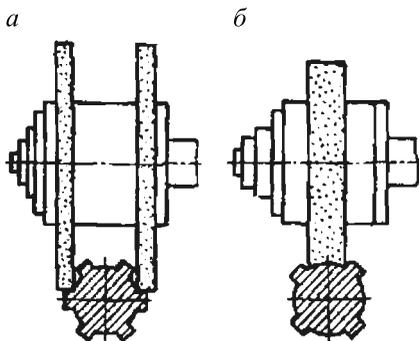


Рис. 2.153. Схемы шлифования шлицев за две операции

Основное время шлифования по внутреннему диаметру и бокам шлицев

$$T_0 = \frac{2(l_0 + l_{\text{вр}} + l_{\text{п}})}{1000V_{\text{ст}}} z \frac{a}{s_{\text{в}}} k \text{ (мин)},$$

где l_0 — длина шлифуемых шлицев, мм; $l_{\text{вр}}$ — длина врезания, мм,

$l_{\text{вр}} = \sqrt{h(D_{\text{ш}} - h) + (10...15)}$ мм; $D_{\text{ш}}$ — диаметр шлифовального круга, мм; h — высота шлица, мм; $l_{\text{п}}$ — длина перебега, мм, $l_{\text{п}} = 5...10$ мм; $V_{\text{ст}}$ — скорость стола м/мин; z — число шлицев; a — припуск на шлифование по внутреннему диаметру на сторону, мм (если шлифуют только бока шлицев, то a принимают в соответствии со способом шлифования); $s_{\text{в}}$ — вертикальная подача на двойной ход стола, мм; k — поправочный коэффициент, учитывающий выхаживание, $k = 1,15...1,5$.

Шлицевые поверхности в отверстиях втулок, колес и других деталей получают протягиванием. Сначала осуществляют предварительную обработку отверстия и иногда торца, потом протягивание отверстия круглой протяжкой, после чего протягивание отверстия шлицевой протяжкой (обычной или прогрессивной). Шлицевые отверстия диаметром до 50 мм можно протягивать одной комбинированной протяжкой, если это экономически целесообразно (учитывая высокую стоимость протяжки). Предварительное подрезание торца заготовки увеличивает стойкость протяжки, так как ее зубья начинают резать с обработанной поверхности торца.

Контроль шлицевых валов и отверстий. В шлицевых валах измерительными инструментами проверяют наружный и внутренний диаметр и толщину шлицев. Биение и конусообразность по внутреннему диаметру контролируют индикатором; параллельность боковых поверхностей шлицев оси вала проверяют также индикатором, для чего индикатор перемещают вдоль оси, а вал предварительно устанавливают горизонтально. Правильность расположения шлицев по окружности можно проверить специальным шлицевым кольцом.

Универсальный измерительный прибор, имеющий делительную головку, позволяет проверить все элементы шлицевых валов: шаг, расположение шлицев по окружности и другие элементы. Шлицевое отверстие контролируют шлицевой пробкой.

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите схему обработки шпоночных канавок валов.
2. В чем сущность обработки шлицевых поверхностей?

2.17. Плазменная обработка заготовок

Плазма — это газ, состоящий из положительно и отрицательно заряженных частиц в таких пропорциях, что общий заряд равен нулю. Свободно движущиеся электроны могут переносить электрический ток. Поэтому плазма — это проводящий газ.

Известно, что при достаточно сильном нагревании любое вещество испаряется, превращаясь в газ. Если увеличивать температуру, резко усилится процесс термической ионизации, т.е. молекулы газа начнут распадаться на составляющие их атомы, которые затем превращаются в ионы. Ионизация газа, кроме того, может быть вызвана его взаимодействием с электромагнитным излучением (фотоионизация) или бомбардировкой газа заряженными частицами.

Резка металлов осуществляется сжатой плазменной дугой, которая горит между анодом — разрезаемым металлом и катодом — плазменной горелкой. Стабилизация и сжатие токового канала дуги, повышающее ее температуру, осуществляются соплом горелки и обдуванием дуги потоком плазмообразующих газов (Ar , N_2 , H_2 , NH_4) и их смесей. Для интенсификации резки металлов используется химически активная плазма. Например, при резке струей плазмы кислород, окисляя металл, дает дополнительный энергетический вклад в процесс резки. Плазменная дуга режет коррозионно-стойкие и хромоникелевые стали, медь, алюминий и другие металлы и сплавы, не поддающиеся кислородной резке. Высокая производительность плазменной резки позволяет применять ее в поточных непрерывных производственных процессах. Нанесение покрытий (напыление) производится для защиты деталей, работающих при высоких температурах, в агрессивных средах или подвергающихся интенсивному механическому воздействию. Материал покрытия (тугоплавкие металлы, окислы, карбиды, силициды, бориды и др.) вводят в виде порошка (или проволоки) в плазменную струю, в которой он плавится, распыляется со скоростью ~ 100...200 м/с в виде мелких частиц (20...100 мкм) на поверхность изделия. Плазменные покрытия отличаются пони-

женной теплопроводностью и хорошо противостоят термическим ударам.

Свойство плазменной дуги — глубоко проникать в металл — используется для сварки металлов. Благоприятная форма образовавшейся ванны позволяет сваривать достаточно толстый металл (10...15 мм) без специальной разделки кромок. Сварка плазменной дугой отличается высокой производительностью и благодаря стабильности горения дуги хорошим качеством. Маломощная плазменная дуга при силе тока 0,1...40 А удобна для сварки тонких листов (0,05 мм).

Плазменное напыление — это разновидность электродугового напыления сжатой дугой. Способ получения плазменной дуги заключается в сжатии столба сварочной дуги путем ее обдувания потоками холодного газа. Устройство для получения плазменной дуги называется плазмотроном.

При использовании в качестве присадочного материала порошков возможна следующая схема напыления:

- плазменное напыление по слою крупнозернистого порошка производится основной дугой, горячей между катодом плазмотрона и обрабатываемой деталью, на поверхность которой нанесен слой порошка, необходимый для наплавки;
- плазменное напыление с вдуванием порошка в дугу осуществляется комбинированным плазмотроном. Порошок, проходящий через отверстие сопла или вблизи его, расплавленный плазменной струей, подается на поверхность основной плазменной дугой.

В комплект оборудования для плазменного напыления входят плазмотрон, источник питания дуги, пускорегулирующая электросиловая аппаратура, система охлаждения, система подачи присадочного материала, манипулятор перемещения плазмотрона при наплавке.

Пускорегулирующая аппаратура плазмоустройств включает устройство для включения источника питания в сеть, поджигания дуги, регулирования параметров тока, отключение дуги, блокировок, отключающих схему в аварийных ситуациях.

Для восстановления деталей типа вал с износом не более 3 мм методом плазменного напыления используют станок ОКС 11231 (рис. 2.154). Станок состоит из унифицированных составных частей.

На панели пульта управления станка размещены два двухполюсных переключателя для управления прямым и обратным

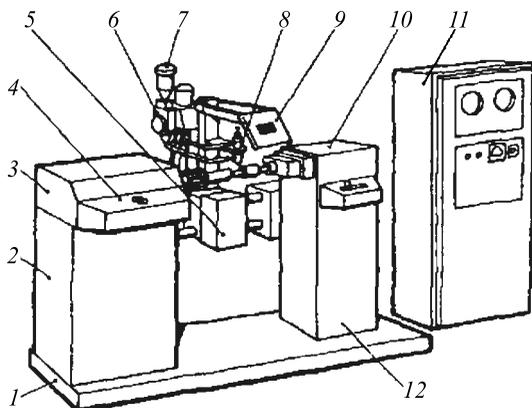


Рис. 2.154. Станок для плазменного напыления:

1 – основание; 2 – подставка под шпиндельный блок; 3 – шпиндельный блок; 4 – пульт управления; 5 – механизм продольного перемещения; 6 – дозатор; 7 – бункер; 8 – горелка; 9 – защитный экран; 10 – бабка задняя; 11 – электрошкаф; 12 – подставка под шпиндельный блок

ходом каретки и реверсом шпинделя, регулятор оборотов шпинделя и скорости каретки включения освещения дозатора, светосигнальное устройство, сигнализирующее о наличии напряжения в цепи управления.

Электрошкаф станка служит для размещения в нем электроаппаратуры управления сварочным процессом и панели с размещенными на ней двумя манометрами, показывающими давление газа в линии транспортирования наплавляемого порошка и в линии подачи газа на плазмооборудовании.

На панели управления размещаются выключатель автоматический с тепловым расцепителем для включения силовой сети станка, два светосигнальных устройства, сигнализирующих о включении в работу дозатора и готовности к работе станка, амперметр и вольтметр, контролирующие процесс сварки.

Восстановление деталей напылением производится следующим образом: деталь базируется и закрепляется в центрах шпинделя и задней бабки (рис. 2.155, а, б). На схеме плазменного напыления дана технологическая система (ТС) операции 20 (см. рис. 2.155, а): станок для плазменного напыления ОКС 11231, приспособление – манипулятор, инструмент – горелка, заготовка – распределительный вал.

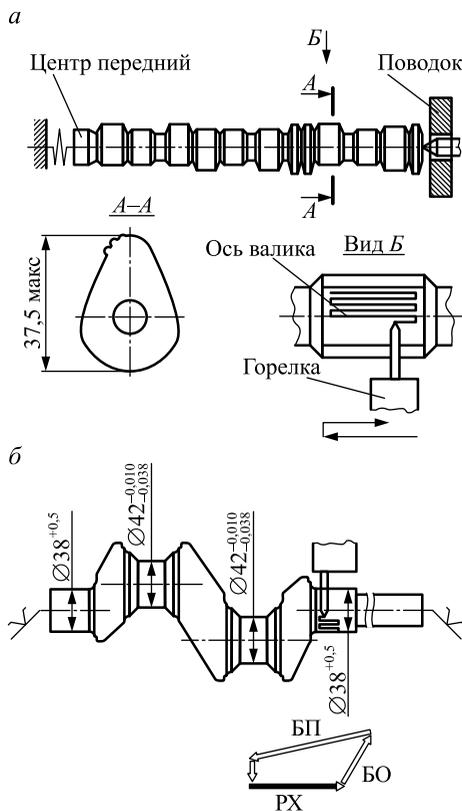


Рис. 2.155. Схема восстановления валов плазменным напылением:
 а – операция 20; б – операция 15

Технологическая система операции 15 показана на рис. 2.155, б: станок – наплавочный ОКС 11231, приспособление – центр, инструмент – головка для напыления, заготовка – коленчатый вал.

Корректируется расстояние от горелки до наплавляемой поверхности 8...10 мм с помощью манипулятора горелки. Подается напряжение на станок, включается станок, устанавливается режим дуги, включается подача наплавляемого порошка, устанавливается необходимый его расход, включается вращение шпинделя и режим напыления.

После окончания напыления прекращается подача порошка. Отключается привод шпинделя и каретки.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем сущность плазменной обработки?
2. Опишите процесс плазменного напыления.

2.18. Лазерная обработка заготовок

Лазер – источник электромагнитного излучения, видимого инфракрасного и ультрафиолетового диапазонов, основанный на вынужденном излучении атомов и молекул. Слово «лазер» составлено из начальных букв слов английской фразы «Light amplification by stimulated Emission of Radiation», что означает «усиление света в результате вынужденного излучения».

Лазерный луч можно сфокусировать и так, что он будет вызывать интенсивный нагрев. Например, с помощью линзы с фокусным расстоянием 1 см луч можно сфокусировать в пятно, называемое фокальным, так как оно находится в фокусе диаметром 0,01 см, т.е. площадью в $0,0001 \text{ см}^2$. Хотя вспышка лазера и кратковременна, ее достаточно для расплавления и испарения освещенной части любого материала, будь то металл, камень или керамика.

Во время мощных вспышек, а тем более во время непрерывной работы лазера стержень активного вещества сильно нагревается и его приходится охлаждать. Для этого стержень заключают в кожух, через который циркулирует охлаждающая среда. Рубиновый лазер обычно охлаждается жидким азотом, температура которого равна $-196 \text{ }^\circ\text{C}$.

Обработка материалов лазерным лучом. Направим на поверхность какого-то материала, например металла, луч мощного лазера. Вообразим, что интенсивность излучения постепенно растет (за счет увеличения мощности лазера или за счет фокусирования излучения). Когда интенсивность излучения достигнет необходимого значения, начнется плавление металла. Вблизи поверхности, непосредственно под световым пятном, возникает область жидкого (расплавленного) металла. Поверхность, ограничивающая эту область от твердого металла (ее называют поверхностью расплава), постепенно перемещается вглубь материала по мере поглощения им световой энергии. При этом площадь поверхности расплава увеличивается и, следовательно, теплота начинает более интенсивно проникать вглубь материала за счет теплопроводности. В результате устанавливается поверхность расплава (рис. 2.156, а).

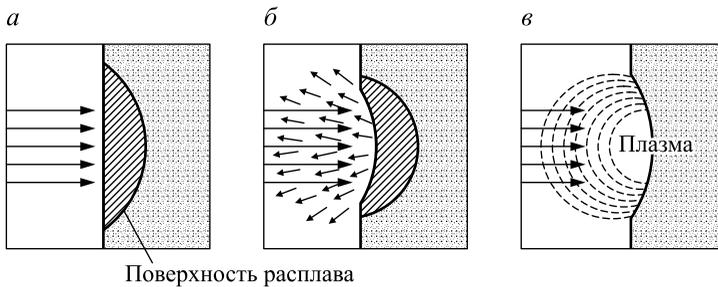


Рис. 2.156. Воздействие лазерного излучения:
а – плавление металла под действием лазерного излучения; *б* – интенсивное испарение
 металла; *в* – образование плазмы

При повышении интенсивности лазерного излучения одновременно с плавлением будет происходить интенсивное испарение (кипение) материала. Часть вещества превратится в пар, вследствие чего на поверхности металла возникает лунка, начинается процесс формирования отверстия (рис. 2.156, б).

Когда интенсивность излучения достигнет максимума, свет начнет сильно ионизовать пары вещества, превращая их в плазму. Возникнув, плазма преградит дальнейший доступ лазерного излучения к поверхности материала – ведь свет интенсивно поглощается плазмой (рис. 2.156, в).

Говоря о действии луча на вещество, мы имели в виду концентрацию световой мощности лишь в пространстве (ведь интенсивность луча есть мощность, отнесенная к единице площади его сечения). Надо, однако, учитывать и концентрацию мощности во времени. Ее можно регулировать, изменяя длительность одиночных лазерных импульсов или частоту следования импульсов (если генерируется последовательность импульсов). Предположим, что интенсивность достаточно для того, чтобы металл не только плавился, но и кипел; при этом излучение лазера представляет собой одиночные импульсы. В данном случае в материале поглощается значительная световая энергия за очень короткое время. За такое время поверхность расплава не успевает переместиться вглубь материала; в результате еще до того, как расплавится сколько-нибудь заметная масса вещества, начнется его интенсивное испарение. Иными словами, основная часть, поглощаемая веществом световой энергии лазерного импульса, расходуется в подобных условиях не на плавление, а на испарение.

В зависимости от вида обработки и свойств материала используют излучение с вполне определенными энергетическими и временными характеристиками. Если, например, для сварки подходят относительно менее интенсивные и в то же время более длительные импульсы, то для пробивания отверстий, где важно интенсивное испарение материала, подходят более интенсивные и более короткие импульсы.

Чтобы получить тончайшую проволоку из меди, бронзы, вольфрама и дру-

гих металлов, применяют технологию протягивания (волочения) проволоки сквозь отверстия очень малого диаметра. Эти отверстия (каналы волочения) высверливают в материалах, обладающих особо высокой твердостью, например в сверхтвердых сплавах и алмазах. Поэтому лучше всего протягивать тонкую проволоку сквозь отверстие в алмазе (сквозь так называемые алмазные фильеры). Алмазные фильеры позволяют получать проволоку диаметром всего 10 мкм. Для сверления одного отверстия в алмазной фильере механическим путем требуется до 10 ч.

Канал волочения в алмазной фильере имеет сложный профиль (рис. 2.157). Лазерным импульсным излучением пробивают черновой канал в алмашной заготовке, затем, обрабатывая канал ультразвуком, шлифуя и полируя, придают ему необходимый профиль.

Лазерное сверление широко применяют для получения отверстий не только в твердых и сверхтвердых материалах, но и в материалах, отличающихся повышенной хрупкостью.

С помощью лазеров можно обрабатывать отверстия диаметром от нескольких микрометров до нескольких десятков долей миллиметра; детали из фольги; тонкие пленки; осуществлять балансировку вращающихся заготовок, подгонку электрических параметров элементов микросхем, сложноконтурную вырезку заготовок из листа, а также сварку, пайку, локальный нагрев, термическую обработку и другие процессы. Излучением оптических квантовых генераторов (ОКГ) можно обработать заготовки как из металлических материалов, так и из неметаллических. Особенно эффективна обработка заготовок из алмаза, рубина, труднообрабатываемых сплавов, резины, стеклопластиков, слюды, дерева, картона, ткани. Излучение ОКГ мож-

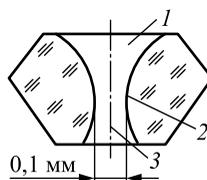


Рис. 2.157. Профиль канала волочения в алмазной фильере: 1 — входное отверстие; 2 — рабочая часть канала; 3 — выходное отверстие

но эффективно использовать для обработки труднодоступных поверхностей, для сверления наклонных отверстий.

Для технологических целей наибольшее распространение получили ОКГ на твердом теле и газовые ОКГ. Упрощенная схема ОКГ на твердом теле представлена на рис. 2.158, а. Стержень изготавливают чаще всего из рубина, стекла с примесью неодима или алюмоиттриевого граната с примесью неодима. Рядом со стержнем 7 расположена газоразрядная импульсная лампа 3, осуществляющая оптическую накачку активной среды. Питание лампы 3 и управление ее работой производится специальным устройством 1. Стержень 7 и лампа 3 помещены внутри отражателя 2, направляющего излучение лампы на активную среду. Зеркало 8 и полупрозрачное зеркало 4 вместе со стержнем 7 образуют открытый резонатор. Зеркала 4 и 8 осуществляют в ОКГ положительную обратную связь. Принцип работы ОКГ состоит в следующем. Активная среда – стержень 7 в результате облучения светом импульсной лампы накачки становится в определенном спектральном диапазоне средой с отрицательным коэффициентом поглощения. Электromагнитная волна, распространяющаяся в осевом направлении, проходя через активную среду, усиливается за счет квантовых переходов

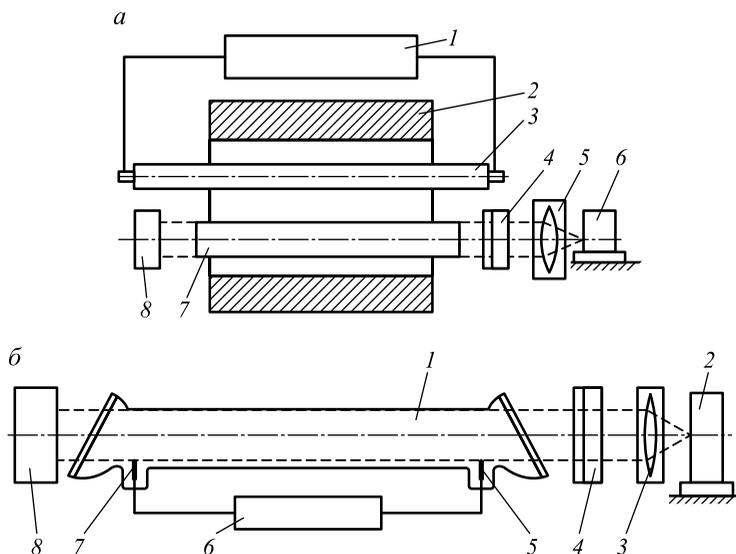


Рис. 2.158. Схемы обработки оптическим квантовым генератором (лазером)

дов. Отражение от зеркал 4 и 8 приводит к многократному прохождению волны через активную среду. Излучение фокусируется оптической системой 5 на поверхность заготовки 6.

В газовых ОКГ (рис. 2.158, б) активной средой является смесь газов, заключенная в кварцевую трубку 1, в которую впаены электроды 7 и 5, подключенные к источнику питания 6. Наибольшее применение получили газовые ОКГ на смеси углекислого газа с азотом. По краям трубки 1 установлены непрозрачное зеркало 8 и полупрозрачное зеркало 4. Необходимое состояние активной среды создается посредством разряда между электродами. Излучение фокусируется оптической системой 3 на поверхность заготовки 2.

Лазерная сварка может быть точечной и шовной. В большинстве случаев применяют импульсные лазеры, обеспечивающие наименьшую зону термического влияния. С помощью лазерной сварки можно получать высококачественные соединения деталей из коррозионно-стойкой стали, никеля, молибдена и др. Высокая мощность лазерного излучения позволяет сваривать материалы с высокой теплопроводностью (медь, серебро). Для материалов, плохо поддающихся сварке другими методами (вольфрам с алюминием, медь со сталью, бериллиевая бронза с другими сплавами), применяют лазерный метод. Плотность потока излучения на поверхности свариваемых деталей в зависимости от их материала может быть $0,1 \dots 1 \text{ МВт/см}^2$. Глубина проплавления материала при сварке импульсным твердотельным лазером $0,05 \dots 2 \text{ мм}$ при ее отношении к диаметру сварочной точки или ширине шва $0,5 \dots 5 \text{ мм}$, что делает возможной надежную сварку деталей толщиной $0,01 \dots 1 \text{ мм}$. Оборудование для лазерной сварки обеспечивает работу в следующих режимах: энергия излучения в импульсе $0,1 \dots 30 \text{ Дж}$, длительность импульса $1 \dots 10 \text{ мс}$, диаметр светового пятна $0,05 \dots 1,5 \text{ мм}$. Производительность точечной сварки — 60 операций в 1 мин, шовной — 1 м/мин при глубине проплавления $0,5 \text{ мм}$.

Наиболее эффективно применять лазеры для сварки конструкций в труднодоступных местах, при соединении легкодеформируемых деталей, в условиях интенсивного теплоотвода (например, для материалов с высокой теплопроводностью, при низких температурах и т.д.), а также в тех случаях, когда надо обеспечить минимальную зону термического влияния.

Развитие лазерной сварки прошло через два этапа. Вначале развивалась точечная сварка — на основе импульсных твердо-

тельных лазеров на рубине и на стекле с неодимом. С появлением мощных лазеров на CO_2 и лазеров на гранате с неодимом, дающих непрерывное излучение или последовательность частоповторяющихся импульсов, стала развиваться шовная сварка с глубиной проплавления до нескольких миллиметров (и даже сантиметров).

Лазерную сварку с использованием непрерывного излучения применяют для герметизации корпусов приборов, привариваемых наконечников к лопастям газовых турбин, приварки режущих кромок из закаленной стали к полотнам металлорежущих пил и т.д. Скорость сварки достигает нескольких метров в минуту; ширина шва — до 0,5 мм.

При применении лазерной сварки прочность сварных соединений (ширина шва составляет несколько миллиметров) достигает уровня прочности свариваемого материала. Осуществляется автоматическая лазерная сварка кузовов автомобилей, сварка листов титана и алюминия на судостроительных верфях, сварка газопроводов. С помощью лазеров на CO_2 производят автоматическую лазерную сварку карданных валов автомобилей. Срок службы валов повысился в 3 раза. Развивается также лазерная сварка неметаллических материалов.

Лазерная сварка успешно конкурирует с хорошо известными способами сварки. Она обладает рядом преимуществ, которые делают ее во многих случаях предпочтительной или даже единственно возможной. При лазерной сварке нет контакта со свариваемым образцом, а поэтому нет опасности его загрязнения какими-либо примесями. В отличие от электронной сварки, для которой нужен вакуум, лазерная сварка производится в атмосфере. Лазерная сварка позволяет осуществлять быстро и с высокой точностью локальное проплавление в данной точке или вдоль заданной линии. Подвергающаяся тепловому воздействию зона имеет очень малые размеры, что важно, в частности, в тех случаях, когда сварка производится в непосредственной близости от чувствительных к нагреву элементов.

Термообработка. При направлении лазерного луча на поверхность металла тонкий поверхностный слой быстро нагревается. По мере перемещения луча на другие участки поверхности происходит быстрое остывание нагретого участка. Так производят закалку поверхностных слоев, приводящую к существенному повышению их прочности. Лазерная закалка позволяет избирательно увеличивать прочность именно тех участ-

ков поверхности, именно тех деталей, которые в наибольшей мере подвергаются износу. Лазерную закалку применяют в автомобильной промышленности для упрочнения головок цилиндров двигателей, направляющих клапанов, шестерен, распределительных валов и т.д.

Для повышения твердости поверхности применяют также лазерное легирование. Легирующие присадки в виде порошка предварительно наносят на обрабатываемую поверхность. При облучении лазером поверхности заготовки происходит плавление и взаимное перемешивание порошка и материала заготовки в пределах тонкого поверхностного слоя.

Термообработку обычно производят непрерывно генерирующим лазером на CO_2 .

Поверхностное упрочнение металлов производят ударными волнами при использовании лазеров, генерирующих последовательности импульсов. У поверхности металла образуется слой плазмы. Плазма распространяется навстречу лазерному лучу, в результате чего рождается ударная волна. Поскольку луч представляет собой последовательность импульсов, возникает последовательность ударных волн. Воздействие волн на металлическую деталь оказывает в данном случае такое влияние, как при холодной обработке металла давлением.

Лазерная термообработка позволяет повысить твердость материала на 20...30% по сравнению с традиционными методами упрочнения и в несколько раз износостойкость. Рассматриваемый пример лазерного упрочнения и в несколько раз износостойкость. Рассматриваемый пример лазерного упрочнения межкамерных промежутков головки блока цилиндров двигателя автомобиля позволил повысить ресурс работы в 2 раза. Материал головки блока – алюминиевый сплав (рис. 2.159).

На схеме лазерной термообработки дана технологическая система (ТС): станок – АЛТК-Т, приспособление – специальное зажимное, инструмент – лазер на CO_2 , заготовка – головка блока цилиндров. После механической обработки деталь 1 автоматически поддается на рабочий стол лазерной технологической установки, которая совершает поступательное движение. Лазерная го-

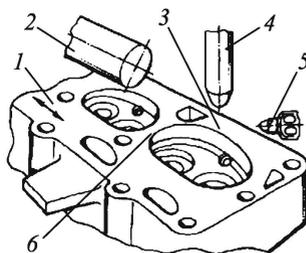


Рис. 2.159. Схема лазерной термообработки

ловка 4, совершая движение по окружности, проходит по контуру 6 обрабатываемой поверхности 3. Обработка происходит в защитной среде аргона, который подается через сопло 5.

Газообразные продукты, образующиеся в ходе обработки, удаляются из зоны обработки в вентиляционную систему через патрубок 2. После завершения лазерной обработки деталь автоматически подается на последующую обработку.

Лазерную резку материалов осуществляют как в импульсном, так и в непрерывном режиме. При резке в импульсном режиме непрерывный рез получается в результате наложения следующих друг за другом отверстий. Наиболее широкое применение получила резка тонкопленочных пассивных элементов интегральных схем, например, с целью точной подгонки значений их сопротивления или емкости. Для этого применяют импульсные лазеры на алюмо-иттриевом гранате с модуляцией дробности, лазеры на углекислом газе. Импульсный характер обработки обеспечивает минимальную глубину прогрева материала и исключает повреждение подложки, на которую нанесена пленка. Лазерные установки различных типов позволяют вести обработку при следующих режимах: энергия излучения – 0,1...1 МДж, длительность импульса – 0,01...100 мкс, плотность потока излучения – до 100 мДт/см, частота повторения импульсов – 100...5000 импульсов в 1 с. В сочетании с автоматическими управляющими системами лазерные установки для подгонки резисторов обеспечивают производительность более 5 тысяч операций за 1 ч. Импульсные лазеры на алюмо-иттриевом гранате применяют также для резки полупроводниковых пластин-подложек интегральных схем.

Лазеры непрерывного действия на CO_2 , применяют для газо-лазерной резки, при которой в зону воздействия лазерного луча подается струя газа. Газ выбирают в зависимости от вида обрабатываемого материала. При резке дерева, фанеры, пластика, бумаги, картона, текстильных материалов в зону обработки подается воздух или инертный газ, которые охлаждают края реза и препятствуют сгоранию материала и расширению реза. При резке большинства металлов, стекла, керамики струя газа выдувает из зоны воздействия луча расплавленный материал, что позволяет получать поверхности с малой шероховатостью и обеспечивает высокую точность резак. При резке железа, малоуглеродистых сталей и титана в зону нагрева подается струя кислорода.

Получение отверстий лазером возможно в любых материалах. Как правило, для этой цели используют импульсный метод. Производительность достигается при получении отверстий за один импульс с большой энергией (до 30 Дж). При этом основная масса материала удаляется из отверстия в расплавленном состоянии под давлением пара, образовавшегося в результате испарения относительно небольшой части вещества. Однако точность обработки одноимпульсным методом невысокая (10...20 размера диаметра). Максимальная точность (1...5%) и управляемость процессом достигается при воздействии на материал серии импульсов (многоимпульсный метод) с относительно небольшой энергией (обычно 0,1...0,3 Дж) и малой длительностью (0,1 мс и менее). Возможно получение сквозных и глухих отверстий с различными формами поперечного (круглые, треугольные и т.д.) и продольного (цилиндрические, конические и др.) сечений. Освоено получение отверстий диаметром 0,003...1 мм при отношении глубины к диаметру 0,5 : 10. Шероховатость поверхности стенок отверстий в зависимости от режима обработки и свойств материала достигает $Ra0,40...0,10$ мкм, а глубина структурно измененного, или дефектного, слоя составляет 1...100 мкм. Производительность лазерных установок при получении отверстий обычно 60—240 отверстий в 1 мин. Наиболее эффективно применение лазера для труднообрабатываемых другими методами материалов (алмаз, рубин, керамика и т.д.), получения отверстий диаметром менее 100 мкм в металлах или под углом к поверхности. Получение отверстий лазерным лучом нашло особенно широкое применение в производстве рубиновых часовых камней и алмазных волокон. Например, успешно получают алмазные волокна на установке «Квант-9» с лазером на стекле с примесью неодима. Производительность труда на этой операции значительно увеличилась по сравнению с ранее применявшимися методами.

Автоматизированный технологический комплекс М-36М для лазерной резки листового материала приведен на рис. 2.160.

На схеме лазерной резки дана технологическая система (ТС): станок — М-36М, приспособление — двухступенной манипулятор, инструмент — лазер на CO_2 , мощность 1 кВт, заготовка — лист Ст.3. Комплекс состоит из блока контроля и управления лазера 1, силового блока лазера 2, пульта управления 3, лазера на CO_2 4, генерирующего вынужденное непрерывное мо-

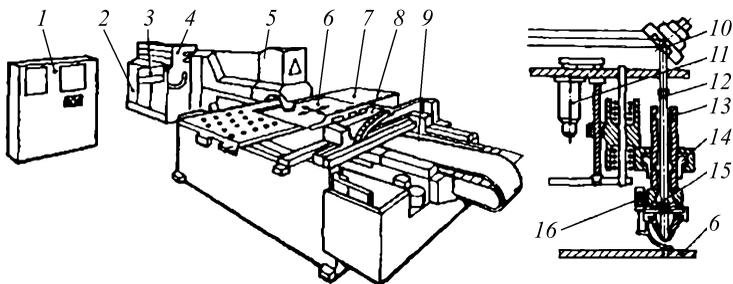


Рис. 2.160. Схема лазерной резки листового металла

нохроматическое излучение с длиной волны $\lambda = 10,6$ мкм, оптико-механического блока 5, опорного стола 7, робота 8, обеспечивающего закрепление и перемещение по двум координатам заготовки 6, и транспортной системы 9, обеспечивающей удаление готовых деталей.

В оптико-механическую систему 5 входит зеркало 10 для поворота луча лазера 12 на 90° , линза 13 с фокусным расстоянием 254 мм, линза 14 с фокусным расстоянием 12 мм, линза 15 с фокусным расстоянием 63 мм; датчик 16 системы слежения, механический привод 11 системы слежения.

Система слежения обеспечивает постоянство фокусирования на заготовку.

Автоматизированный лазерный технологический комплекс М-25С приведен на рис. 2.161. Он предназначен для лазерной обработки (термоупрочнения, наплавки, сварки, резки и т.д.) дета-

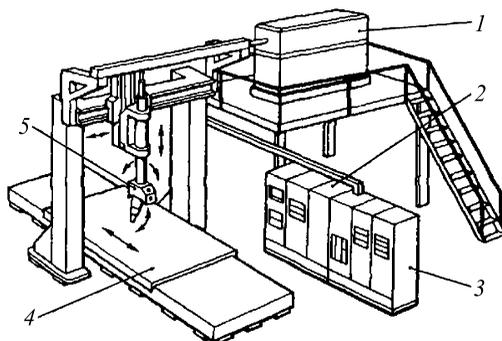


Рис. 2.161. Автоматизированный лазерный технологический комплекс М-25С

лей средних массогабаритных параметров в различных отраслях машиностроения, проведения исследовательских работ и т.д.

Комплекс состоит из позиционного стола 4, на котором закрепляется заготовка (если есть специальное зажимное приспособление), и обеспечивается продольное движение оптико-механического блока 5, в состав которого входят механические приводы и система линз и зеркал, обеспечивающая подачу сфокусированного луча в зону обработки; лазера на CO_2 , генерирующего вынужденное непрерывное монохроматическое излучение с длиной волны $\lambda = 10,6$ мкм (генерирующее устройство 1); блока контроля и управления лазерного комплекса 2; силового блока 3 лазера.

Комплекс высокопроизводительный, быстро перенастраиваемый, легко встраиваемый в гибкие производственные системы.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем сущность лазерной обработки?
2. Какие отверстия обрабатываются с помощью лазеров?
3. Приведите схему обработки лазером.

2.19. Электроискровая и электрохимическая обработка

Электроискровую обработку применяют для получения отверстий круглой, квадратной, шестиугольной и другой формы больших и малых диаметров, с прямой и криволинейной осью, а также для прорезания тонких щелевидных пазов, изготовления сеток и сит, вырезания полостей в ковочных и чеканочных штампах, резки металлов любой твердости, извлечения из отверстий сломанных сверл, метчиков, заточки и доводки режущих инструментов, гравирования, покрытия металлом и др.

Данный способ обработки основан на явлении электрической эрозии. При проскакивании искры между катодом и анодом с последнего вырываются мелкие частицы металла и устремляются к катоду. Вырыв частиц металла под действием электрического тока называют электрической эрозией. Если заготовку, в которой нужно получить отверстие, включить в электрическую цепь в качестве анода и подвести к ней катод так, чтобы между ними проскакивали искры, то начнется разрушение заготовки. Если по мере увеличения углубления медленно опускать катод, то в заготовке получится сквозное отверстие.

стие. Используя явление эрозии, можно получить отверстие в заготовке из материала любой твердости, например из закаленной стали, твердого сплава.

На рис. 2.162 показана принципиальная схема электроискровой установки. Обрабатываемую заготовку 1 устанавливают на дне металлической ванны 3, в которую налит керосин или масло. Электрод 2 вставлен в шпиндель 4, осуществляющий вертикальную подачу. Электрод 2 изолирован от шпинделя 4, и к нему подсоединена отрицательная цепь постоянного тока, а к заготовке — положительная цепь. Электрический ток поступает в сеть от генератора постоянного тока через конденсатор 5. Жидкость, заполняющая ванну, предотвращает переход искры в дугу и облегчает удаление отходов обработки (частиц металла).

Напряжение и сила электрического тока, а также емкость конденсатора могут изменяться в больших пределах в зависимости от вида обработки, металла инструмента и обрабатываемой заготовки. Конденсатор служит для того, чтобы накопить энергию и мгновенно выделить ее в виде сильного искрового разряда.

От параметров электрического режима (напряжения, силы тока и емкости конденсатора) зависят производительность, а также точность и шероховатость получаемых поверхностей: чем больше напряжение, сила тока и емкость конденсатора, тем больше производительность, но точность меньше и шероховатость поверхности больше. При особо слабом режиме можно достигнуть шероховатость поверхности $Ra0,4...0,8$ мкм. Электроискровым способом можно получить отверстия и с криволинейной осью (рис. 2.163), что механическим путем достичь невозможно.

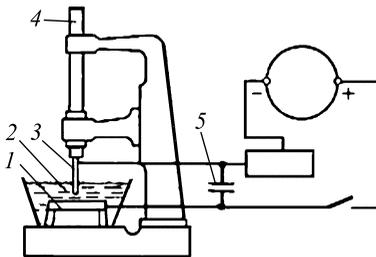


Рис. 2.162. Схема электроискровой установки

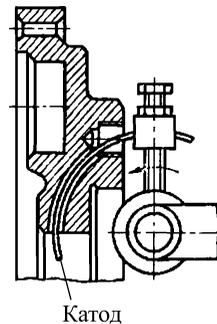


Рис. 2.163. Схема обработки отверстия электроискровым способом

Инструмент-катод изготавливают из латуни, меди, медно-графитовой массы, спрессованной под большим давлением, и из других токопроводящих материалов. Инструмент должен иметь профиль, аналогичный профилю прошиваемого отверстия. При обработке отверстий диаметром больше 6 мм инструмент, как правило, делают пустотелым в виде трубы, что позволяет расходовать меньше электроэнергии. Пустотелыми электродами из листа или полосы вырезают заготовки сложного контура. В этом случае электроискровая обработка заменяет холодную штамповку (вырубку).

Размеры инструмента должны быть несколько меньше размеров отверстия. Зазор между поверхностями инструмента и отверстия зависит от электрического режима обработки и от свойств прошиваемого металла и материала электрода. Например, при прошивании заготовок стальной заготовки латунным электродом зазор принимают 0,05...0,20 мм. Чем чище надо обработать отверстие, тем меньше должен быть зазор.

Широкое распространение получает также электроискровое шлифование. Инструмент-электрод изготавливают из серого чугуна в виде диска, с помощью которого можно обрабатывать любые металлы. Электроискровое шлифование применяют также для заточки режущих инструментов, оснащенных пластинками из твердых сплавов. Этот способ заключается в том, что к затачиваемому резцу 2 (рис. 2.164) присоединяют провод от положительной цепи постоянного тока, а от отрицательной цепи провод присоединяют к чугунному диску 1, вращающемуся со скоростью 12...25 м/с. Установленный и закрепленный в специальном резцедержателе резец подводят к диску так, что между ними остается зазор 0,05...0,2 мм. Через этот за-

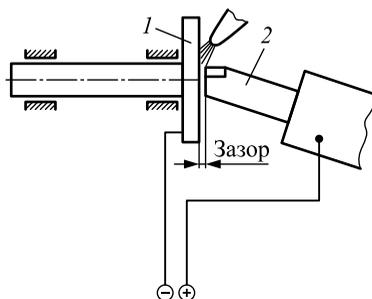


Рис. 2.164. Схема электроискровой заточки резца электроискровым способом

зор проскакивают электрические искры. В результате мельчайшие частицы пластинки из твердого сплава отрываются с заточиваемой поверхности и переносятся по направлению вращающегося диска 2. Эти частицы встречают струю масла, поступающего в зазор между резцом и диском, смываются и удаляются в отстойный бак. Изменяя силу тока и его напряжение, можно регулировать точность заточки.

Электрохимическая обработка основана на анодном растворении металла с прокачкой электролита между заготовкой и электродом. При обработке используют постоянный ток напряжением 12...25 В и дешевый электролит (водный раствор соли). Производительность обработки составляет 0,3...0,5 мм³/мин поверхности заготовки.

Электрохимическая обработка обеспечивает точность порядка 0,1 мм при глубине дефектного слоя 0,005...0,05 мм и шероховатость обработанной поверхности Ra04 мкм. Прокачкой электролита предупреждается осаждение металла на инструменте-катоде. Поэтому инструмент может работать долго, не изменяя формы и размеров.

Контрольные вопросы и задания

1. В каких случаях применяют электроискровую обработку?
2. Расскажите, какие требования предъявляются к инструменту (катоде).

2.20. Анодно-механическая обработка

Способ анодно-механической обработки заготовок применяется при резке металлов, заточке режущих инструментов, обработке различных поверхностей деталей машин.

Схема анодно-механической заточки резца приведена на рис. 2.165. Заточной диск 3 (из меди, стали чугуна) укреплен на шпиндельной головке станка и с помощью скользящего контакта 2 подключен к отрицательному полюсу цепи постоянного тока. Заточиваемый резец 5 зажимают в универсальных тисках, обеспечивающих возможность заточки резца с одного закрепления, и подключают к положительному полюсу. Силу прижатия резца к диску регулируют пружиной 1. В процессе заточки через сопло 4 к месту заточки подается жидкий электролит в количестве 6...10 л/мин. В результате электролиза на поверхности резца образуется пленка, которая удаляется вращающимся диском.

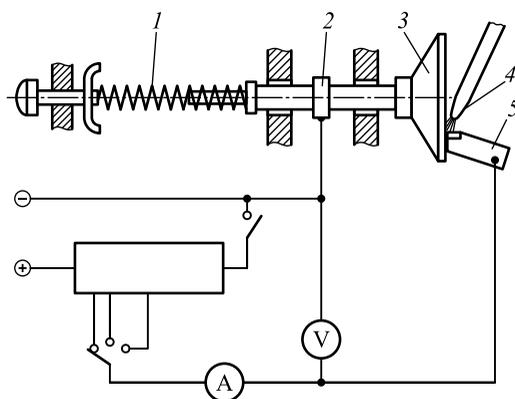


Рис. 2.165. Схема анодно-механической заточки реза электроискровым способом

В отличие от электроискровой обработки, при которой инструмент-электрод не прикасается к поверхности обрабатываемой заготовки и они отделены друг от друга не проводящей электрический ток жидкостью, при анодно-механической обработке инструмент соприкасается с обрабатываемой поверхностью в нескольких точках (выступающими неровностями), а жидкость, находящаяся между ними, проводит электрический ток. На станках для анодно-механической заточки все операции (обдирка, шлифование и доводка) производятся с одной установки реза, меняется лишь электрический режим обработки включением соответствующих сопротивлений. В табл. 2.5 приведен примерный режим при заточке резцов из твердого сплава.

Таблица 2.5. Режим при заточке резцов

Операция	Напряжение	Сила тока	Сопротивление	Производительность
Обдирка	18...20	50...70	0,10...0,15	1,0...15
Шлифование	15...15	13...15	0,5...0,7	0,1...0,2
Доводка	8...12	4...8	2,0	0,03...0,06

При припуске на обработку в пределах 0,5...0,7 мм общее машинное время заточки четырех поверхностей при таких режимах равно 5...7 мин. В процессе заточки после обдирки, окончание которой может быть определено по полному прекращению искрения, инструмент подводят к диску на 0,1...0,2 мм, включают сопротивление, и начинается шлифование. Припуск на шлифование принимается равным примерно 0,1 мм; далее осу-

шествяют доводку; припуск на этот переход принимается равным 0,02...0,04 мм. Окончание шлифования и доводки определяют по электроприборам или по времени обработки. Рабочая жидкость представляет собой водный раствор жидкого стекла.

Заточку инструмента производят на специальных или модернизированных заточных станках 3623, ЗЕ624Э, 3672. Выпускаемые промышленностью анодно-механические станки для заточивания инструмента имеют диск диаметром 150...200 мм при частоте вращения 1250...1440 мин⁻¹.

При использовании анодно-механической заточки и доводки режущих инструментов устраняется необходимость применения дорогостоящих кругов из зеленого карбида кремния.

Резку заготовок производят дисками из стальных листов толщиной 0,5...2 мм. Для дисков диаметром более 400 мм следует применять отожженную холоднокатаную сталь. Разрезаемую заготовку устанавливают на станок в приспособление неподвижно и подсоединяют к положительному полюсу, а отрезной диск – к отрицательному полюсу. Электролит подводят к месту разреза в количестве, зависящем от диаметра разрезаемой заготовки – 8 л/мин при диаметре 30 мм, 20 л/мин – при диаметре 200 мм. Электрический режим выбирают в зависимости от диаметра разрезаемой заготовки. Если напряжение для заготовок приведенных выше диаметров колеблется в пределах 20...28 В, то сила тока должна быть в пределах 400...450 А. Для кругов малого диаметра окружную скорость принимают 7...9 м/с, для кругов диаметром 400...700 – 15...25 м/с. Давление круга на заготовку зависит от прочности образуемой пленки на металле, его принимают в пределах 0,5...2,0 кгс/см².

Производительность при резке металла анодно-механическим способом не зависит от механических свойств разрезаемого металла. Производительность значительно снижается при резке тугоплавких металлов и металлов, обладающих большой теплопроводностью, например заготовки из вольфрама или меди режутся медленнее, чем из стали. Время обработки зависит также от поперечного сечения заготовки, например пруток из стали 50 диаметром 60 мм разрезается за 3 мин.

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите схему анодно-механической заточки реза.
2. Как производится резка стальных листов?

2.21. Ультразвуковая обработка

Ультразвуком называются колебания, распространяющиеся в материальной среде с частотой свыше 16 500 Гц. Для получения ультразвуковых колебаний применяют различные устройства – механические, пьезоэлектрические и чаще магнитострикционные. Принцип работы магнитострикционного устройства основан на том, что под действием магнитного поля образцы из железа, кобальта, никеля и их сплавов изменяют свой размер.

Простейшее магнитострикционное устройство имеет ферромагнитный стержень (рис. 2.166) с катушкой 2, помещенный в поле постоянного магнита 3. По обмотке катушки 2 пропускают переменный ток. Под влиянием возбуждаемого в катушке переменного магнитного поля стержень 1, находящийся в постоянном магнитном потоке, периодически удлиняется и укорачивается на величину Δl одновременно с изменениями переменного тока. Устройство такого типа применяют в станках для ультразвуковой обработки. Ультразвуковые колебания стержня через присоединенный к нему инструмент передаются жидкости, насыщенной абразивным порошком и называемой суспензией. Зерна абразива под действием колебаний стержня приходят в интенсивное движение, ударяются в поверхность обрабатываемой заготовки и отрывают от нее мелкие частицы, удаляемые из зоны обработки вместе с циркулирующей суспензией.

В процессе углубления инструмента на 2...3 мм подача абразивного материала в зону обработки затрудняется и производительность резко снижается. Поэтому абразивный материал должен поступать под торец инструмента непрерывно. Через отверстие в инструменте продукты обработки отсасываются с помощью вакуумного насоса, а суспензия подается в рабочую зону под давлением. Такой способ подачи суспензии повышает производительность в 4–8 раз.

Инструмент для ультразвуковой обработки изготавливают из вязкой стали, он должен иметь форму, соответствующую обрабатываемой поверхности.

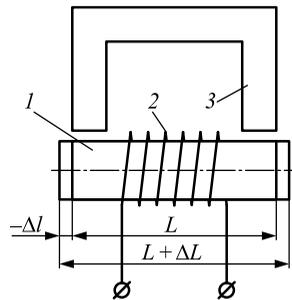


Рис. 2.166. Принципиальная схема магнитострикционного устройства

При ультразвуковой обработке можно получать отверстия различной формы. Важным преимуществом ультразвуковой обработки по сравнению с электроэрозионной или анодно-механической является то, что можно обрабатывать заготовки как из токопроводящих материалов (твердых сплавов), так и токонепроводящих (стекла, керамики). При обработке заготовок из металлов, стекла и керамики в качестве абразивного материала применяют карбид кремния или карбид бора, а при обработке алмаза – алмазную пыль. Производительность ультразвуковой обработки зависит от размеров обрабатываемого отверстия, амплитуды колебаний инструмента, механических свойств материала обрабатываемой заготовки, размера зерна, концентрации суспензии и др.

Таблица 2.6. Влияние величины зерна абразивного материала на точность и шероховатость поверхности

Номер зерна	Точность обработки, мкм	Ra, мкм
10–6	+ 80	0,8...1,6
5	+50	0,4
4–3	+20	0,2
M14	+7,5	0,1

Увеличение размера зерна абразива повышает производительность процесса, но снижает точность обработки и повышает шероховатость поверхности. Влияние величины зерна абразивного материала на точность и шероховатость поверхности показано в табл. 2.6.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем сущность ультразвуковой обработки?
2. Расскажите, какие отверстия можно обрабатывать при ультразвуковой обработке.

2.22. Технология электроэрозионной обработки на станках с ПУ

Разрушение поверхностных слоев материала под воздействием электрических разрядов называется электрической эрозией. На этом явлении основан принцип электроэрозионной обработки (ЭЭО).

Электроэрозионная обработка заключается в изменении формы, размеров, шероховатости и свойств поверхности заготовки под воздействием электрических разрядов в результате электрической эрозии (ГОСТ 25331–82).

Под воздействием высоких температур (рис. 2.167) в зоне разряда 1 происходят нагрев, расплавление и частичное испарение металла 2. Для получения высоких температур в зоне разряда необходима большая концентрация энергии.

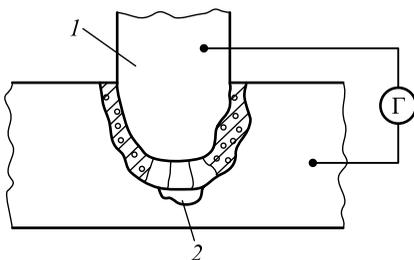


Рис. 2.167. Схема процесса электроэрозионной обработки:
1 – электрод – инструмент – катод; 2 – электрод – изделие – анод; Г – генератор импульсов

Под воздействием гидродинамических сил, возникающих в канале разряда, жидкий и парообразный материал выбрасывается из зоны разряда в рабочую жидкость, окружающую его, и застывает в ней с образованием отдельных частиц. В месте действия импульса тока на поверхности электродов появляются лунки. Таким образом, осуществляется электрическая эрозия токопроводящего материала, представленная на примере действия одного импульса тока на рис. 2.167, и образование одной эрозионной лунки.

Материалы, из которых изготавливается электрод-инструмент, должны иметь высокую эрозионную стойкость. Наилучшие показатели в отношении эрозионной стойкости ЭИ и обеспечения стабильности протекания электроэрозионного процесса имеют медь, латунь, вольфрам, алюминий, графит и графитовые материалы.

Рабочая среда. Рабочие жидкости (РЖ) должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечение высоких технологических показателей ЭЭО;
- термическая стабильность физико-химических свойств при воздействии электрических разрядов с параметрами,

соответствующими применяемым при электроэрозионной обработке;

- низкая коррозионная активность к материалам ЭИ и обрабатываемой заготовки;
- высокая температура вспышки и низкая испаряемость;
- хорошая фильтруемость;
- отсутствие запаха и низкая токсичность.

При электроэрозионной обработке применение получили низкомолекулярные углеводородистые жидкости различной вязкости, вода и в незначительной степени кремнийорганические жидкости, а также водные растворы двухатомных спиртов, дизельное топливо, керосин.

Наиболее распространенными средами являются масло и вода. Масло — деликатная и дружелюбная среда для ЭЭО металла. Высокое удельное сопротивление позволяет генерировать ультрамалые искровые разряды. Электроискровой зазор при резании в масле всегда меньше, чем в воде. В электроэрозионной проволочной вырезке размер инструмента — это диаметр проволоки плюс два зазора. Так как для электроэрозионного разряда в воде нужен больший зазор, то размер ЭИ в воде всегда больше, чем в масле. Другими словами, при том же диаметре проволоки получаемый рез в воде шире, чем в масле. В масле полностью отсутствуют электролитическая эрозия и коррозия поверхности, декарбидизация, выпадение кобальта при обработке твердых сплавов. Качество и стойкость поверхности инструмента после резания в масле существенно выше по сравнению с электроэрозионной вырезкой в воде. В масле стабильная скорость резания даже проволокой самых малых диаметров 0,025...0,03 мм.

Основная причина, почему в электроэрозионных вырезных станках используется вода, — скорость. Современные проволочно-вырезные установки позволяют резать со скоростью 360 мм²/мин (SODICK) и даже 600 мм²/мин (Makino, специальная проволока диаметра 0,4 мм).

Электроды-инструменты. Они должны обеспечивать стабильную работу во всем диапазоне рабочих режимов ЭЭО и максимальную производительность при малом износе. Электроинструменты должны быть достаточно жесткими и противостоять различным условиям механической деформации (усилиям прокатки РЖ) и температурным деформациям.

На поверхности ЭИ не должно быть вмятин, трещин, царапин и расслоения. Поверхность ЭИ должна иметь шероховатость $Ra_{2,5...0,63}$ мкм.

При обработке углеродистых, инструментальных сталей и жаропрочных сплавов на никелевой основе используют графитовые и медные ЭИ. Для черновой ЭЭО заготовок из этих материалов используются ЭИ из алюминиевых сплавов и чугуна, а при обработке отверстий – ЭИ из латуни. При обработке твердых сплавов и тугоплавких материалов на основе вольфрама, молибдена и ряда других материалов широко применяют ЭИ из композиционных материалов, так как при использовании графитовых ЭИ не обеспечивается высокая производительность из-за низкой стабильности электроэрозионного процесса, а ЭИ из меди имеют большой износ, достигающий десятка процентов, и высокую стоимость.

Износ ЭИ зависит от материала, из которого он изготовлен, от параметров рабочего импульса, свойств РЖ, площади обрабатываемой поверхности, а также от наличия вибрации.

На выбор материала и конструкции ЭИ существенное влияние оказывают материал заготовки, площадь обрабатываемой поверхности, сложность ее формы, требования к точности и шероховатости изделия.

Электроэрозионные станки. По функциональному назначению эти станки классифицируют на универсальные, специализированные и специальные.

По технологическому назначению станки делят на прошивочные, шлифовальные, станки для разрезания профильным и непрофильным инструментами. Отдельные группы представляют станки для электроконтактной обработки на воздухе и установки для упрочнения и легирования.

Прошивочные станки предназначены для получения отверстий полостей, углублений. Станки для изготовления полостей профильным ЭИ называют копировально-прошивочными. Универсальные копировально-прошивочные станки позволяют выполнять не только полости, но отверстия любого сечения, наносить на заготовки надписи. Среди электроэрозионного оборудования такие станки встречаются чаще всего.

В табл. 2.7 приведены характеристики некоторых электроэрозионных станков.

Таблица 2.7. Характеристики некоторых электроэрозионных станков

Модель станка	Наименование станка	Назначение и краткая характеристика
4К721АФ1	Электроэрозионный копировально-прошивочный станок. Универсальный	Обработка сложнопрофильных отверстий. Производительность 250 мм ² /мин, шероховатость $Ra_{1,25}$
4Е723-01Ф1	Электроэрозионный копировально-прошивочный станок. Универсальный	Изготовление элементов деталей из труднообрабатываемых сплавов, прореза отверстий. Производительность 1200 мм ² /мин, шероховатость $Ra_{2,5}$
4П724Ф3М	Электроэрозионный станок копировально-прошивочный с ПУ. Универсальный	Изготовление элементов деталей ковочных штампов, прореза фасонных отверстий. Производительность 200 мм ² /мин, шероховатость $Ra_{3,2 + 1,6}$
4531Ф3	Электроэрозионный станок с программным управлением для профильной вырезки	Вырезка проволочным ЭИ деталей вырубных штампов, матриц, шаблонов. Производительность 18 мм /мин, шероховатость $Ra_{1,25}$
4735Ф3М	Электроэрозионный станок, вырезной, высокой точности с ПУ. Специализированный	Вырезка проволочным ЭИ деталей вырубных штампов, матриц, фасонных резцов, шаблонов. Производительность 40 мм ² /мин, шероховатость $Ra_{1,25}$

Конструктивные особенности копировально-прошивочного станка рассмотрим на примере станка SODICK AQ325L (рис. 2.168).

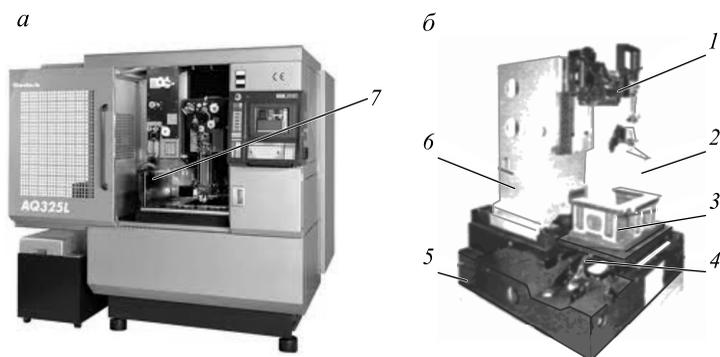


Рис. 2.168. Общий вид станка SODICK AQ325L:

a – внешний вид станка; *б* – вид станка без защитных кожухов, системы ПУ, ванны

На станине 5 установлен рабочий стол 4 для крепления заготовки 3 и колонна 6. Обработка выполняется в ванне 7 с рабочей жидкостью. Электрод-инструмент 2 закреплен в электрододержателе 1. По оси X перемещается стол, по оси Y – колонна, по оси Z – электрододержатель. Механизм электрододержателя имеет дополнительные две оси U и V .

Контрольные вопросы и задания

1. В чем сущность электроэрозионной обработки?
2. Приведите характеристики электроэрозионных станков.

2.23. Общая характеристика процесса электроэрозионной обработки

Типовой технологический процесс ЭЭО заключается в следующем: заготовку фиксируют и жестко крепят на столе станка или в приспособлении. Тяжелые заготовки (весом выше 100 кг) устанавливают без крепления или устанавливают и крепят в электродержателе ЭИ. Затем ванну стакана поднимают и заполняют РЖ выше поверхности обрабатываемой заготовки.

В целях повышения производительности и обеспечения заданной шероховатости поверхности обработку проводят в три перехода: предварительный режим – черновым ЭИ и окончательный – чистовым и доводочным.

Типовые операции электроэрозионной обработки. По технологическим признакам устанавливаются следующие виды ЭЭО:

- отрезка (ЭЭОт);
- объемное копирование (ЭЭОК);
- вырезание (ЭЭВ);
- прошивание (ЭЭПр);
- шлифование (ЭЭШ);
- доводка (ЭЭД);
- маркирование (ЭЭМ);
- упрочнение (ЭЭУ).

Прошивание отверстий. При ЭЭО прошивают отверстия на глубину до 20 диаметров с использованием стержневого ЭИ и до 40 диаметров – трубчатого ЭИ (и до 200 диаметров в специальных прошивочных станках). Глубина прошиваемого отверстия может быть значительно увеличена, если вращать

ЭИ либо обрабатываемую поверхность или то и другое с одновременной прокачкой РЖ через ЭИ или с отсосом ее из зоны обработки. Скорость ЭЭПр достигает 2...4 мм/мин.

Маркирование. Маркирование выполняется нанесением на изделие цифр, букв, фирменных знаков и др. Электроэрозионное маркирование обеспечивает высокое качество, не вызывает деформации металла и не создает зоны концентрации внутреннего напряжения, которое возникает при маркировании ударными клеймами. Глубина нанесения знаков может колебаться в пределах от 0,1 до 1 мм.

Операция может выполняться одним ЭИ и по многоэлектродной схеме. Изготавливаются ЭИ из графита, меди, латуни, алюминия.

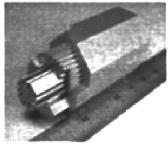
Производительность составляет около 3...8 мм/с. Глубина знаков зависит от скорости движения электрода. При скорости движения электрода более 6 мм/с четкость знаков ухудшается. В среднем на знак высотой 5 мм затрачивается около 4 с.

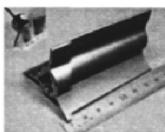
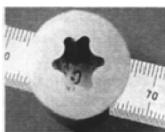
Вырезание. В основном производстве ЭЭВ используют при изготовлении деталей электровакуумной и электронной техники, ювелирных изделий и прочего в инструментальном производстве, при изготовлении матриц, пуансонов, пуансонодержателей и других деталей, а также рабочих элементов вырубных штампов, копиров, шаблонов, цанг, лекал, фасонных резцов и др.

Процесс шлифования применяют для чистовой обработки труднообрабатываемых материалов, магнитных и твердых сплавов, а также деталей, имеющих сложную форму.

Отклонение размеров профиля после электроэрозионного шлифования находится в пределах от 0,004 до 0,05 мм, шероховатость — $Ra_{2,5...0,05}$ мкм, производительность — 260 мм²/мин. Примеры обработки приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8. Примеры обработки с использованием станка Sodic AQ325L

Сталь	Время обработки	Параметры поверхности	
		Точность обработки, мм	Ra , мкм
1	2	3	4
	3 ч 10 мин	$\pm 0,003$	0,47

1	2	3	4
	5 ч 20 мин	$\pm 0,002$	0,16
	5 ч 25 мин	$\pm 0,001$	0,046
	10 ч	—	0,35
	4 ч 30 мин	—	0,24

Контрольные вопросы и задания

1. Охарактеризуйте типовой процесс электроэрозионной обработки.
2. Какова характеристика типовых операций электроэрозионной обработки?

2.24. Преимущества и недостатки электроэрозионной обработки

Необходимо отметить основные достоинства и недостатки электроэрозионной обработки.

Преимущества электроэрозионной обработки:

- возможность обработки токопроводящих материалов практически с любыми физико-механическими свойствами;
- обработка без механических усилий и без непосредственного механического контакта обрабатывающей поверхности инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки, что

значительно увеличивает сроки эксплуатации применяемого оборудования;

- большие технологические возможности изменения формы, размеров, шероховатости и свойств обрабатываемых поверхностей заготовок, позволяющие использовать ЭЭО практически во всех отраслях народного хозяйства: машино- и приборостроении, медицине и др.;

- возможность получения сложных по форме поверхностей с высокими технологическими показателями при сравнительно простой кинематике процессов;

- значительно меньшая зависимость основных технологических показателей процессов ЭЭО от физико-механических свойств обрабатываемого материала;

- минимальное влияние технологических особенностей процессов на механические свойства и эксплуатационные характеристики деталей после ЭЭО;

- относительная простота, низкая себестоимость и высокая стойкость применяемого инструмента;

- возможность многократного применения инструмента (использование износившегося электрода на черновых проходах);

- возможность механизации и автоматизации основных технологических переходов вплоть до использования робототехнических средств;

- возможность изготовления деталей по безлюдным технологиям (без участия оператора);

- возможность многостаночного обслуживания.

Недостатки электроэрозионной обработки:

- относительная громоздкость применяемого технологического оборудования и оснастки, необходимость применения специальных источников электропитания, устройств для подачи, сбора, хранения и очистки рабочих жидкостей;

- повышенная энергоемкость используемого оборудования;

- необходимость размещения технологического оборудования в отдельных помещениях с учетом повышенной пожарной опасности и выполнения требований безопасности труда и промышленной санитарии;

- невысокая производительность обработки;

- обработка только токопроводящих материалов.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем преимущества электроэрозионной обработки?
2. Назовите основные недостатки электроэрозионной обработки.

3.1. Основные положения и определения технологического процесса сборки

Машины, механизмы и установки, агрегаты или детали в процессе их производства на машиностроительном предприятии являются изделиями.

Изделие – предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Изделия в зависимости от их назначения делят на изделия основного и вспомогательного производства.

Различают специфицированные и неспецифицированные изделия.

Специфицированное изделие состоит из нескольких частей. Неспецифицированное изделие не имеет составных частей. Перечисленные ниже виды изделий установлены стандартами.

Деталь – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций (например, валик из одного куска металла, литой корпус и т.п.). У каждой детали, участвующей в сборке, имеются сопрягающиеся и несопрягающиеся поверхности.

Первые при сборке соприкасаются с поверхностями других деталей, образуя соответствующие сопряжения. При этом разные сопрягающиеся поверхности могут иметь различное назначение. Одни из них служат для присоединения данной детали к другим деталям (например, нижняя плоскость передней бабки токарного станка сопрягается с соответствующей поверхностью станины и определяет этим положение передней бабки относительно станины; шейки шпинделя станка, сопрягаясь с отверстиями вкладышей подшипников, определяют положение шпинделя станка; хвостовик турбинной лопатки, сопрягаясь с соответствующими пазами ротора, задает конкретные положения турбинной лопатки и т.д.). Такие поверхности называются основными базами.

Другие сопрягаемые поверхности служат для присоединения к данной детали других деталей сборочного соединения и носят название вспомогательных баз (например, поверхность станины, на которую опирается основная база передней бабки

станка (ее нижняя плоскость), является вспомогательной базой станины; отверстие вкладыша подшипника, в котором устанавливается шпиндель станка, является вспомогательной базой вкладыша и т.д.). Таким образом, при сборке соединений основные базы одной детали опираются на вспомогательные базы другой.

Сопрягающиеся поверхности, имеющие назначение выполнять некоторые рабочие функции (поверхность шкива, соприкасающаяся с приводным ремнем; поверхность резьбы в винтовых механизмах; рабочая поверхность турбинной лопатки, соприкасающаяся с рабочим паром или газовой смесью и т.п.), называются функциональными (исполнительными или рабочими).

Функциональные (исполнительные) поверхности детали могут быть и несопрягающимися (например, отражательная поверхность зеркала и т.п.).

Остальные поверхности детали являются несопрягающимися («свободными») и служат лишь для оформления требуемой конфигурации детали. Они часто не обрабатываются или обрабатываются с пониженной точностью для предотвращения отрыва от необработанной поверхности окалины или для уравнивания и балансировки быстровращающихся деталей.

Согласно ГОСТ 19152–83 в состав технических характеристик изделия должны входить показатели его ремонтной пригодности.

Основные показатели ремонтпригодности изделия:

- характеристика условий эксплуатации и ремонта;
- условия выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту, в том числе квалификация и состав персонала, который эксплуатирует и ремонтирует изделия;
- система материально-технического обеспечения эксплуатации и ремонта;
- средняя трудоемкость ремонта и технического обслуживания;
- ограничение номенклатуры специального инструмента и приспособлений при техническом обслуживании и ремонте;
- ограничение типоразмеров крепежных деталей;
- широкое использование стандартизованных и унифицированных частей изделия;
- требования к рациональным методам и средствам контроля технического состояния изделия в процессе эксплуатации и ремонта;

- требования к доступности, легкосъемности и взаимозаменяемости деталей, сборочных единиц и комплексов при техническом обслуживании и ремонте;
- требования к выполнению регулировочно-доводочных работ в процессе технического обслуживания и ремонта;
- требования к конструкции изнашивающихся деталей применительно к восстановлению изделия до первоначальных размеров с применением прогрессивной технологии восстановительных работ.

Базовые детали – детали с базовыми поверхностями, выполняющие в сборочном соединении (узле) роль соединительного звена, обеспечивающего при сборке соответствующее относительное положение других деталей. Применительно к общей сборке изделия, когда основными сборочными элементами являются уже собранные сборочные соединения (узлы), одно из этих соединений, удовлетворяющее изложенному выше требованию (сформулированному для базовой детали), называется базовым сборочным соединением (базовым узлом).

Сборочная единица (узел) – часть изделия, которая собирается отдельно и в дальнейшем участвует в процессе сборки как одно целое. Составные части сборочной единицы подлежат на предприятии-изготовителе соединению между собой сборочными операциями (свинчиванием, склеиванием, клепкой, прессовкой и т.п.), например собираются шпиндельный узел, коробка скоростей, ротор турбины, составной коленчатый вал и т.п.

Сборочные единицы (узлы), в процессе общей сборки непосредственно входящие в изделие, называются сборочными единицами 1-го порядка. Сборочные единицы, входящие в сборочную единицу 1-го порядка, называются сборочными единицами 2-го порядка и т.д.

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Согласно ГОСТ 2.101–83 устанавливаются следующие виды изделий: детали, сборочные единицы, комплекты, комплексы. Детали (например, крепежные) могут входить в сборочные единицы любого порядка или непосредственно в собираемое изделие (рис. 3.1).

Собранное изделие может рассматриваться как сборочная единица 0-го порядка.

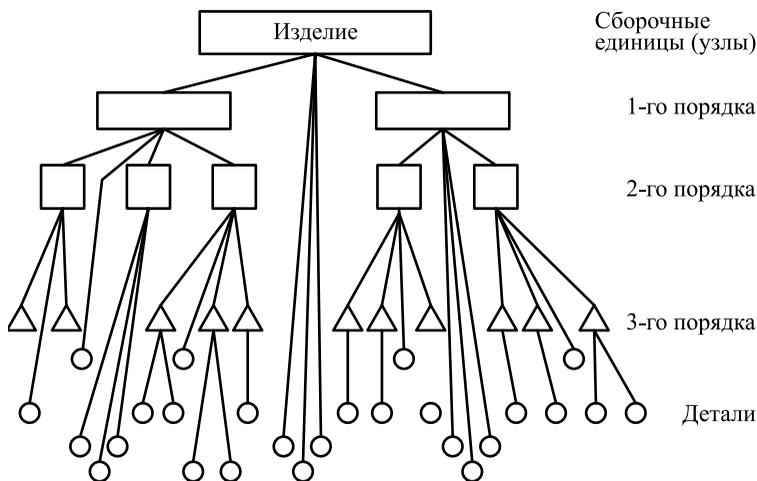


Рис. 3.1. Схема сборочных элементов

Сборочный комплект — группа составных частей изделия, которые необходимо подать на рабочее место для сборки изделия (ГОСТ 3.1109–82).

Объектами производства машиностроительных предприятий могут быть комплексы и комплекты изделий, кроме отдельных машин и их частей.

Комплекс — два и более специфицированных (состоящих из двух и более составных частей) изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, например автоматическая линия, цех-автомат, станок с ПУ с управляющими панелями и т.п.

Комплект — два и более изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих собой набор изделий, которые имеют общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например комплекты запасных частей, инструмента и принадлежностей, измерительной аппаратуры, упаковочной тары и т.п.

Комплектуемое изделие — изделие предприятия-поставщика, применяемое как составная часть изделия, выпускаемого предприятием-изготовителем. Составными частями изделия могут быть детали и сборочные единицы (ГОСТ 3.1109–82).

Для построения эффективного технологического процесса сборки необходимо расчленить изделие на ряд сборочных единиц и деталей. Такое расчленение производится на стадиях конструкторской подготовки производства при разработке конструкции изделия (см. рис. 3.1). При этом составные части (сборочные единицы) могут быть спроектированы с учетом конструктивных или технологических требований. В соответствии с требованиями различают конструктивные сборочные единицы и технологические сборочные единицы, или узлы.

Конструктивная сборочная единица — единица, спроектированная лишь по функциональному принципу без учета особого значения условий независимой и самостоятельной сборки. Примером таких сборочных единиц могут быть механизмы газораспределения, системы топливопроводов и маслопроводов двигателя и т.п.

Технологическая сборочная единица, или узел, — сборочная единица, которая может собираться отдельно от других составных частей изделия (или изделия в целом) и выполнять определенную функцию в изделиях одного назначения только совместно с другими составными частями (ГОСТ 23887–79). На рис. 3.2 представлена схема расчленения консольно-фрезерного станка.

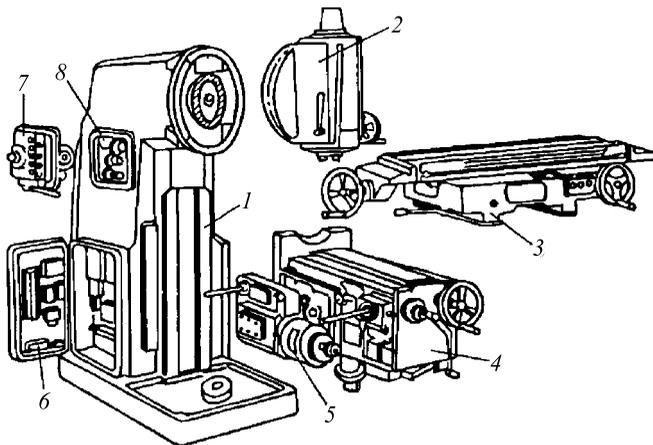


Рис. 3.2. Схема расчленения консольно-фрезерного станка:
 1 — станина; 2 — поворотная головка; 3 — стол и салазки; 4 — консоль; 5 — коробка подач;
 6 — электрооборудование; 7 — коробка переключений; 8 — коробка скоростей

Наилучшим вариантом конструкции является сборочная единица, которая отвечает условию функционального назначения ее в изделии и условию самостоятельной независимой сборки. Это так называемая *конструктивно-технологическая сборочная единица*. К таким единицам можно отнести насосы, клапаны, вентили, коробки скоростей, коробки передач и т.п.

Принцип конструирования изделий из таких единиц называется агрегатным или блочным. Из конструктивно-технологических сборочных единиц формируются агрегаты.

Агрегат — сборочная единица, обладающая полной взаимозаменяемостью, возможностью сборки отдельно от других составных частей изделия (или изделия в целом) и способностью выполнять определенную функцию в изделии или самостоятельно. Сборка изделия или его составной части из агрегатов называется агрегатной или модульной.

Агрегатно-сборочная единица обладает полной взаимозаменяемостью, возможностью сборки отдельно от других составных частей изделия и способностью выполнять определенную функцию в изделии самостоятельно.

Преимущества агрегатного (модульного) принципа проектирования:

- лучшие технико-экономические показатели как в изготовлении, так и в эксплуатации и ремонте;
- сокращение цикла сборки;
- повышение качества сборки (каждая сборочная единица может быть испытана независимо от других единиц);
- улучшение условий эксплуатации (замена отдельных частей);
- упрощение организации ремонта за счет уменьшения количества изделий;
- ремонт каждого агрегата может быть проведен в отдельности.

Пример агрегатной (модульной) конструкции авиационного двигателя показан на рис. 3.3.

Каждая сборочная единица включает определенные виды соединения деталей. По возможности относительного перемещения составных частей соединения подразделяются на подвижные и неподвижные.

По сохранению целостности при сборке соединения подразделяются на разъемные и неразъемные. Соединение счи-

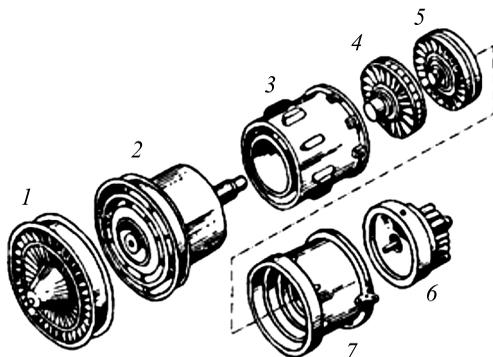


Рис. 3.3. Модульная конструкция авиационного двигателя:
 1 – вентилятор; 2 – компрессор среднего давления; 3 – переходный модуль; 4 – турбина привода компрессора среднего давления; 5 – турбина привода вентилятора; 6 – коробка приводов; 7 – компрессор и турбина высокого давления

тается разъемным, если при его разборке сохраняется целостность составных частей, и неразъемным, если при его разборке составные части повреждаются и их целостность нарушается.

При этом соединения могут быть: неподвижными разъемными (резьбовые, пазовые, конические); неподвижными неразъемными (соединения запрессовкой, развальцовкой, клепкой); подвижными разъемными (подшипники скольжения, плунжеры-втулки, зубья зубчатых колес, каретки-станины); подвижными неразъемными (подшипники качения, запорные клапаны).

Количество разъемных соединений в современных машинах и механизмах составляет 65...85% от всех соединений.

Неразъемные соединения в процессе эксплуатации и ремонта нередко подвергаются разборке, вызывающей большие затруднения и часто приводящей к порче сопряженных поверхностей (одной или обеих деталей соединения), а также к дополнительной пригонке, доработке или замене.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы основные положения и определения технологического процесса сборки?
2. Назовите виды соединений при сборке.

3.2. Проектирование технологических процессов сборки

При проектировании технологических процессов сборки исходными данными служат сборочные чертежи изделия, спецификация входящих в узлы деталей, технические требования приемки изделия и узлов, размер производственного задания и срок его выполнения, условия выполнения сборочных работ. В результате изучения сборочных и рабочих чертежей, служебного назначения изделия, размерного анализа сборочных единиц намечают с учетом программы выпуска изделия основные этапы проектирования сборочного процесса.

Сборка — образование разъемных или неразъемных соединений составных частей заготовки или изделия. *Узловая сборка* — сборка, объектом которой является составная часть изделия. *Общая сборка* — сборка, объектом которой является изделие в целом. *Сборочный комплект* — группа составных частей изделия, которые необходимо подать на рабочее место для сборки изделия или его составной части.

Сборочные работы являются заключительным этапом в производственном процессе, предусматривающем получение готовых изделий путем соединения отдельных деталей. Качество выполнения сборочных работ значительно влияет на эксплуатационные качества собранной машины, на ее надежность и долговечность. При достаточно точно изготовленных деталях, но при недостаточно тщательном и правильном соединении их собранное изделие не может обладать необходимыми эксплуатационными качествами и работать надежно. Трудоемкость сборочных работ в машиностроении составляет 20...30% общей трудоемкости изготовления изделия. Выбор организационной формы сборки определяется заданной программой выпуска изделий: при единичном производстве обычно применяют непоточную (стационарную) сборку, при серийном и массовом — поточную.

Непоточная (стационарная) сборка характеризуется выполнением сборочных операций на постоянном рабочем месте, к которому подаются детали и узлы (подузлы) собираемой машины. При такой форме организации требуется высокая квалификация сборщиков, а цикл сборки отличается большой продолжительностью.

Поточная сборка бывает двух видов: подвижная (на подвижных стендах) и неподвижная (на неподвижных стендах).

Поточная подвижная сборка осуществляется путем перемещения собираемого объекта на непрерывно движущемся конвейере, на конвейере с периодическим перемещением; путем последовательной передачи собираемых объектов по операциям с помощью механических устройств; с передачей объектов сборки вручную – по роликовому конвейеру на тележках, по лотку. Подвижная поточная сборка применяется в серийном, крупносерийном и массовом производстве.

Поточная неподвижная сборка характерна для серийного и мелкосерийного производства при значительной длительности отдельных операций, особенно в процессе сборки изделий большой массы. В этом случае каждый рабочий (или бригада рабочих) выполняет определенную операцию, переходя от одного сборочного стенда к другому.

При поточной сборке процесс должен быть расчленен на операции таким образом, чтобы операционное время каждой операции было близко или кратно такту сборки. Это необходимо для достижения синхронизации операций, т.е. для приведения операционного времени в соответствие с тактом сборки. Если, например, операционное время на одной из операций превышает такт сборки в 2 раза, то работа на данной операции организуется соответственно на двух параллельных рабочих местах.

Поточная сборка с применением транспортирующего устройства – конвейера может осуществляться при его непрерывном или периодическом движении.

Число сборочных мест (станций) определяется числом сборочных и контрольных операций, а также числом резервных мест, предусмотренных проектом.

Сборочные работы выполняют в сборочных отделениях и цехах завода. Место и организация выполнения сборочных работ определяют характер выпускаемых изделий, технологических процессов, объем производства. При единичном, мелкосерийном и серийном производстве узловую и общую сборку производят в сборочных цехах или сборочных отделениях механосборочных цехов. При крупносерийном и массовом производстве узловую сборку изделий производят в конце поточных линий или в отделениях механического цеха, в которых обрабатывают заготовки. В этом случае общую сборку машины выполняют в сборочном цехе. Основой для проектирования технологического процесса сборки являются:

- чертежи сборочные, общих видов сборочных единиц и изделий;
- технические условия на приемку и испытание сборочных единиц и изделий;
- производственная программа;
- спецификация поступающих на сборку сборочных единиц и деталей.

На чертежах, необходимых для проектирования технологических процессов сборки, должны быть указаны допуски на размеры, определяющие взаимное расположение деталей, конструктивные зазоры, а также особые требования, касающиеся сборки. На чертежах должны быть даны все проекции и разрезы, необходимые для полного понимания и ясного представления конструкций собираемых сборочных единиц и целой машины.

Технологический контроль сборочных чертежей осуществляют с целью проверки, содержат ли они все необходимые для процесса сборки сведения, обеспечивающие правильность сборки.

Размерной цепью называется замкнутая цепь взаимно связанных размеров, расположенных в определенной последовательности, определяющих взаимное положение поверхностей и осей двух или несколько деталей. Размерная цепь состоит из отдельных размеров, которые называются звеньями размерной цепи. Все звенья размерной цепи обозначают буквами русского алфавита с цифровым индексом, показывающим порядковый номер звена ($A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$ и т.д.), и подразделяют на исходное или замыкающее звено и составляющие звенья. Исходным называется такое звено, по номинальному размеру и допуску которого рассчитывают величины номинальных размеров и допуски всех остальных звеньев размерной цепи. Замыкающим называется такое звено, которое при построении и расчете размерной цепи получается последним при известных размерах и допусках всех остальных звеньев цепи. Исходное или замыкающее звено в отличие от других звеньев обозначается индексом с соответствующей буквой русского алфавита A_{Δ}, B_{Δ} и т.д. Все звенья размерной цепи, по размерам которых определяют исходное или замыкающее звено, называют составляющими. Составляющие звенья подразделяют на увеличивающие, с возрастанием которых увеличивается замыкающее звено, и уменьшающие, с возрастанием которых замыкающее звено уменьшается.

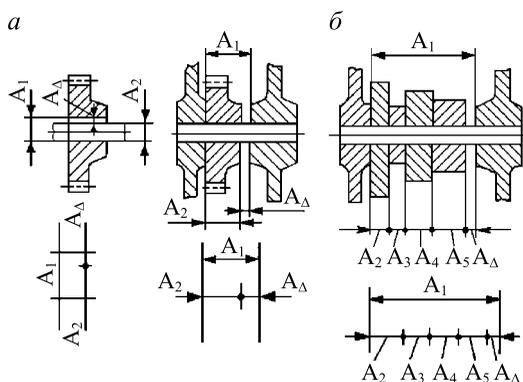


Рис. 3.4. Трехзвенные (а) и многозвенные (б) размерные цепи и их схемы

В зависимости от числа размеров, входящих в размерную цепь, размерные цепи могут быть простыми и сложными (многозвенными). Многозвенные цепи для упрощения могут быть приведены к более простым размерным цепям, содержащим меньшее число звеньев, путем суммирования нескольких размеров в один, т.е. замены нескольких звеньев одним. Для наглядности и упрощения размерные цепи иногда изображают в виде схем. На рис. 3.4 показаны трехзвенные и многозвенные размерные цепи и их схемы. При построении размерных цепей зазоры рассматривают как самостоятельные звенья цепи.

Основное свойство размерных цепей заключается в их замкнутости, определяемой наличием двух ветвей. Первую ветвь размерной цепи, с которой начинается ее построение и в которую входят увеличивающие звенья, называют основной; вторую ветвь, в которую входят уменьшающие звенья и замыкающее звено, называют замыкающей.

Замыкающим звеном в представленной справа размерной цепи является $A_{\Delta} = A_1 - (A_2 + A_3 + A_4 + A_5)$.

Между размерными цепями в конструкции могут быть три вида связей: параллельный, последовательный, комбинированный. При параллельном виде связей несколько размерных цепей имеют одно или несколько общих звеньев (рис. 3.5).

Последовательный вид связей предусматривает построение каждой

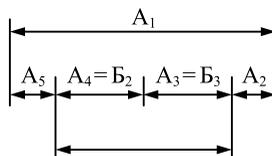


Рис. 3.5. Схема размерных цепей при параллельном виде связей

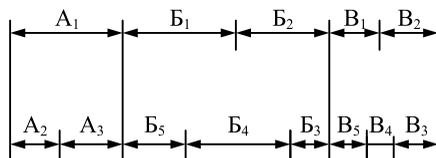


Рис. 3.6. Схема размерных цепей при последовательном виде связей

последующей цепи от базы, полученной от построения предыдущей размерной цепи (рис. 3.6). При комбинированном виде связей в конструкции имеют место оба предыдущих вида связей — параллельный и последовательный.

Для достижения необходимой точности имеют большое значение звенья размерных цепей, которые являются общими у нескольких цепей. Эти общие звенья следует принимать в качестве основных, и с них необходимо начинать построение размерных цепей. Так как при обработке заготовок размеры их отклоняются от номинальных размеров вследствие погрешностей обработки, вызываемых влиянием различных факторов, то кроме равенства, связывающего номинальные размеры звеньев, необходимо соблюдать следующие равенства, связывающие погрешности и допуски на размеры деталей.

Погрешность размера замыкающего звена размерной цепи равна сумме погрешностей всех составляющих звеньев:

$$\omega_{\Delta} = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_{m-1} = \sum_{i=1}^{i=m-1} \omega_i,$$

где ω_i — погрешность i -го звена размерной цепи; m — общее число звеньев размерной цепи (включая замыкающее звено).

Этим уравнением пользуются для расчета возможной величины замыкающего звена (например, зазора), когда известны погрешности обработки отдельных деталей, размеры которых входят в размерную цепь.

Допуск замыкающего звена размерной цепи равен сумме допусков всех составляющих звеньев:

$$\delta_{\Delta} = \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_{m-1} = \sum_{i=1}^{i=m-1} \delta_i.$$

Этим уравнением пользуются для назначения допусков на размеры деталей, входящих в размерную цепь, если задана величина замыкающего звена (например, зазора).

Если известен допуск замыкающего звена, а допуски составляющих звеньев неизвестны, то в этом случае полагают, что все составляющие звенья в равной степени влияют на величину допуска замыкающего звена, и, следовательно, величины их допусков могут быть равны. При этом условии средняя величина допуска

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{\delta_{\Delta}}{m-1}.$$

Если величина $\delta_{\text{ср}}$ оказывается экономически приемлемой в производственных условиях, ее корректируют для каждого из составляющих звеньев размерной цепи. После корректировки величины допусков, установленных для всех составляющих звеньев, должны удовлетворять равенству

$$\delta_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^{i=m-1} .$$

Из указанных уравнений следует, что точность соединения деталей и координирование поверхностей или осей достигается в большей степени короткими размерными цепями, т.е. цепями, состоящими из наименьшего числа звеньев.

Достижение заданной точности замыкающего звена размерной цепи при сборке машины может быть осуществлено методами:

- полной взаимозаменяемости;
- неполной взаимозаменяемости;
- групповой взаимозаменяемости (селективная сборка);
- пригонки (изготавливание «по месту»);
- регулирования (применение подвижных и неподвижных компенсаторов).

Метод полной взаимозаменяемости заключается в том, что все детали, размеры которой составляют размерную цепь, без какого-либо подбора или подгонки обеспечивают достижение заданной точности замыкающих звеньев всех размерных цепей. Этот способ является наиболее прогрессивным и в то же время простым и экономичным для технологического процесса сборки машин. Он позволяет организовать процесс сборки по принципу потока, изготавливать запасные детали и запас-

ные сборочные единицы, агрегаты на основе кооперирования специализированных заводов, выпускающих отдельные детали и сборочные единицы тех или других машин. Этот метод используют в массовом и крупносерийном производстве.

Метод неполной взаимозаменяемости заключается в том, что, используя некоторые положения теории вероятности, допуски на размеры деталей, составляющие размерную цепь, расширяют, идя на риск получения некоторого относительно небольшого процента собранных сборочных единиц, у которых допуск замыкающего звена выйдет за пределы допускаемой по техническим условиям величины. Этот метод обеспечивает значительный экономический эффект для обработки резанием, так как благодаря расширению допусков на отдельные детали обработка их упрощается и обходится дешевле. Сборочные единицы, оказавшиеся негодными по техническим условиям, не являются браком, а подлежат разборке на отдельные детали, которые затем поступают снова на сборку.

Метод групповой взаимозаменяемости заключается в том, что детали, размеры которых входят в размерную цепь, сортируют по размерам на несколько групп в пределах полей допусков. Такой метод позволяет при сравнительно невысокой точности деталей достигнуть повышенной точности замыкающего звена, так как необходимый допуск его достигается путем сборки деталей, входящих в одну группу сортировки; такая сборка называется селективной. Этот метод применяют в серийном и массовом производстве. Таким методом на автомобильных заводах собирают поршни с цилиндрами двигателей, поршневые пальцы с поршнями, сортируя их на три-пять групп.

Метод пригонки, или изготовливание «по месту», заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена достигается путем изменения размера одного из звеньев снятием стружки – подрезкой, припиливанием, шабрением и т.д. Этот метод требует значительной затраты ручного труда высококвалифицированных рабочих-сборщиков, является не экономичным для сборочного цеха; при недостаточной квалификации исполнителей снижается качество собранного механизма или машины. Его применяют при мелкосерийном и единичном производстве для точного изготовливания деталей, входящих в цепи с большим числом звеньев.

Метод регулирования состоит в том, что требуемая точность замыкающего звена достигается изменением размера одного

из звеньев цепи без снятия стружки; размер изменяют перемещением детали, положение которой определяет размер данного звена, или введением дополнительной детали, которую заранее изготавливают с разными отклонениями от номинального размера (обычно несколько сотых). В первом случае перемещаемая деталь называется подвижным компенсатором (на рис. 3.7, *а* обозначена $K_{П}$), во втором случае дополнительная деталь называется неподвижным компенсатором (на рис. 3.7, *б* обозначена $K_{М}$). В качестве дополнительных деталей применяют прокладки, проставочные кольца, втулки и т.п.

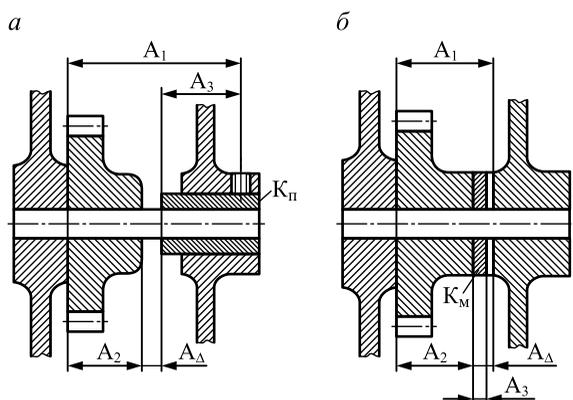


Рис. 3.7. Размерные цепи

Подвижные компенсаторы позволяют получить высокую точность размерной цепи, поддерживать эту точность размерной цепи при эксплуатации, когда размеры отдельных звеньев вследствие износа изменяются. При подвижных компенсаторах отпадает необходимость в пригоночных работах, рабочему приходится только регулировать положение подвижного компенсатора, контролируя величину замыкающего звена измерительными инструментами. В случае неподвижного компенсатора рабочий сначала измеряет величину замыкающего звена, а затем подбирает из имеющегося комплекта подходящий по размеру неподвижный компенсатор. Таким образом, метод регулирования является экономичным способом достижения высокой точности размерных цепей.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите исходные данные при проектировании процессов сборки.
2. От каких факторов зависит выбор допусков и посадок, определяющих положение деталей и сборочных единиц относительно друг друга?
3. В чем заключается метод полной взаимозаменяемости?

3.3. Периоды сборочного процесса

Сборка — это образование разъемных или неразъемных соединений составных частей заготовки или изделий. Для рациональной организации сборочных работ процесс сборки машин подразделяют на сборку комплектов, сборочных единиц, агрегатов и общую сборку. Из агрегатов (механизмов) сборочных единиц и отдельных деталей собирают изделие.

Сборочный процесс состоит из последовательных периодов:

- ручная слесарная обработка и подготовка к сборке отдельных деталей — зачистка заусенцев, снятие фасок (применяют преимущественно в единичном и мелкосерийном производстве);
- соединение деталей в сборочные единицы, комплекты, агрегаты (механизмы);
- общая сборка — сборка всей машины;
- регулирование — установка и выверка правильности взаимодействия частей машины.

Для наглядного представления, удобства планирования и выполнения сборочного процесса следует составлять его графическую схему. Схема сборки задней бабки токарного станка приведена на рис. 3.8. На схеме у кружков, обозначающих детали, указывают номера чертежей деталей; в обозначениях сборочных единиц ставятся номера сборочных чертежей, а в обозначениях агрегатов (механизмов) — литеры (или номера) агрегатов (механизмов).

Трудоемкость сборки машины на сборочном месте (стенде) уменьшается:

- обработкой заготовок по принципу взаимозаменяемости, исключаяющей ручную слесарную обработку и подгонку размеров деталей по месту;
- применением в возможно большей степени предварительной сборки деталей в сборочные единицы и сборочных единиц в агрегаты вне места общей сборки всей машины;

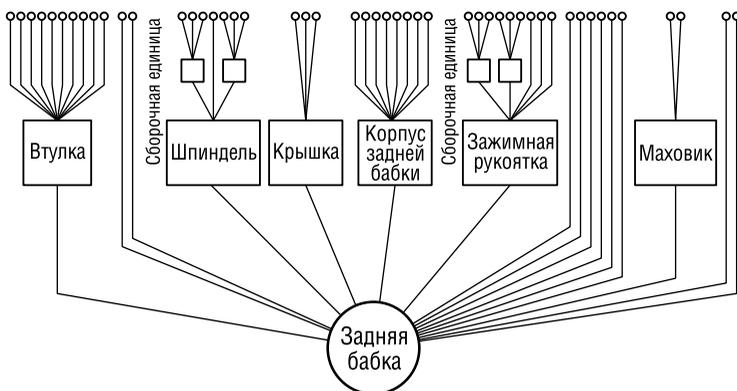


Рис. 3.8. Схема сборки задней бабки токарного станка

- обеспечением своевременной подачи деталей, сборочных единиц, материалов, инструментов и приспособлений к сборочному месту;
- широким применением механизированных инструментов и специальных приспособлений для уменьшения затрат времени на выполнение сборочных операций;
- применением поточного метода сборки для уменьшения времени на сборку всей машины, если это возможно по характеру производства.

Контрольные вопросы и задания

1. Укажите, из каких последовательных периодов состоит сборочный процесс.
2. От каких факторов зависит трудоемкость сборки машины?

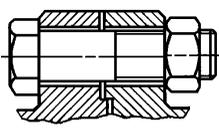
3.4. Технологическая документация процесса сборки

Технологический процесс сборки оформляется в виде маршрутных и операционных карт, которые являются основными расчетными документами. Применяемые формы карт имеют различный вид, но общая структура их на большинстве заводов примерно одинакова. Для каждой стадии сборки разрабатывают комплект технологических карт. Карты должны содержать название машины, годовой выпуск машин, число машин в партии, название и описание операции и перехода для каждой ста-

дии сборки, указание рабочего места, на котором производят сборку, перечень требуемых приспособлений, инструментов, транспортных устройств, время на выполнение отдельных операций, общее время выполнения данной операции, разряд работы. В некоторых случаях в картах помещают эскизы, иллюстрирующие сборочные операции, приспособления, способы закрепления троса или цепи для подъема и поворота изделия.

При проектировании сборочных процессов (особенно единичного, мелкосерийного и серийного производства) нормирование сборочных работ обычно производят по практическим данным передовых заводов, выпускающих аналогичные изделия, причем эти данные корректируют с учетом применения более совершенных технологических методов и улучшения организационных форм производства. Более точно нормы времени на сборочные работы определяют на основании детальных расчетов по отдельным переходам и приемам. Использование нормативных материалов облегчает и ускоряет нормирование сборочных работ. В качестве примера в табл. 3.1 приведены укрупненные нормативы времени на сборку резьбового соединения с нормальной гайкой в условиях мелкосерийного производства. Содержание работы: вставить болт в отверстие и наживить гайку вручную, а затем завернуть гайку ключом.

Таблица 3.1. Время на сборку одного резьбового соединения, мин

Диаметр резьбы, мм, до		Длина навинчивания гайки, мм					
		5	10	15	20	25	30
	M3	0,3	0,4	0,45	—	—	—
	M5	—	0,35	0,4	0,5	—	—
	M6	—	0,32	0,35	0,45	0,55	—
	M8	—	0,25	0,3	0,4	0,5	—
	M10	—	0,35	0,4	0,5	0,6	0,7
	M11	—	—	0,45	0,55	0,65	0,75

Масштабы выпуска изделий даже в условиях одного и того же типа производства существенно влияют на продолжительность сборки. С увеличением масштаба производства время на сборку единицы продукции уменьшается, а производительность труда растет. В связи с этим разработаны поправочные коэффициенты к нормативам оперативного и вспомогательного времени, учитывающие эту зависимость.

Для крупносерийного производства эти коэффициенты приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Коэффициенты для крупносерийного производства

Число изделий, выпускаемых в смену с конвейера, шт.	5	10	15	20	40
Поправочный коэффициент	1,1	1,05	1,0	0,95	0,9

Контрольные вопросы и задания

1. Какая технологическая документация применяется при сборке?
2. Расскажите, в чем сущность нормирования сборочных работ.

3.5. Формы организации сборочных работ

Стационарная сборка может быть подразделена на поточную и непоточную. При стационарной поточной сборке каждый рабочий или каждая бригада, называемые скользящими, выполняют соответственно одну или несколько операций, переходя последовательно от одного сборочного места к другому. Эту форму используют в основном при серийной сборке крупных тяжелых машин (стационарных дизелей, крупных насосов и компрессоров, полиграфических машин и др.). Такую сборку целесообразно применять в двух случаях: когда экономически не оправдывается изготовление специальных транспортных устройств и когда в процессе перемещения может быть нарушена точность сборки.

Подвижная сборка может осуществляться свободным или принудительным передвижением собираемого объекта. При свободном передвижении собираемый объект перемещают вручную по верстаку, рольгангу или на тележках. При принудительном движении собираемый объект перемещается конвейером. Для сборки средних и мелких изделий применяют горизонтально- и вертикально-замкнутые конвейеры. Вертикально-замкнутые конвейеры применяют в тех случаях, когда начальный пункт сборки изделия находится в одном конце конвейера, а конечный пункт сборки в другом, горизонтально-замкнутые — когда начальные и конечные пункты сборки расположены близко один от другого и конвейер должен обслуживать большое число рабочих мест, расположение которых по одной прямой потребовало бы производственного помещения очень большой длины. Непрерывное движение конвейеров совершается со скоростью 0,25...5 м/мин. Конвейеры с периодическим

движением перемещают изделия на следующую позицию со скоростью 5...6 м/мин.

Характеристика соединений деталей и способы их выполнения. При сборке машин основным видом работ является выполнение различных соединений деталей. Сборка двух или нескольких деталей может предусматривать их неподвижное или подвижное соединение.

При неподвижном соединении собранные детали сохраняют неизменное взаимное положение. При подвижном соединении сопряженные детали могут взаимно перемещаться. Неподвижные соединения могут быть неразборными и разборными. Неподвижные неразборные соединения осуществляются сваркой (электрической и газовой), пайкой, склепыванием, прессовыми посадками. Склепывание (помимо малопроизводительного ручного способа) осуществляют пневматическими и электрическими молотками, электромеханическими, пневматическими и гидравлическими подвесными и стационарными клепальными машинами. Последние являются наиболее производительными, к тому же при их работе отсутствуют те неблагоприятные условия работы, которые создаются при других способах клепки (шум, напряжение, утомление работающих и пр.).

Неподвижные соединения, в том числе и прессовые, могут осуществляться путем запрессовывания или напрессовывания детали. При запрессовывании охватываемую деталь (вал) вводят в отверстие охватывающей детали (втулки, шкива, зубчатого колеса). При напрессовывании, наоборот, охватывающая деталь насаживается отверстием на охватываемую деталь. В обоих случаях применяют механические, пневматические и гидравлические прессы. Силу, необходимую для осуществления посадки, определяют путем расчета.

Некоторые виды прессовых соединений могут быть выполнены нагревом охватывающей детали (преимущественно для деталей типа втулок больших диаметров и малой длины). При этом способе соединения охватывающую деталь в нагретом состоянии насаживают на охватываемую деталь, и при остывании, сжимаясь, она прочно соединяется с последней. Температуру нагрева рассчитывают в зависимости от размера детали, а также требуемого натяга. Соединяемую деталь можно нагревать в кипящей воде, нагретом масле, газовыми горелками, в газовых или электрических нагревательных печах, а также электрическим током. В тех случаях, когда требуется соблюсти рав-

номерность нагрева, целесообразно использовать нагрев в жидкости (воде, масле).

Если по производственным условиям нагрев охватываемой детали недопустим или затруднителен, то соединение можно выполнять путем охлаждения охватываемой детали. При этом способе охватываемую деталь охлаждают до требуемой температуры. При охлаждении охватываемая деталь сжимается, размеры ее уменьшаются, и она свободно входит в отверстие сопряженной детали. Когда температура охлажденной детали повысится до температуры окружающей среды, произойдет прочное соединение обеих деталей. Этот способ используют главным образом для посадки подшипников качения в корпусные детали.

До температуры $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ детали охлаждают в твердой углекислоте, которую закладывают в холодильник, представляющий собой металлический или деревянный ящик с надежной теплоизоляцией. Процесс длится 15...60 мин в зависимости от размера охлаждаемой детали. При температуре цеха $18...20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и охлаждении стальной детали до $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ можно получить усадку, необходимую для получения требуемого натяга. Если необходимо получить более низкие температуры ($-200...-220\text{ }^{\circ}\text{C}$), охлаждение производят в жидком азоте. Вследствие трудностей транспортировки и хранения жидких газов этот способ охлаждения применяется редко.

Наиболее часто в машинах применяют неподвижные разборные соединения (болтами, винтами, шпильками). Качественное их выполнение и достижение высокой производительности труда обеспечивают применением рациональных инструментов. Подвижные соединения осуществляют при подвижных посадках, а также при соединении шаровых, конических и винтовых поверхностей. Эти соединения выполняют без применения каких-либо приспособлений и инструментов. Для особо ответственных подвижных соединений при сборке применяют пружинные динамометры с целью проверки легкости перемещения соединяемых деталей.

Контрольные вопросы и задания

1. Как подразделяется стационарная сборка?
2. Приведите характеристики неподвижного и подвижного соединений.

3.6. Механизация и автоматизация сборочного процесса

В качестве механизмов, заменяющих ручную слесарную работу, применяют: электрические опилочно-шлифовальные машины переносного типа, электрические и пневматические, сверлильные ручные машины, механические устройства для притирки вентиля и клапанов, электрические механические и пневматические шаберы, электрические и пневматические зубила и молотки, электрические ключи и отвертки, динамометрические ключи, одно- и многошпиндельные гайковерты.

Выполнение сборочных операций облегчается и ускоряется путем применения специальных приспособлений, например приспособлений для установки и крепления базовых деталей; приспособлений для напрессовки шарико- и роликоподшипников зубчатых колес, шкивов, маховиков на валы, для запрессовки втулок в отверстие, приспособлений для подъема деталей при сборке – скоб, захватов и других; поворотных приспособлений, служащих для повертывания валов при сборке двигателей внутреннего сгорания, паровых машин, компрессоров; приспособлений для перемены положения собираемых изделий, например для повертывания блока цилиндров (рис. 3.9), поворотных приспособлений для проверки относительного положения собираемых деталей; приспособлений к измерительным инструментам, допускающих возможность измерения в недо-

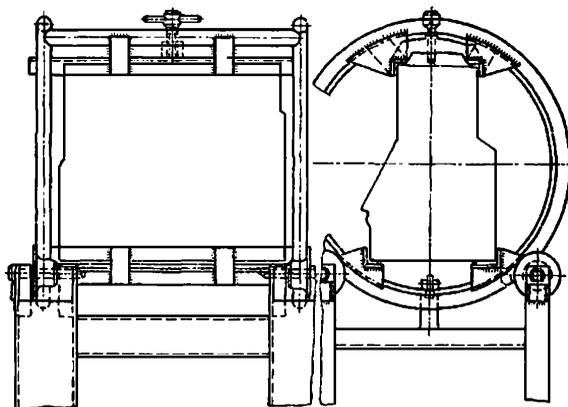


Рис. 3.9. Приспособление для повертывания собираемого автомобильного двигателя

ступных местах; приспособлений для предварительного сжатия пружин, рессор и т.п.

Для напрессовки шарикоподшипников на шейку вала могут быть использованы различные ручные приспособления, специальные стаканы, винтовые устройства и др. Стаканы просты по конструкции. Сила напрессовки может быть создана ударами молотка или прессом. Применение стаканов предотвращает возможность перекоса или установки шарикоподшипников и предохраняет их от повреждений, обычно неизбежных при нанесении ударов молотком по кольцам подшипника.

Для напрессовки подшипников на валы, имеющих на конце резьбу, применяют винтовые устройства, состоящие из гайки и втулок различной длины. Рекомендуется напрессовку шарикоподшипников производить с помощью прессов: ручных, гидравлических и пневматических.

При узловой сборке конических (роликовых) подшипников необходимо предусмотреть требуемый зазор между кольцами и роликами. Регулирование этого зазора является ответственной сборочной операцией. Неправильно установленный зазор в коническом подшипнике может быть причиной его преждевременного износа. Зазор в коническом подшипнике регулируют путем осевого смещения наружного или внутренних колец. Прокладки *1* (рис. 3.10, *а*) под крышкой *2* служат для обеспечения требуемого зазора в роликоподшипнике. Зазор можно регулировать с помощью болта *3* (рис. 3.10, *б*) и шайбы *4*.

Узловая сборка подшипников скольжения заключается в установке подшипников, укладке вала и иногда регулировании положения вала путем подшипника. Подшипники скольже-

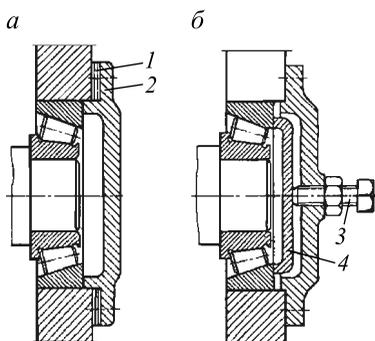


Рис. 3.10. Схема регулирования зазора в коническом роликовом подшипнике

ния применяют цельные, в виде втулок и разъемные. Установка цельного подшипника в корпус заключается в его запрессовке, закреплении от провертывания и развертывании отверстия.

В зависимости от размера втулки, натяга в сопряжении, конструкции узла и программы выпуска запрессовка может быть выполнена в холодном виде на прессе или молотком с помощью оправки, или с нагревом отверстия корпуса, или с охлаждением самой втулки. После запрессовки цельных тонкостенных втулок внутренний диаметр уменьшается, поэтому необходимо их развернуть.

Для обеспечения нормальной работы подшипника при многоопорном вале большое значение имеет их соосность, которую проверяют специальным шпинделем калибром или оправкой (рис. 3.11, *a*). При полном совпадении осей всех отверстий подшипников калибр может быть введен в них свободно. При перекосе или смещении осей калибр ввести трудно или невозможно. Схема проверки соосности при установке корпусов разъемных подшипников показана на рис. 3.11, *б*.

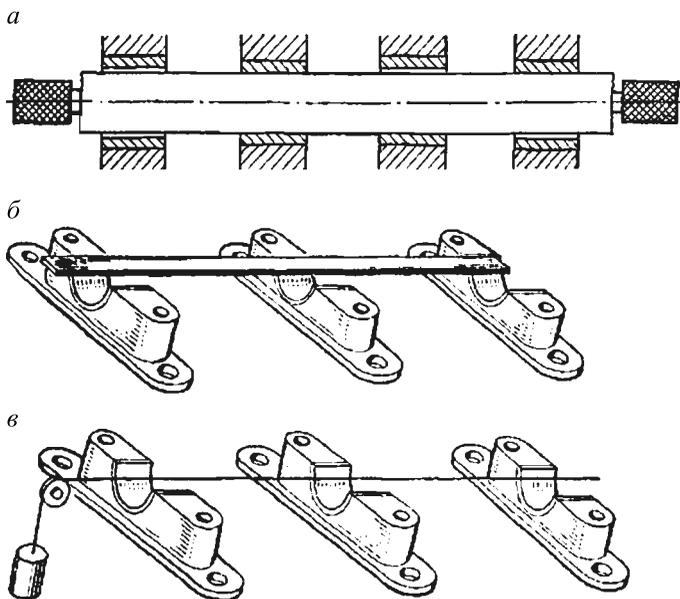


Рис. 3.11. Схемы проверки соосности подшипников:

a — специальной оправкой; *б* — корпусов разъемных подшипников с помощью линейки;
в — с помощью струны

Сборка зубчатых колес валами или осями в корпусе является ответственной сборочной операцией. Существенное значение при этой операции имеет положение ведущего и ведомого валов в корпусе, от которого зависит правильность зацепления зубчатых колес: оси валов должны находиться в одной плоскости, быть параллельны при точном расстоянии между ними.

Для эвольвентных зубчатых передач увеличение расстояния между осями зубчатых колес в пределах допуска не нарушает правильности зацепления. Но это увеличение сопровождается ростом зазоров C (рис. 3.12) в зацеплении зубьев, в связи с чем в быстроходных передачах возникают удары, создаются дополнительные нагрузки на зубья и зубчатая передача быстрее изнашивается. При уменьшении расстояния между осями зазор уменьшается, что может вызывать заедание и заклинивание зубьев. Величину зазора между зубьями проверяют щупом или посредством индикатора, а также с помощью краски.

Особенность сборки передач с коническими зубчатыми колесами состоит в регулировании зацепления зубьев, что достигается перемещением вдоль осей обоих зубчатых колес или одного из них. Боковой зазор в зацеплении конических зубчатых колес может быть проверен щупом, индикатором или с помощью свинцовой пластинки, а пятно контакта — с помощью краски.

При сборке червячных передач необходимо, чтобы межцентровое расстояние соответствовало чертежу, ось червяка находилась в средней плоскости колеса, а боковой зазор в зацеплении соответствовал техническим требованиям. При сборке червячных зацеплений контролируют зазор в зацеплении, проверяя мертвый ход червяка, смещение средней плоскости колеса относительно оси червяка по пятну контакта на зубьях колеса при провертывании червяка, нити которого покрыты краской.

При сборке некоторых машин ответственной операцией является гидравлическое испытание деталей и узлов, работающих под давлением воды, масла и др. Такие детали и узлы должны удовлетворять условиям герметичности, не пропускать воду, масло, пар, воздух, так как в противном случае нормальные условия работы изделия нарушаются. Механизация работ,

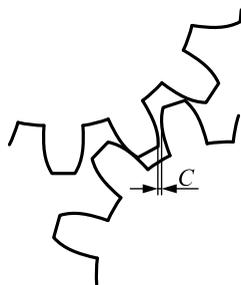


Рис. 3.12. Зазор между зубьями зубчатой передачи

связанных с проверкой герметичности деталей и узлов, состоит в применении специальных приспособлений для закрытия и уплотнения закрытия и отверстий испытываемых деталей. В таких приспособлениях жидкости подается под определенным давлением в проверяемый узел. О герметичности судят по утечке жидкости или газа за некоторое время или по скорости уменьшения давления.

Автоматизация сборки. На заводах массового производства кроме механизации сборочных приемов и операций осуществляют автоматизацию сборочного процесса, при которой выполняются различные приемы по сборке машины. Для этого применяют сборочные автоматы и автоматические приспособления. Загрузку собираемых деталей в сборочный автомат производят вручную, а при высшей степени автоматизации — автооператором или другим автоматически действующим устройством.

К числу устройств, автоматически выполняющих сборочные процессы, относятся, например, автоматическое приспособление для запрессовки втулки в верхнюю головку автомобильного шатуна (рис. 3.13). Шатун 4 кладут на плиту 5 так,

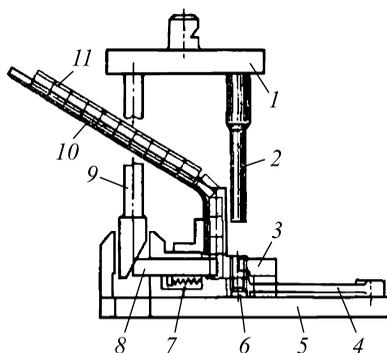


Рис. 3.13. Автоматическое приспособление для запрессовки втулки в шатун автомобильного двигателя

чтобы верхняя головка шатуна устанавливалась своим отверстием на подпружиненный штырь 6. При опускании траверсы 1 шток 9 перемещает толкателем 8 нижнюю втулку. Втулки 11 подаются в рабочую зону по лотку 10. Когда втулка упрется в уступ 3, пуансон 2 запрессует ее в головку шатуна. При перемещении траверсы 1 вверх пружина 7 отведет толкатель 8 влево и следующая втулка из лотка опустится.

Если во втулке имеется отверстие, которое должно занимать определенное положение в верхней головке шатуна, то перед запрессовкой втулка *1* с помощью устройства, схема которого приведена на рис. 3.14, из подающей трубы-лотка попадает в отверстие *3* ползуна *4*, который совершает ход вправо и переносит втулку *1* в отверстие *5*. Оправка *9*, опускаясь входит в отверстие втулки, разжимает ее и поднимает. Оправка поворачивает-

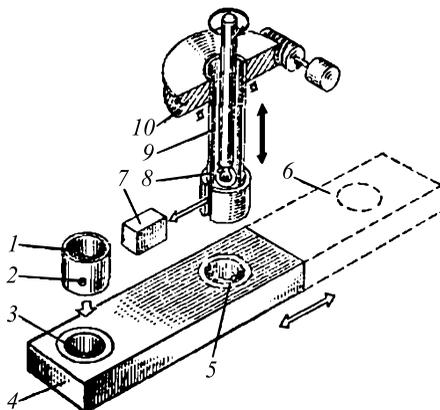


Рис. 3.14. Схема автоматического устройства для подачи и ориентации втулки

ся с помощью червячной передачи *10* вокруг сигнальной лампочки *8*. В момент, когда отверстие *2* во втулке окажется напротив фотореле *7*, происходит засвечивание его и оно выдает команду на останов червячной пары *10*. С помощью той же оправки ориентированная втулка поступает в ползун. Ползун передвигает втулку в положение *6*, в котором происходит запрессовка ее в головку шатуна.

Схема автоматического устройства для запрессовки болтов в шатун автомобильного двигателя приведена на рис. 3.15. Болты, ориентированные в вибробункере, поступают в подводящий лоток *1*, где удерживаются отсекателем *2*. Шатун *10* и крышка *11* поднимаются на позицию снизу с подводящего транспортера. Палец *4* центрирует шатун по отверстию в малой головке и в конце хода вверх нажимает на шток *3*, поворачивающий отсекатель *2*. Отсекатель освобождает нижний болт, который соскальзывает по лотку на позицию запрессовки. Ос-

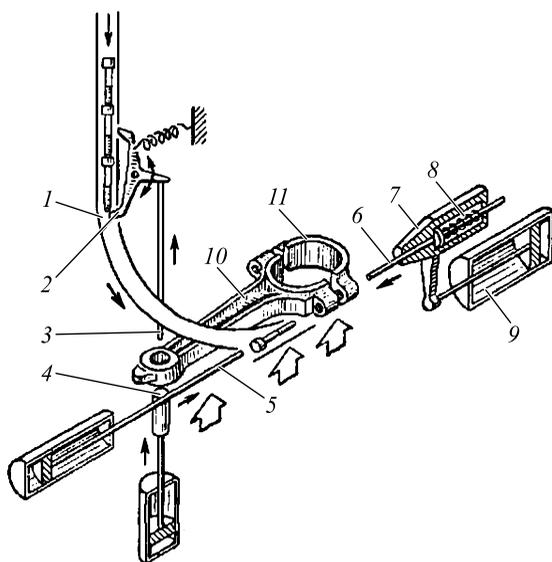


Рис. 3.15. Схема автоматического устройства для запрессовки болтов в шатуны

талые болты удерживаются в лотке верхним зубом отсекающего. Для совмещения отверстий под болты в шатуне и крышке служат пальцы 6, которые передвигаются вместе с прижимами 7 пневмоприводами 9. Крышка плотно прижимается к шатуну. Пуансоны 5 запрессовывают болты в отверстия шатуна и крышки. В конце хода болты сдвигают вправо пальцы 6, сжимая пружины 8. На схеме показано устройство для запрессовки одного болта. В реальной конструкции приспособления одновременно запрессовывают два болта.

Детали узла клапана, автоматически собираемые на сборочном автомате с поворотным столом, показаны на рис. 3.16. На позиции I производится подача клапана 1. Стол поворачивается и на позицию II автоматически подается стержень 2, который на этой позиции запрессовывается в клапан. На позиции III подаются втулка 3 и пружина 4 в собранном виде и надеваются на клапан со стержнем. На позиции IV подается диск 5, а на позиции V производится разворот диска по стрелке M для клеймения на позиции VI. Посадка диска на стержень производится на позиции VII. Там же производится расклепывание

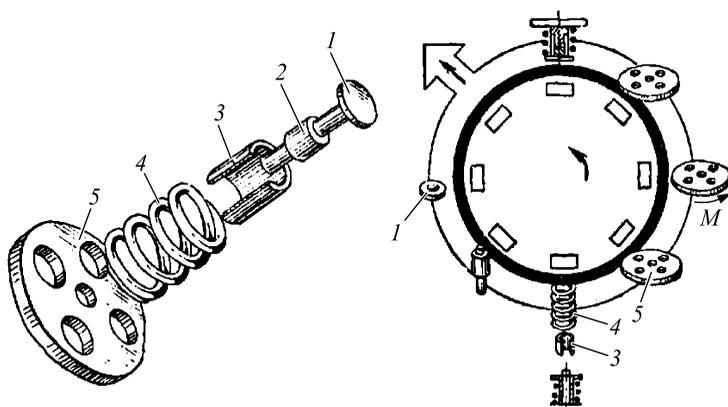


Рис. 3.16. Детали узла клапана, собираемые на сборочном автомате

конца стержня. На позиции VIII собранный узел выталкивается со стола.

Комплект сборочных автоматов, расположенных в порядке сборочных операций и связанных между собой транспортирующим устройством, перемещающим собираемое изделие от одного автомата к другому, образует автоматическую сборочную линию. Такие автоматические линии используют, например, для сборки автомобильного двигателя.

Технический контроль и испытание собранных узлов и машин. Погрешности, которые возникают при сборке изделий, могут появляться вследствие образования неправильных зазоров; неточной регулировки взаимного положения соединяемых деталей; перекосов деталей, образующихся из-за неправильной посадки деталей при их сопряжении; наличия остаточных деформаций, возникших вследствие сил, приложенных для соединения деталей; искривления и других деформаций и повреждений деталей при перевортывании и перемещении в процессе сборки и транспортировании; упругих деформаций базовой (основной) детали собираемого объекта, возникших при ее закреплении; деформаций деталей из-за изменения внутренних напряжений. Контролер при сборке должен проверить соответствие качества собираемого изделия техническим условиям.

На сборочных линиях предусмотрены места для выполнения контрольных операций. Обязательной проверке подлежит сборка всех ответственных операций, производится выбороч-

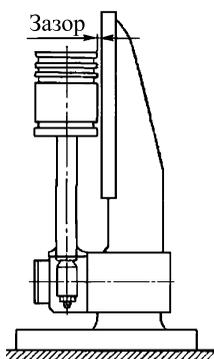


Рис. 3.17. Схема приспособления для контроля сборки шатуна с поршнем

ный контроль. При контроле сборки отдельных соединений и узлов используют приспособления, которые упрощают выполнение контрольных операций, повышают точность проверки, уменьшают время, необходимое на проверку.

Схема приспособления для контроля сборки шатуна с поршнем двигателя приведена на рис. 3.17. По техническим условиям требуется, чтобы образующая поршня была перпендикулярна к оси отверстия в нижней головке шатуна. Шатун надевают до упора на отправку, закрепленную в корпусе приспособления. Если сборка шатуна с поршнем произведена правильно, зазор между поршнем и плиткой, расположенной на стойке приспособления,

должен иметь одну и ту же величину по всей длине образующей поршня. Величину зазора устанавливают щупом. После проверки правильности соединений детали собранные узлы, механизмы, а также машины подлежат регулированию и испытанию. Регулированием устанавливают надлежащее взаимодействие частей, согласованность работы отдельных механизмов. Отрегулированные сборочные единицы, механизмы и машины испытывают для определения правильности их работы.

Механическое испытание — обкатку производят для проверки правильности взаимодействия движущихся частей и приработки трущихся поверхностей деталей. Сборочные единицы устанавливают в соответствующие приспособления для испытания, механизмы (агрегаты) и машины — на испытательные стенды. Вначале им сообщается небольшая скорость вращения. Постепенно увеличивая скорость вращения, продолжают испытание до тех пор, пока не убедятся, что все части механизма или машины работают надлежащим образом. При этом наблюдают за состоянием трущихся поверхностей (подшипников, втулок, направляющих зубчатых зацеплений и т.п.), за согласованностью действий частей и механизмов, за шумом. После обкатки механизм или машину передают для испытания под нагрузкой.

Испытание под нагрузкой производят в соответствии с техническими условиями. Если испытывается станок или другая машина, то при испытании производится работа на том режи-

ме и в тех условиях, которые соответствуют эксплуатационным. Если машина и представляет собой тепловой, водяной или электрический двигатель, то испытание происходит с использованием газообразного или жидкого топлива, пара, электричества. В течение установленного техническими условиями периода двигатель должен развить определенную мощность и работать с этой мощностью при надлежащей частоте вращения вала. Записи всех наблюдений, сделанных во время испытания, вносят в журнал испытаний и на основе их делают заключение о качестве машины. В случае обнаружения во время испытаний каких-либо дефектов последние устраняют на стенде или в специальном отделении, куда машину направляют после снятия с испытательного стенда. После устранения дефектов машина поступает на повторное испытание.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем заключается основное направление работ для снижения трудоемкости сборочных операций?
2. Расскажите, каковы основные условия для организации автоматизации сборки.
3. Каковы общие принципы механизации и автоматизации сборочных операций, которые следует применять при проектировании новых или реконструкции старых процессов, а также при их модернизации?

4.1. Гибкая автоматизация производства

Развитие промышленного производства определяется ростом производительности труда. Производительность технологической операции в любой отрасли промышленности зависит от затрат времени на выполнение главных функциональных действий (основное время), вспомогательных действий (вспомогательное время), потерь времени, обусловленных плохой организацией труда (организационные потери), и длительным выполнением некоторых дополнительных действий (собственные потери). Сокращения основного времени можно добиться путем совершенствования технологии обработки, а также конструктивными изменениями в оборудовании. Минимизация организационных потерь времени предполагает тщательную проработку условий организации производства, доставки материалов и комплектующих, налаженные кооперационные связи и многое другое, а сокращение вспомогательного времени и собственных потерь связано с механизацией и автоматизацией производства. Автоматизация производства возможна только на основе новейших достижений науки и техники, применения прогрессивной технологии и использования передового производственного опыта. Развитие автоматизации производства приводит к значительному повышению его эффективности. Это связано, с одной стороны, с улучшением организации производства, ускорением оборачиваемости оборотных средств и лучшим использованием основных фондов, с другой — со снижением себестоимости обработки, расходов на заработную плату, энергию, с третьей — с возрастанием культуры производства, качества выпускаемой продукции и т.д.

Гибкая система автоматизации дает возможность быстрого перевооружения производства для выполнения технологических функций с определенной производительностью на основе максимального использования вычислительной техники и электроники. Для ритмичного функционирования производственного процесса в крупносерийном и массовом производстве преимущественно применяется гибкая автоматизация производства. Гибкая автоматизация производства может быть

частичной или комплексной. В последнем случае кроме автоматизации непосредственно технологических процессов автоматизируются также все необходимые вспомогательные процессы и сводятся к минимуму функции обслуживания. Такая автоматизация обеспечивает автоматическую работу производственной системы в течение длительного времени.

Главная особенность ГПС (гибкой производственной системы) по сравнению с прежними формами организации производства, обеспечивающая высокую производительность (например, автоматические линии), – возможность производства целой группы изделий в произвольном (в соответствии с требованиями дня) порядке и небольшими партиями, причем такая организация производства не оказывает значительного влияния на его экономические показатели. В настоящее время под ГПС понимают системы, включающие средства производства, которые характеризуются легкостью переналадки и адаптации к изменяющимся требованиям производства. Цель использования ГПС – достижение эффективности производства, сравнимой с эффективностью массового производства, но для небольших партий разнородных деталей.

Наиболее часто ГПС рассматривают как комплексную систему технологических машин (в большинстве случаев – металлорежущих станков), транспортных средств, оснастки и прочих средств производства, которые полностью управляются с помощью компьютера. Станки в этом случае укомплектованы оснасткой для смены заготовок и режущих инструментов, что обеспечивает возможность обработки различных деталей без потерь времени на переналадку станка.

В последнее время ГПС часто трактуют как способ организации производства, обеспечивающий полное управление производственным процессом и рационализирующий этот процесс. Такой подход означает необходимость анализа каждой составляющей производства продукции на данном предприятии и тщательной временной стыковки с другими составляющими.

Используя ГПС, можно обеспечить:

- гибкость выбора различных заготовок для обработки в течение определенного времени;
- возможность добавления или удаления конкретной заготовки из разработанного ранее производственного задания на обработку деталей;

- гибкость технологического маршрута, т.е. возможность замены станка для обработки конкретной детали, например в случае изменения производственного задания или отказа станка;
- возможность быстрого внедрения в производство конструктивных изменений в обрабатываемых деталях;
- возможность изменений в программе выпуска конкретных деталей;
- возможность производства различных деталей в разных ГПС в рамках одного предприятия.

Возможности ГПС весьма привлекательны для лидеров современного промышленного производства. С одной стороны, они позволяют объединить высокую производительность с малыми объемами партий деталей или изделий, с другой — внедрить безлюдные технологии и значительно снизить производственные расходы на заработную плату. А это дает предприятию возможность быстрее, чем когда-либо, реагировать на требования рынка.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем преимущество гибкой системы автоматизации производства?
2. Укажите, в чем особенность гибкой производственной системы.

4.2. Обеспечение заготовками и деталями в гибких производственных системах

Условиями, обеспечивающими безлюдную работу ГПС, являются наличие необходимого запаса изделий и инструментов, автоматизация их перемещения между РМ и местами складирования, автоматизация манипуляционных функций (передвижение, захватывание, установка и снятие, базирование, закрепление и открепление).

Конфигурация ГПС в значительной степени зависит от используемых средств перемещения материалов (заготовок и деталей). В системе обеспечения деталями и заготовками можно выделить три функциональные подсистемы: транспортирования, складирования, манипулирования.

Транспортная подсистема служит для изменения расположения предметов, т.е. их перемещения. Перемещение может осуществляться между центральным магазином и РМ, между двумя магазинами и между отдельными РМ.

Складирование обеспечивает создание производственных запасов, необходимых для надежной работы ПС. Кроме того, оно позволяет выравнять загрузку отдельных РМ и исключить последствия возможных отказов (аварий) оборудования.

Манипулирование подразумевает перемещение деталей и заготовок со сменой их ориентации. Оно наблюдается при перемещении предметов с одного рабочего места на другое.

Представленное разделение подсистем является в значительной мере условным, в практике они часто объединены, например транспортирование плюс манипулирование.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем сущность подсистем обеспечения заготовками и деталями?
2. Назовите функциональные подсистемы.

4.3. Классификация транспортных средств

Наличие носителя изделия. Транспортирование изделий в ГПС может осуществляться с помощью носителей изделий или без них. В первом случае необходимы специальные вспомогательные устройства, служащие для удержания перемещаемых изделий в положении, необходимом для последующего манипулирования или обработки. Носители изделий, используемые в ГПС, представлены на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Носители изделий в ГПС

Изделия, находящиеся на носителях, во время транспортирования могут быть закреплены или расположены свободно. Если предмет закреплен, то в качестве носителя всегда используется так называемая палета, на которой может быть закреплено одно или несколько изделий. Закрепление для транспортирования в данном случае является также закреплением для обработки на РМ. Если же предмет в ходе транспортирования не закреплен, то его удержание на носителе обеспечивается за счет действия силы тяжести и необходимых опорных элементов. Одиночный предмет в этом случае также перемещается на палете, а для перемещения нескольких предметов наряду с палетой можно использовать контейнеры или иные емкости.

В ГПС применяются два вида паллет. Палеты, используемые на входе-выходе из системы, называют транспортными; другая разновидность палет – станочные; они служат для обработки деталей на конкретном станке. Обе разновидности палет могут быть унифицированными или специализированными (последние не всегда можно использовать вне данной ГПС).

Структура транспортной подсистемы. В ГПС используют три разновидности транспортных подсистем (рис. 4.2): линейную, маятниковую и замкнутую. Транспортирование может быть прямым или разветвленным, последнее является значительно более гибким с точки зрения оптимизации транспортных путей и минимизации количества транспортирующих перемещений.

В линейной транспортной подсистеме существует только одно, постоянное направление движения изделий, а вход и выход транспортирующей подсистемы разделены. Поскольку возможность обратного перемещения (на предыдущее РМ) отсутствует, такая система имеет очень малую гибкость. Маятни-

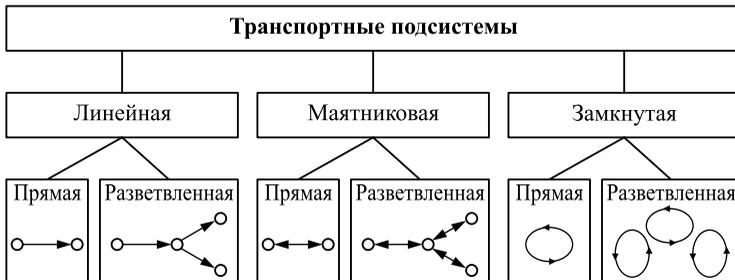


Рис. 4.2. Структура транспортных подсистем ГПС

ковая подсистема обеспечивает минимизацию транспортных путей. Достоинством замкнутой подсистемы является обеспечение постоянства положения изделия при перемещении на место обработки.

Разновидности транспортных средств. На рис. 4.3 представлены типы устройств, наиболее часто используемых в ГПС для транспортных изделий. В зависимости от характера работы их можно условно разделить на работающие не-

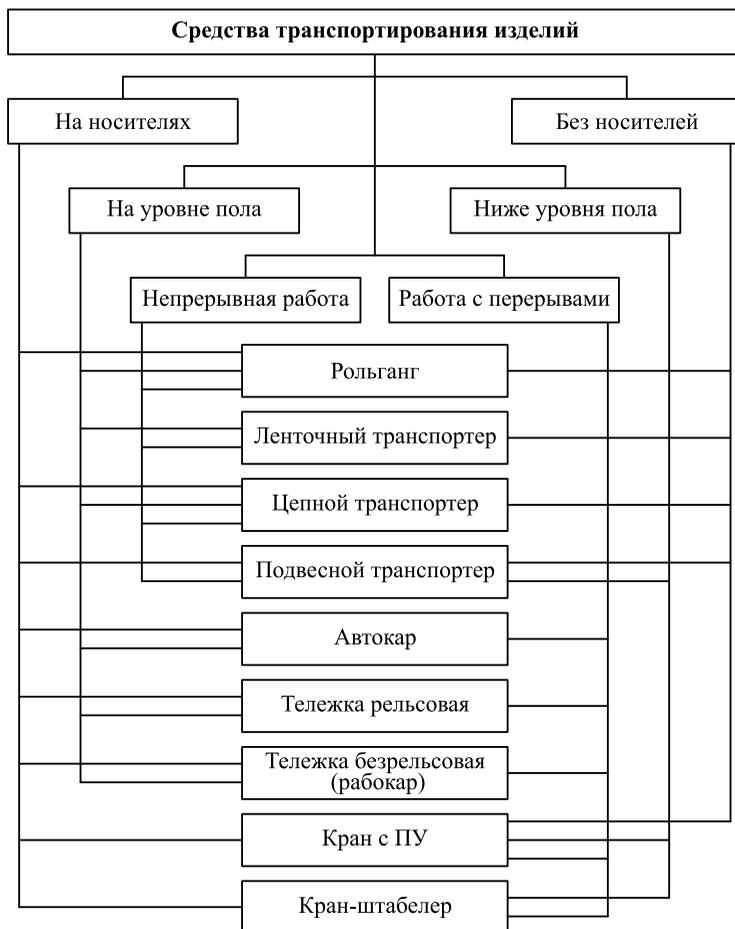


Рис. 4.3. Средства транспортирования изделий в ГПС

прерывно и прерывисто, а в зависимости от расположения относительно уровня пола – на связанные и не связанные с ним.

Существует три группы средств транспортирования изделий:

- транспортеры (роликовые, ленточные, цепные, подвесные замкнутые);
- тележки (вильчатые, рельсовые и безрельсовые);
- краны (в том числе штабелеры и краны с ПУ).

Контрольные вопросы и задания

1. Какие системы используются в структуре транспортной подсистемы?
2. Назовите группы транспортирования изделий.

4.4. Структура гибких производственных систем

Структурой ГПС называется сеть связей между ее элементами, которые могут рассматриваться как в статике (конфигурация и конструкция), так и в динамике (изменения во времени). Каждая ГПС может быть представлена в виде комплекса подсистем, показанных на рис. 4.4.

Технологическая подсистема ГПС включает основные технологические устройства, использование которых опре-

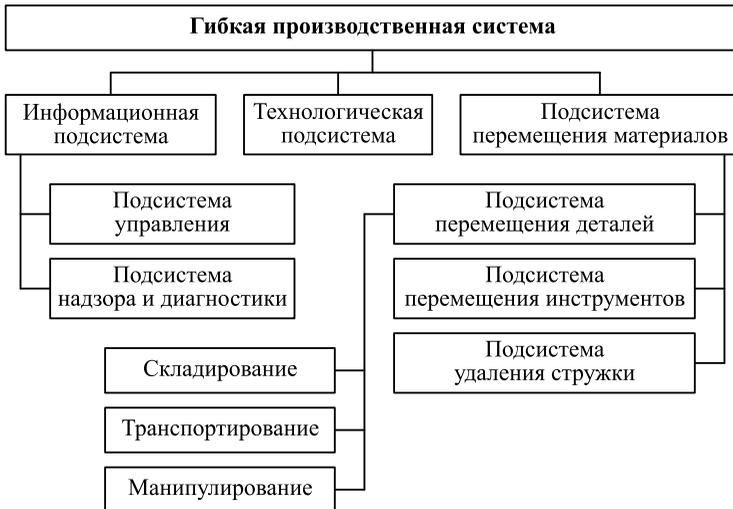


Рис. 4.4. Функциональные подсистемы ГПС

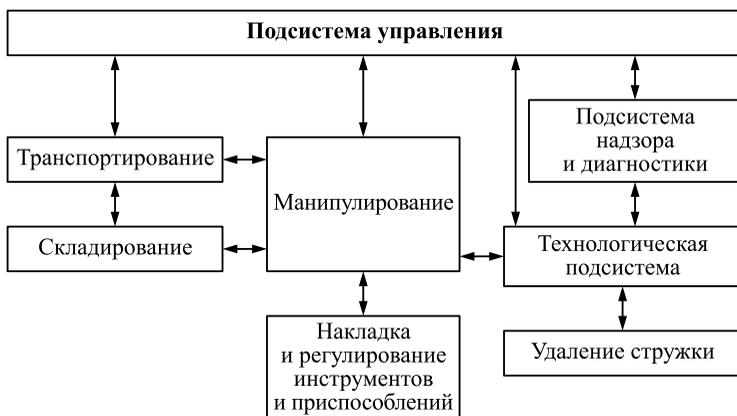


Рис. 4.5. Взаимодействие подсистем ГПС (стрелками показаны прямые и обратные связи)

деляется типом обрабатываемых деталей и технологиями их обработки. К таким устройствам относятся машины и приспособления на соответствующих рабочих местах (РМ), с помощью которых реализуются операции технологических процессов обработки, сборки, а также операции мойки, чистки и т.д.

Взаимодействие функциональных подсистем ГПС показано на рис. 4.5.

Информационная подсистема на локальном уровне состоит из подсистемы управления и подсистемы надзора и диагностики. Она обеспечивает возможность функционирования ГПС без непосредственного участия оператора. *Подсистема управления* может содержать центральный (главный) компьютер и автономные подсистемы для управления работой каждой из составляющих подсистем. *Подсистема надзора и диагностики* обеспечивает проверку как корректности работы машины, так и точности обработанных деталей.

Движение информации в ГПС имеет иерархическую структуру, в которой можно выделить три уровня принятия решений (рис. 4.6). В дальнейшем будет рассматриваться только низший (текущий) уровень.

Подсистема перемещения материалов включает технические средства, обеспечивающие связи между элементами производственной подсистемы, и управляет перемещениями инструментов, деталей и приспособлений для их закрепле-

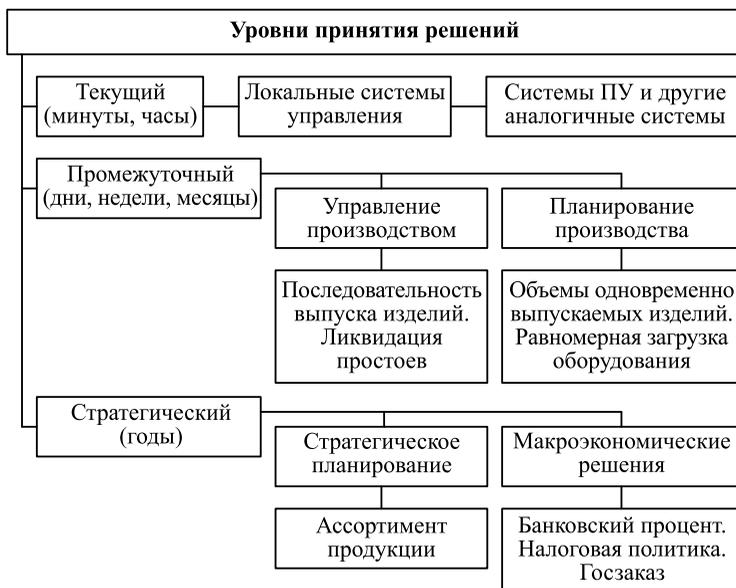


Рис. 4.6. Уровни принятий решений и управления производством

ния. Эта подсистема обеспечивает складирование, транспортирование соответствующих элементов и манипулирование ими. *Складирование* заключается в хранении обрабатываемых изделий до и после обработки, а также в обеспечении требуемых перерывов в перемещении элементов для нормальной работы технических устройств. *Транспортирование* служит для изменения местоположения (перемещения) соответствующих элементов. *Манипулирование* обеспечивает перемещение с одновременной сменой ориентации, например перемещение детали в рабочую зону станка. Рассмотренные действия могут реализовываться независимо друг от друга либо быть объединены. Последнее перспективнее, хотя и требует разработки более сложной системы управления. Наиболее часто встречается объединение двух функций: транспортирования и манипулирования или транспортирования и складирования.

Разделение ГПС на подсистемы касается в первую очередь производственных ячеек высокого уровня. На нулевом уровне практически все рассмотренные функции выполняет оператор, обслуживающий данное РМ.

Контрольные вопросы и задания

1. Что входит в структуру ГПС?
2. Какие подсистемы входят в информационную подсистему?
3. Расскажите, для чего предназначена подсистема перемещения материалов.

4.5. Формы организации гибких производственных систем

Основные положения. Расположение конкретных устройств, входящих в ГПС, зависит от структуры последней, которая создает между элементами и подсистемами комплекс связей, обеспечивающий движение материальных, энергетических и информационных потоков. С точки зрения способа расположения основное значение имеет перемещение обрабатываемых изделий или носителей с изделиями, менее значимо перемещение вспомогательных элементов. В каждой системе перемещения материалов реализуются функции складирования, транспортирования и манипулирования. Устройства для реализации данных функций объединяют рабочие (технологические) места и вспомогательные устройства. Связи, определяющие способ размещения устройств, создают пространственную структуру ГПС. Основные факторы, влияющие на пространственную структуру – технологический маршрут обработки и степень интеграции ГПС.

Существуют следующие формы организации (структуры) ГПС: концентрированная, замкнутая (ячейка), линейная, с центральным магазином-накопителем обрабатываемых изделий.

Выбор формы организации ГПС зависит от коэффициента кооперации рабочих мест H .

Концентрированная – $H = 0$.

Замкнутая (ячейка):

$$\text{простая} - H = 2 - \frac{2}{n}; \quad 1 \leq H \leq 2 \text{ для } n \geq 2;$$

$$\text{сложная} - H = 5 - \frac{8}{n}; \quad 3 \leq H \leq 5 \text{ для } n \geq 4.$$

Линейная:

$$\text{простая} - H = 2 - \frac{2}{n}; \quad 1 \leq H \leq 2 \text{ для } n \geq 2;$$

сложная – $H = 4 - \frac{6}{n}$; $2 \leq H \leq 4$ для $n \geq 3$.

С центральным магазином-накопителем обрабатываемых изделий – $5 - \frac{8}{n} \leq H \leq n - 1$ для $n \geq 4$.

Здесь n – количество рабочих мест.

Концентрированная форма. Данная структура ПС характеризуется тем, что все операции, необходимые для полной обработки изделия, выполняются на одном РМ. В зависимости от типа производства на нем может обрабатываться одно изделие либо целый ряд часто сменяемых изделий (с учетом технических возможностей данного РМ). В соответствии с принципами концентрации труда можно создавать производственные ячейки, в том числе полностью автоматизированные. Обеспечение материалами в данном случае охватывает:

- доставку заготовок с внешнего склада на РМ;
- складирование заготовок на промежуточном складе;
- перемещение заготовок на станок и их закрепление;
- обработку;
- снятие обработанной детали со станка;
- складирование обработанных деталей на промежуточном складе;
- транспортирование деталей на центральный склад, другие ГПС либо на сборку.

Концентрация данных функций с одновременной их автоматизацией приводит к созданию автономных (гибких) РМ как формы интегрированных ПС.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите формы организации (структуры) ГПС.
2. В чем сущность линейной формы ПС?

4.6. Средства гибкой автоматизации производства

В гибкой автоматизации производства (ГАП), характеризующейся высокой концентрацией операций, в качестве средств производства используются многоцелевые станки (обрабатывающие центры) и ГАП.

На сегодня многоцелевые станки – основные станки, используемые для гибкой автоматизации производства как на малых, так и на больших предприятиях и обеспечивающие гибкую высокопроизводительную и комплексную обработку. Под многоцелевым станком понимают станок с ПУ, обеспечивающий (с учетом технологических возможностей) выполнение за одну установку детали большого количества технологических переходов с помощью различных металлорежущих инструментов таким образом, чтобы получить полностью либо почти полностью обработанную деталь. Для этого станок оснащен магазином для режущих инструментов и системой для их автоматической смены.

Существует две основные группы многоцелевых станков (рис. 4.7), конструктивные и технологические возможности которых будут рассмотрены ниже.

Гибкий производственный модуль (ГПМ) рассматривается как самостоятельная гибкая производственная единица, в состав которой входит технологическая машина (чаще всего многоцелевой станок) вместе с необходимыми средствами транспортирования, складирования, управления, контроля и прочего, обеспечивающие автоматическую работу модуля при обработке серии технологически подобных изделий без дополнительной помощи из вне, без постоянного присутствия оператора и в течение достаточно длительного времени (как минимум одной рабочей смены).

Система управления ГПМ управляет на основе определенной стратегии всеми действиями модуля, включая функции контроля и диагностики.



Рис. 4.7. Классификация многоцелевых станков

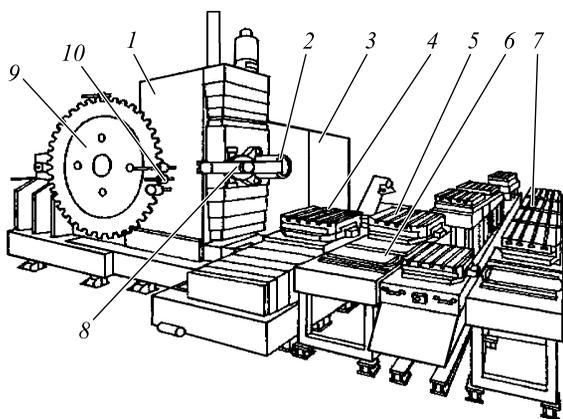


Рис. 4.8. ГПМ для обработки корпусных деталей:
 1 – многоцелевой станок; 2 – горизонтальный шпиндель; 3 – система управления; 4 – стол с закрепленной палетой; 5 – палета для размещения заготовок; 6 – устройство для смены палет; 7 – магазин палет; 8 – автооператор для смены инструментов; 9 – дисковый магазин режущих инструментов; 10 – инструменты в магазине

На рис. 4.8 показан ГПМ для обработки корпусных деталей с дисковым инструментальным магазином.

Примерами наиболее развитых средств ГАП являются гибкая производственная ячейка (ГПЯ) и гибкая производственная система (ГПС).

Гибкая производственная ячейка (рис. 4.9) – это комплекс, состоящий из станков с ПУ, выбранных и установленных в соответствии с выполняемыми заданиями и соединенных средствами транспорта. В состав ГПЯ могут входить станки и машины, обслуживаемые в ручную, а также дополнительные РМ – для мойки, сушки, контроля размеров после обработки. Ячейки, обслуживаемые с помощью промышленного робота, называются *роботизированными*.

Гибкая производственная система рассматривается как комплекс, состоящий из большого количества автоматизированных РМ (технологических машин, станков с ПУ, многоцелевых станков), которые позволяют использовать различные технологии непосредственно обработки (давление, резание, термообработка, нанесение покрытий) и дополняющие технологии (мойка, сушка и т.д.), связанных между собой устройствами для перемещения изделий таким образом, что на одних

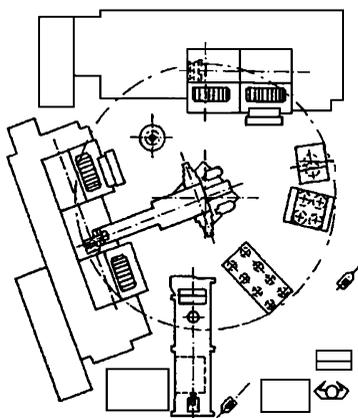


Рис. 4.9. Функциональная схема гибкой производственной ячейки

и тех же РМ возможна обработка различных изделий, проходящих через ГПС различными путями.

Компьютер, управляющий ГПС, выполняет также функции надзора и планирования производства, управляя перемещением изделий через систему и обеспечивая ее независимую работу без участия оператора в течение требуемого отрезка времени. Схема ГПС на базе трех ГПМ с общей системой транспортирования изделий на основе рольгангов и общей системой управления показана на рис. 4.10.

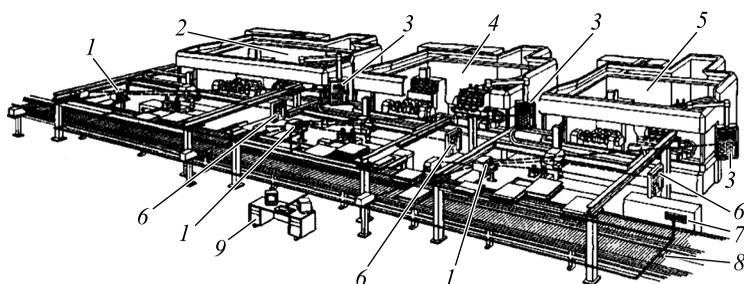


Рис. 4.10. Функциональная схема ГПС:

1 – компьютеры, управляющие работой ГПМ и измерительных машин; 2, 4, 5 – ГПМ; 3 – пульты управления ГПМ; 6 – пульты управления портальными манипуляторами; 7 – система управления транспортной подсистемой; 8 – сеть, соединяющая главный компьютер с компьютерами рабочих мест; 9 – главный компьютер ГПС

Гибкие производственные системы могут быть организованы в соответствии с рассмотренными выше подходами (как правило, в соответствии с этапами технологического процесса) либо как системы с центральным магазином. В качестве представления линейной формы организации производства можно рассмотреть гибкие производственные линии. Это комплекс автоматизированных основных и дополняющих РМ, расположенных в соответствии с принципами организации массового производства (перемещение изделий между РМ без смены направления) и соединенных друг с другом автоматизированными транспортными средствами.

Гибкость таких линий основана прежде всего на возможности их легкого переназначивания для обработки различных по величине партий технологически подобных изделий. Наиболее часто такие линии можно встретить в автомобилестроении (например, для обработки типовых деталей – коленчатые и распределительные валы, сварки кузовов автомобилей, сборки узлов и самого автомобиля).

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите классификацию многоцелевых станков.
2. В чем состоит сущность гибких производственных линий?
3. Для изготовления каких деталей применяется токарный ГПМ?

4.7. Палеты для складирования и транспортирования корпусных деталей

К таким палетам относятся палеты со смонтированными на них крепежными приспособлениями или специальные транспортные палеты. Время, необходимое для замены палет, можно значительно сократить, вынеся действия закрепления-открепления заготовок из рабочей зоны на дополнительный носитель сменных палет, который обеспечивает быстрый их возврат обратно в рабочую зону.

Наиболее распространены станочные (входящие в комплектацию ГПМ), транспортные и вспомогательные палеты.

Чаще всего в ГПС используются палеты, служащие одновременно как для базирования и закрепления деталей, так и для транспортирования и манипулирования ими. Это обеспечивает гибкость транспортной подсистемы, поскольку, с одной стороны, все палеты имеют унифицированную рабочую поверх-

ность, а с другой – столы системы транспортирования и манипулирования приспособлены для использования палет контрольного типа.

В случае использования *станочных палет*, входящих в ГПМ, заготовка крепится на них вне предела рабочей зоны, параллельно с обработкой там другой детали. После этого она перемещается в рабочую зону, где автоматически фиксируется для обработки. Некоторые конструкции таких палет представлены на рис. 4.11.

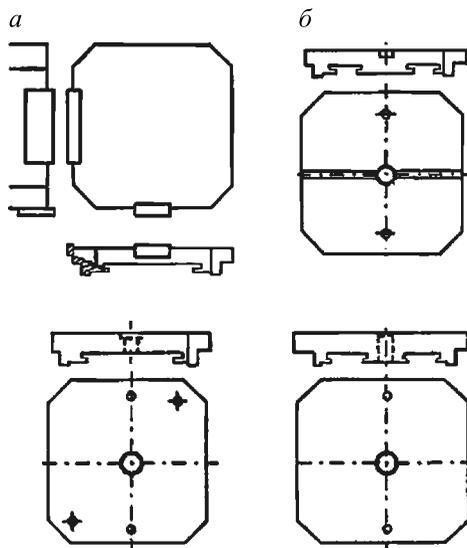


Рис. 4.11. Схемы станочных палет согласно нормам:
а – японским; б – французским

Стандарт ISO 8526–1 : 1990 предусматривает целый ряд элементов для базирования и закрепления как самих палет, так и обрабатываемых деталей и направлен на еще большую универсализацию конструкций палет (рис. 4.12).

В зависимости от площади зеркала и рабочей поверхности палеты могут иметь резьбовые отверстия (рис. 4.13), радиальные Т-образные пазы (рис. 4.14), взаимно параллельные Т-образные пазы с шагом 63...160 мм (рис. 4.15), Т-образные пазы и шпонки, сдвоенные Т-образные пазы, идущие в радиальном направлении, также могут быть гладкими.

К станочным палетам предъявляются высокие требования по точности позиционирования, жесткости, виброустойчивости,

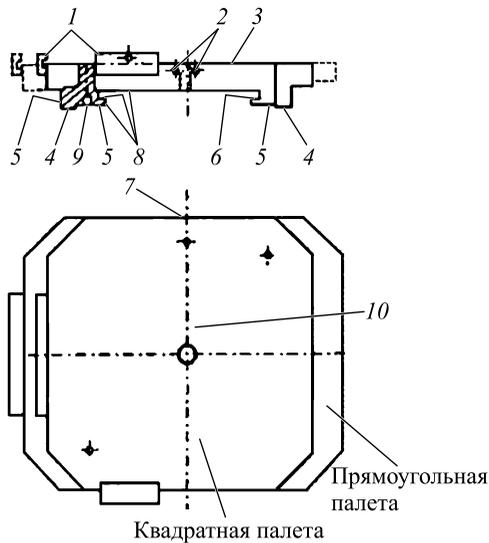


Рис. 4.12. Функциональные поверхности станочных палет:
 1 – кромки для базирования; 2 – отверстия для защелки; 3 – зеркало; 4 – поверхность для временной установки; 5 – поверхность базирования; 6 – поверхность для закрепления палеты; 7 – отверстие для установки палет в очереди для обработки; 8 – поверхности для транспортирования палет; 9 – отверстия для базирования; 10 – центральное отверстие

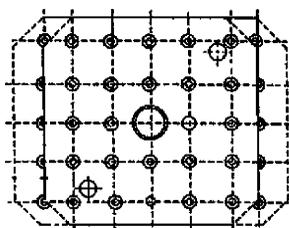


Рис. 4.13. Станочная палета с резьбовыми отверстиями

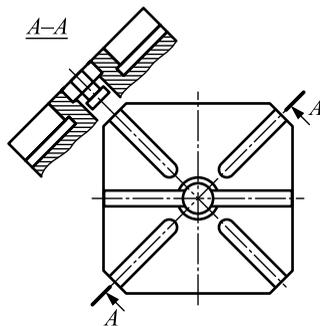


Рис. 4.14. Зеркало палеты с радиальными Т-образными пазами

сопротивлению силы резания; они не должны реагировать на воздействие СОТС и образующейся в ходе обработки стружки.

Типовая конструкция станочных палет показана на рис. 4.16. Такие палеты имеют точность позиционирования 0,002 мм и

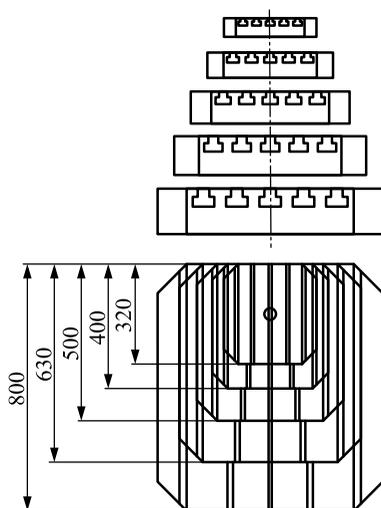


Рис. 4.15. Палеты со взаимно параллельными Т-образными пазами

обеспечивают надежное закрепление деталей при обработке. Установка осуществляется с помощью плоской пружины на четырех призматических базирующих элементах на столе ГПМ. Палеты используются для токарной, фрезерной, шлифовальной, электроэрозионной обработки.

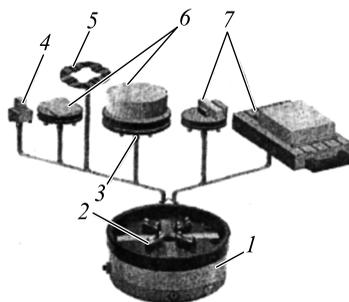


Рис. 4.16. Конструкция системы палет фирмы «Egawa»:
 1 – патрон, устанавливаемый на столе станка; 2 – базирующие призмы; 3 – стержень для крепления; 4 – электромуфта; 5 – плоская пружина; 6 – переходные палеты; 7 – палеты изделий с крепежными элементами

При выборе палет следует руководствоваться следующими критериями:

- возможность установки предметов или непосредственно на палете или в размещенном на ней крепежном приспособлении;
- возможность размещения на палете нескольких заготовок;
- соответствие размерам и форме заготовок;
- соответствие размерам стола станка;
- общее количество используемых в ГПС палет, что связано с количеством РМ, временем обработки изделий и временем работы в безлюдном режиме;
- стоимость палет с закрепленными на них приспособлениями.

Транспортные палеты (рис. 4.17) используются в ГПМ и ГПС. Они состоят из корпуса 3 и пластиковых вставок 1, количество которых определяется количеством транспортируемых объектов. В каждой вставке выполнено гнездо 2 соответствующей формы, служащее для размещения деталей и обуславливающее их строго определенное положение в процессе транспортирования. Использование пластика, обладающего высоким сопротивлением изнашиванию, обеспечивает сохранность гнезд, которые могут повреждаться при частых сменах деталей, снижает массу палеты, повышает ее ремонтпригодность.

Вспомогательная палета (рис. 4.18) представляет собой стальную раму, в которой размещается деталь. Такая палета с помощью транспортеров перемещается к станку. Вспомогательные палеты используются для создания межоперационных заделов при безлюдной обработке партии деталей (в третью смену), поскольку они значительно дешевле станочных палет.

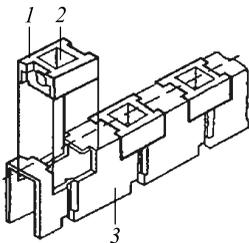


Рис. 4.17. Транспортная палета

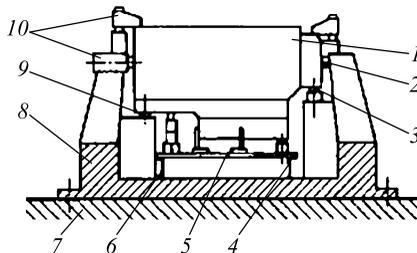


Рис. 4.18. Вспомогательная палета:
1 — заготовка; 2, 3, 9 — установочные элементы; 4 — опорные элементы; 5 — вспомогательная палета рамной конструкции; 6 — упругие направляющие; 7 — стол станка; 8 — приспособление для закрепления заготовки; 10 — прихват для закрепления заготовки

Контрольные вопросы и задания

1. Какие палеты применяются для базирования и транспортирования деталей?
2. Расскажите, какие требования предъявляются к станочным палетам.

4.8. Устройства для перемещения деталей

Автоматизированные устройства для транспортирования палет с закрепленными изделиями в ГПС могут быть специальными или универсальными. Они должны обеспечивать: гибкую связь с устройствами и подсистемами складирования, стационарными промышленными роботами или робокарами; распознавание палет, изделий, направления движения, расстояний и прочего; создание цельной транспортной подсистемы вместе с устройствами для смены положения изделия (поворот, смена уровня, закрепление-открепление и т.д.). Рассмотрим некоторые разновидности таких устройств.

Тянущие транспортеры с модульной структурой. Такие транспортеры разработаны фирмой «Bosch» и характеризуются простотой конструкции и возможностью легкой смены конфигурации. Перемещение изделий осуществляется в палетах, закрепленных на несущих плитах. Системы обеспечивают транспортирование изделий к местам обработки, сборки или складирования. В зависимости от габаритов и массы изделий предлагается четыре варианта: TS-1, TS-2, TS-3 (рис. 4.19) и TS-4.

Размеры транспортных палет и допустимая масса изделий указаны в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Типоразмеры транспортных подсистем фирмы «Bosch»

Вариант	Габариты палет, мм	Максимальная масса детали, кг
TS-1	80 × 80	1,5
TS-2	160 × 160...640 × 640	30
TS-3	300 × 400...800 × 800	70
TS-4	860 × 1260	240

Транспортные палеты состоят из двух основных частей: металлической или пластмассовой рамы (в зависимости от массы перемещаемых изделий) и стальной или пластмассовой несущей

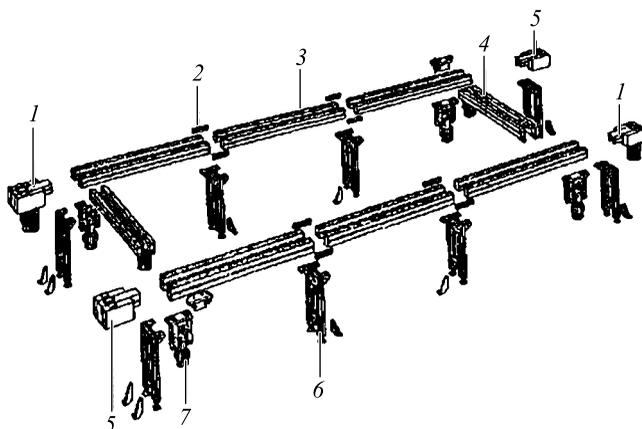


Рис. 4.19. Схема транспортирующей подсистемы TS-3 фирмы «Bosch»: 1 – привод; 2 – соединительные устройства; 3 – участок системы перемещения; 4 – ленточный транспортер; 5 – устройство для изменения направления движения; 6 – опора; 7 – привод поперечного перемещения

шей плиты. Несущая конструкция выполнена на основе профилированных элементов из алюминиевых сплавов или имеет форму, обеспечивающую возможность перемещения палет. Внутри ее размещен цепной привод, а между боковыми частями рамы располагаются несущие плиты с палетами. Форма подсистемы может изменяться в зависимости от потребностей, но общая ее длина не должна превышать 50 м.

Ленточные транспортеры. Типовая схема такого транспортера показана на рис. 4.20. В ГПС могут быть исполь-

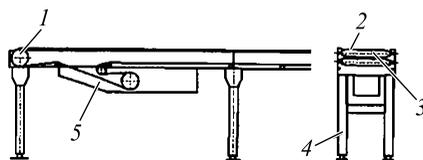


Рис. 4.20. Схема ленточного транспортера: 1 – передний барабан; 2 – лента; 3 – поддерживающие ролики; 4 – несущая конструкция; 5 – привод

зованы плоские транспортеры, если пути перемещения изделий совпадают с последовательностью операций. Они работают на горизонтальных участках системы и участках, имеющих

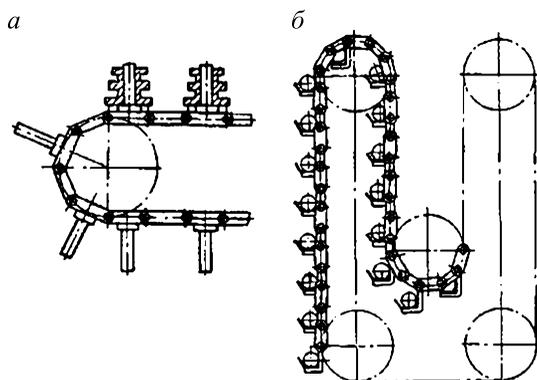


Рис. 4.21. Разновидности цепных транспортеров:
 а – барабанный с центрирующими оправками; б – элеватор

некоторый наклон. Предметы перемещаются поодиночке либо в контейнерах. Лента опирается на ролики или плоские беговые дорожки (стальные, пластмассовые). На токарных ГПМ транспортеры могут использоваться в качестве накопителей.

Многозвенные цепные транспортеры. Звенья таких транспортеров имеют вид плит или лотков и закрепляются на цепи. Транспортеры работают в горизонтальной и вертикальной плоскостях, обеспечивая перемещения по прямой или сложной кривой. Транспортеры с лотками могут использоваться также для транспортирования стружки. Схемы некоторых транспортеров показаны на рис. 4.21, 4.22.

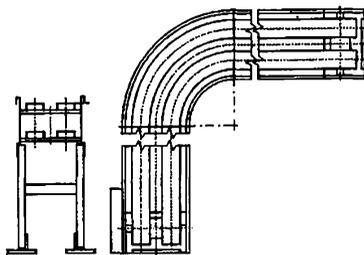


Рис. 4.22. Схема цепного транспортера для конвейера

Роликовые транспортеры. На таких транспортерах изделия перемещаются с помощью роликов, расположенных в

определенной последовательности на некотором расстоянии друг от друга. Предметы могут перемещаться непосредственно по роликам или размещаться в контейнерах либо на палетах. Транспортёры могут быть приводными, бесприводными или иметь смешанную конструкцию.

Бесприводный транспортёр не имеет собственного привода, а изделия перемещаются в результате наклона его участка под действием силы собственной тяжести либо вручную.

В транспортёрах с приводом груз перемещается с помощью систем электродвигатель – редуктор, как правило, по горизонтальной плоскости. Валики могут иметь индивидуальный привод. Движение валика передается с помощью ремней или цепей. Такой транспортёр состоит из отдельных участков, соединяемых между собой (рис. 4.23). Использование дополнительных радиусных участков позволяет расширить форму транспортёров.

Подвесные транспортёры. Такие транспортёры обеспечивают лучшее использование производственных площадей, перемещая груз соответствующим образом по подвесным путям, расположенным в пространстве. Детали могут перемещаться поодиночке либо в контейнерах с помощью транспортных тележек, подвесных крюков и т.д.

В однопоточных подвесных транспортёрах предметы перемещаются с помощью тележек, постоянно связанных с подвижным тянущим устройством. Движение тележек осуществляется на высоте, приемлемой для оператора; тележки соединены между собой с помощью гибкого троса или цепи. К тележкам прикреплены подвесы для груза. Тележки и тянущие устройства пе-

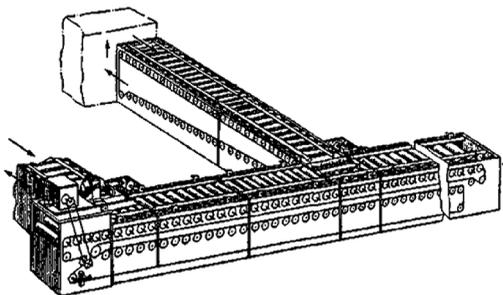


Рис. 4.23. Роликовый транспортёр с приводом

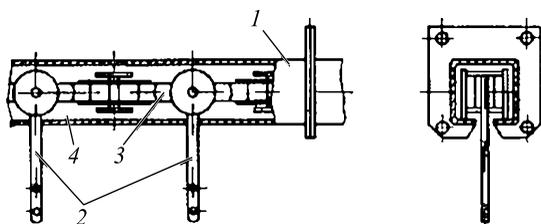


Рис. 4.24. Подвесной однорельсовый транспортер:
1 – короб; 2 – крючья; 3 – цепь; 4 – рельс

ремешаются по одному и тому же замкнутому пути (рис. 4.24), а в двухпоточных транспортерах – по двум отдельным путям.

Современные подвесные транспортеры позволяют автоматически подавать детали непосредственно в рабочую зону или на РМ, обеспечивают легкость изменений траектории движения груза в зависимости от изменений технологического процесса, автоматическое разделение деталей после обработки и создание на подвесных путях межоперационных магазинов. Тележки с технологическими подвесами имеют собственный независимый электропривод (рис. 4.25).

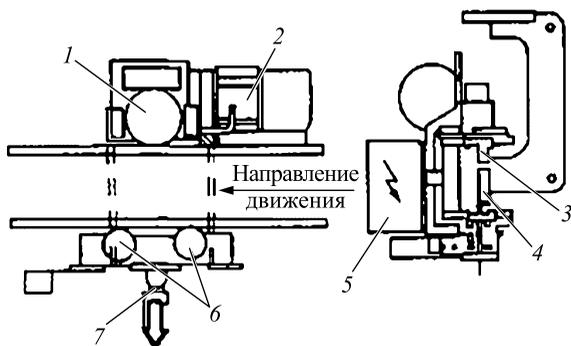


Рис. 4.25. Подвесной рельсовый путь с тележками, имеющими независимый привод:
1 – приводной ролик; 2 – привод; 3 – несущий рельс; 4 – направляющий рельс; 5 – электрошкаф; 6 – направляющие ролики; 7 – подвес

Перемещение деталей на уровне «выше пола» можно осуществить с помощью толкателя с программным управлением. Это позволяет оптимизировать использование рабочей площади, соответствующим образом располагая ГПС и их участки.

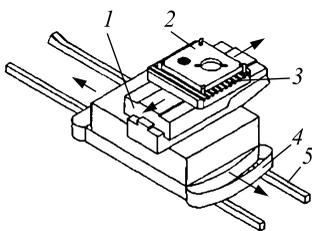


Рис. 4.26. Рельсовая тележка:
1 – механизм загрузки-выгрузки палет; 2 – деталь; 3 – палета; 4 – бумпер безопасности; 5 – рельсовый путь

Рельсовые тележки. Существуют различные способы загрузки-выгрузки деталей на такие тележки, каждый из которых требует специальной конструкции самой тележки, палет и соответствующих устройств. Они используются в первую очередь в ПС с жесткой структурой для обработки корпусных деталей. Тележки перемещаются вдоль прямолинейной трассы между РМ (рис. 4.26). Обычно тележки забирают палету с изделием из

входного магазина и подают ее поочередно на РМ.

Безрельсовые тележки (робокары). Они функционируют в современных системах транспортирования и имеют специальные элементы навигации. В простейшем случае тележки перемещаются только на основе использования штриховых и магнитных кодов. Более современные конструкции тележек обеспечивает сход с трассы движения, самостоятельное движение к определенному месту и возврат на трассу. Наиболее перспективны полностью роботизированные системы, способные к самостоятельному перемещению и манипулированию.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие существуют разновидности транспортеров?
2. Расскажите, какие требования предъявляются к транспортерам.
3. В чем сущность применения тележек?

4.9. Классификация магазинов и подсистем складирования

Развитие ГАП повысило уровень требований к складированию, которое является очень важным элементом подсистемы обеспечения ГПС заготовками. Склады (магазины) обрабатываемых деталей в подсистеме обеспечения заготовками служат:

- для создания межоперационного запаса обрабатываемых деталей, необходимого для безлюдной работы системы в течение требуемого времени;

- связи с внешними транспортными средствами, используемыми на предприятии;
- выравнивания времени работы отдельных РМ;
- изменения пространственного расположения обрабатываемых деталей, обеспечивающего удобство манипулирования на РМ.

На территории склада выполняются и дополнительные действия (резка прутков на штучные заготовки, измерения, контроль качества, упаковка готовых изделий). С организационно-технической точки зрения склад должен быть соединен с транс-

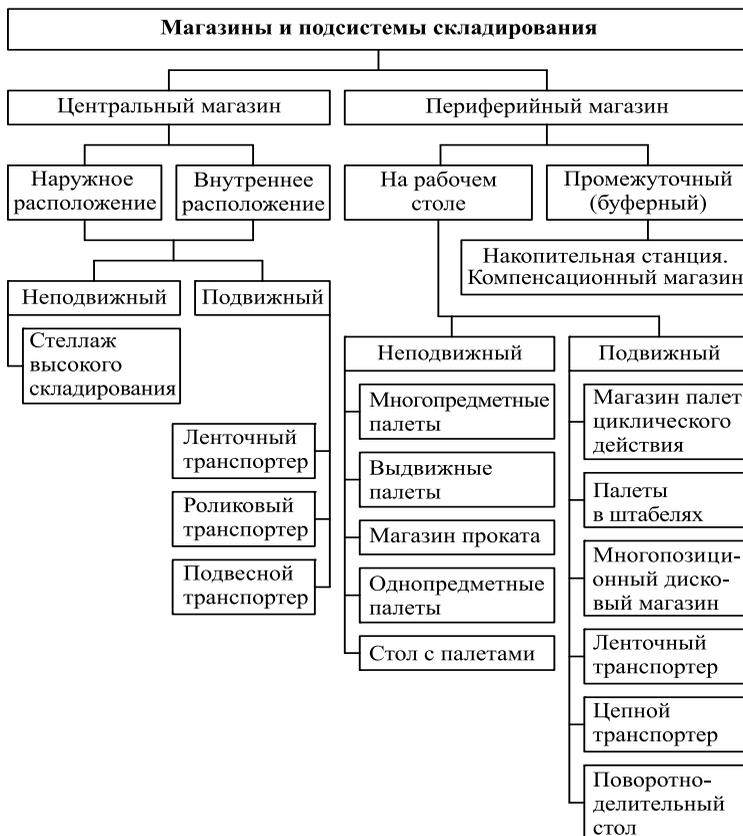


Рис. 4.27. Классификация магазинов и подсистем складирования ГПС

портными устройствами, располагающимися перед ним и после него, а это требует автоматизации всех складских функций.

Классификация магазинов и подсистем складирования, используемых в ГПС, представлена на рис. 4.27.

В качестве основных критериев оценки используются:

- область действия (магазины центральные и периферийные);
- расположение магазина относительно ГПС (наружное и внутреннее);
- возможность перемещения предметов в границах магазина (статические и динамические).

Магазины могут быть статичные (неподвижные) или динамичные (подвижные). В первом случае изделия во время складирования остаются неподвижными, во втором – могут перемещаться.

Контрольные вопросы и задания

1. Для чего предназначены склады (магазины) обрабатываемых деталей?
2. Приведите классификацию магазинов и подсистем складирования ГПС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Маталин, А.А.* Технология машиностроения. Санкт-Петербург – Москва – Краснодар, 2008.
2. *Ковшов, А.Н.* Технология машиностроения. Санкт-Петербург – Москва – Краснодар, 2008.
3. *Новиков, М.П.* Основы технологии сборки машин и механизмов. М., 1980.
4. *Черпаков, Б.И.* Книга для станочника / Б.И. Черпаков, Г.А. Альперович. М., 1999.
5. *Черпаков, Б.И.* Металлорежущие станки / Б.И. Черпаков, Г.А. Альперович. М., 2004.
7. *Косовский, В.Л.* Справочник фрезеровщика / В.Л. Косовский. М., 2001.
8. *Бердигов, Л.Н.* Работа на фрезерных станках / Л.Н. Бердигов. Л., 1987.
10. *Ганевский, Г.М.* Допуски, посадки и технические измерения / Г.М. Ганевский, И.И. Гольдин. М., 1980.
12. *Шатерина, М.А.* Технология конструкционных материалов / М.А. Шатерина. Санкт-Петербург, 2005.
13. *Фельдштейн, Е.Э.* Обработка деталей на станках с ЧПУ / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. Минск, 2005.
14. *Каштальян, И.А.* Обработка на станках с числовым программным управлением / И.А. Каштальян. Минск, 1989.
15. *Чернов, Н.Н.* Технологическое оборудование (Металлорежущие станки) / Н.Н. Чернов. Ростов на Дону, 2009.
16. *Мельников, Н.Ф.* Технология машиностроения / Н.Ф. Мельников, Б.Н. Бристоль, В.И. Дементьев. М., 1977.
17. *Акулич, Н.В.* Технология машиностроения / Н.В. Акулич. Минск, 2008.
18. *Филимонов, И.П.* Инновации в технологии машиностроения / И.П. Филимонов, И.Л. Баршай. Минск, 2009.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Основы проектирования технологических процессов	5
1.1. Машина как объект производства	5
1.2. Основные понятия о производственном и технологическом процессах	16
1.3. Структура технологического процесса	18
1.4. Типы машиностроительного производства	23
1.5. Точность механической обработки	29
1.6. Точность обработки на станках с ПУ	36
1.7. Качество поверхности.....	41
1.8. Нормы шероховатости поверхности.....	45
1.9. Заготовки деталей машин	51
1.10. Базирование заготовок при обработке.....	57
1.11. Припуски на механическую обработку	69
1.12. Технологическая документация и ее оформление	70
1.13. Основы построения технологического процесса	74
1.14. Особенности структуры технологического процесса обработки на станках с ПУ	89
1.15. Этапы проектирования ТП для станков с ПУ	91
1.16. Методы разработки маршрутных технологических процессов обработки деталей на станках с ПУ	95
1.17. Особенности обработки на многоцелевых станках.....	100
1.18. Виды обработки в машиностроении	102
1.19. Технологичность конструкции изделий	104
1.20. Виды технологичности	108
1.21. Общие требования к технологичности конструкций деталей	111
1.22. Общие требования заготовительных операций к технологичности конструкции	113
1.23. Общие требования механической обработки к технологичности конструкции	115
1.24. Технологические требования к элементарным поверхностям деталей машин	116
Глава 2. Обработка основных поверхностей	125
2.1. Классификация методов обработки поверхностей	125
2.2. Обработка наружных поверхностей тел вращения (валов)	125

2.3. Образование резьбовых поверхностей	146
2.4. Обработка внутренних поверхностей тел вращения (отверстий)	168
2.5. Технология обработки на сверлильных станках и их оснастка.....	176
2.6. Технология сверления и рассверливания отверстий на сверлильных станках	185
2.7. Обработка отверстий на горизонтально-расточных станках	189
2.8. Протягивание и шлифование отверстий.....	199
2.9. Отделка отверстий	205
2.10. Обработка плоских поверхностей	211
2.11. Фрезерование пазов	216
2.12. Обработка плоских поверхностей на протяжных и шлифовальных станках	221
2.13. Обработка сложных (фасонных) поверхностей на токарных станках	227
2.14. Обработка фасонных поверхностей на фрезерных станках.....	231
2.15. Обработка зубчатых поверхностей.....	239
2.16. Обработка шпоночных канавок и шлицевых поверхностей.....	283
2.17. Плазменная обработка заготовок	291
2.18. Лазерная обработка заготовок	295
2.19. Электроискровая и электрохимическая обработка	305
2.20. Анодно-механическая обработка.....	308
2.21. Ультразвуковая обработка	311
2.22. Технология электроэрозионной обработки на станках с ПУ.....	312
2.23. Общая характеристика процесса электроэрозионной обработки	317
2.24. Преимущества и недостатки электроэрозионной обработки	319

Глава 3. Технология сборки машин 321

3.1. Основные положения и определения технологического процесса сборки	321
3.2. Проектирование технологических процессов сборки.....	328
3.3. Периоды сборочного процесса	336
3.4. Технологическая документация процесса сборки	337
3.5. Формы организации сборочных работ.....	339
3.6. Механизация и автоматизация сборочного процесса.....	342

Глава 4. Перспективы развития машиностроения 352

4.1. Гибкая автоматизация производства	352
4.2. Обеспечение заготовками и деталями в гибких производственных системах.....	354
4.3. Классификация транспортных средств.....	355
4.4. Структура гибких производственных систем.....	358

4.5. Формы организации гибких производственных систем	361
4.6. Средства гибкой автоматизации производства.....	362
4.7. Палеты для складирования и транспортирования корпусных деталей.....	367
4.8. Устройства для перемещения деталей	372
4.9. Классификация магазинов и подсистем складирования	377
Литература	380

Учебное издание

Мычко Виктор Степанович

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебное пособие

Редактор *Т.К. Хваль*
Художественный редактор *В.А. Ярошевич*
Технический редактор *Н.А. Лебедевич*
Корректор *Т.К. Хваль*
Компьютерная верстка *Н.В. Шабуня*

Подписано в печать 05.09.2011. Формат 84×108/32. Бумага для офсетной печати. Гарнитура «Нимбус». Офсетная печать. Усл. печ. л. 20,16. Уч.-изд. л. 16,0. Тираж 950 экз. Заказ 2159.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”».
ЛИ № 02330/0494062 от 03.02.2009. Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.
e-mail: info@vshph.by <http://vshph.by>

Филиал №1 открытого акционерного общества «Красная звезда». ЛП № 02330/0494160
от 03.04.2009. Ул. Советская, 80, 225409, Барановичи.

Мычко, В. С.
М95 **Основы технологии машиностроения : учеб. пособие /**
В. С. Мычко. – Минск : Выш. шк., 2011. – 382 с. : ил.
ISBN 978-985-06-2014-9.

Содержит сведения о технологии машиностроения. Освещены вопросы базирования и установки заготовок при обработке на станках, точности обработки и сборки, технологичности конструкции деталей и рационального выбора заготовки, а также принципы проектирования технологических процессов обработки резанием и сборки машин.

Для учащихся учреждений профессионально-технического образования по специальностям «Механическая обработка металла на станках и линиях», «Техническая эксплуатация оборудования», «Технология обработки металлов давлением». Также может быть полезно рабочим в повышении квалификации.

УДК 621(075.32)
ББК 34.5я722