

**Н.В. Акулич**

**Теоретические основы технологии  
машиностроения**

## Оглавление

	Аннотация .....	5
	Введение.....	6
<b>Раздел 1</b>	<b>Теоретические основы технологии машиностроения</b>	<b>9</b>
	1.1 Машина как объект производства .....	9
	1.2 Производственный и технологический процессы.....	20
	1.3 Общий обзор применяемых методов обработки деталей машин .....	30
	1.3.1 Механическая обработка деталей машин .....	30
	1.3.2 Электрофизическая и электрохимическая обработка деталей машин .....	37
	1.3.3 Термическая и химико-термическая обработка деталей машин .....	50
	1.4 Характеристика структурных элементов технологического процесса .....	56
	1.5 Характеристика типов производства .....	65
<b>Раздел 2</b>	<b>Технологичность конструкции изделий</b> .....	<b>74</b>
	2.1 Технологичность конструкции машин .....	74
	2.2 Технологичность конструкции деталей машин .....	86
<b>Раздел 3</b>	<b>Технологическое обеспечение качества изготовления машин</b> .....	<b>98</b>
	3.1 Базы и базирование в машиностроении .....	98
	3.2 Точность обработки деталей .....	112
	3.2.1 Понятие о точности .....	112
	3.2.2 Факторы, влияющие на точность обработки .....	116
	3.3 Качество поверхностей деталей машин.....	122
	3.3.1 Понятие о качестве поверхности .....	122
	3.3.2 Критерии оценки шероховатости поверхности .....	129
	3.3.3 Влияние качества обработанной поверхности на	

	эксплуатационные свойства деталей машин .....	134
<b>Раздел 4</b>	<b>Виды исходных заготовок и методы их получения .....</b>	<b>138</b>
<b>Раздел 5</b>	<b>Технология обработки типовых поверхностей деталей машин .....</b>	<b>151</b>
	5.1 Обработка наружных поверхностей тел вращения ...	151
	5.2 Обработка отверстий .....	166
	5.3 Обработка резьбовых поверхностей .....	175
	5.4 Обработка плоских поверхностей .....	182
	5.5 Нарезание венца цилиндрических зубчатых колес ....	189
	5.6 Выбор исходных заготовок деталей машин .....	192
	5.6.1 Основные требования к заготовкам .....	192
	5.6.2 Предварительная обработка заготовок .....	196
	5.7 Припуски на механическую обработку .....	201
<b>Раздел 6</b>	<b>Технологические процессы сборки .....</b>	<b>209</b>
	6.1 Классификация сборочных работ .....	209
	6.2 Сборка типовых соединений и передач .....	222
	6.2.1 Сборка неподвижных разъемных соединений .....	222
	6.2.2 Сборка неподвижных неразъемных соединений ....	228
	6.2.3 Сборка подшипниковых узлов .....	238
	6.2.4 Сборка зубчатых передач .....	242
	6.3 Балансировка и досборочная обработка деталей .....	244
	6.4 Составление схемы сборки .....	253
	6.5 Контроль качества сборки .....	258
	Литература .....	263

## **Аннотация**

В книге изложены основные теоретические основы технологии машиностроения, освещены вопросы базирования заготовок при обработке на металлорежущих станках, точности обработки, технологичности конструкции изделий. Рассмотрены основные виды заготовок и методы их получения. Изложены технологические процессы обработки типовых поверхностей деталей машин, а также методы изготовления изделий из пластмасс. Освещены технологические процессы сборки машин и типовых сборочных единиц.

Книга предназначена для учащихся машиностроительных специальностей средних специальных учебных заведений. Может быть использована студентами экономических специальностей высших учебных заведений.

## **Введение**

Машиностроение является одной из важнейших и ведущих отраслей народного хозяйства. Именно машиностроение в значительной степени определяет материальную основу технического прогресса и темпы развития всех других отраслей промышленности, сельского хозяйства, энергетики, транспорта.

Для того чтобы постоянно удовлетворять растущие потребности производства, машиностроение на базе новейших достижений науки и техники должно не только улучшать конструкции различных технических устройств, но и непрерывно совершенствовать технологии их производства.

Быстрое развитие машиностроительного производства требовало научного разрешения вопросов, связанных с изготовлением машин, что привело к возникновению науки о технологии машиностроения.

Предметом технологии машиностроения является изучение закономерностей, действующих в процессе изготовления машин заданного качества в установленном программой выпуска количестве, в заданные сроки и при наименьшей себестоимости.

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.

Научные работы по вопросам технологии машиностроения появились с началом развития машиностроительного производства. В этих работах обобщался накопленный производственный опыт. Первым капитальным трудом, посвященным технологии металлообработки, является трехтомный труд русского ученого И.А. Тиме «Основы машиностроения. Организация машиностроительных фабрик в

техническом и экономическом отношении и производство в них работ» (1885). Эта работа была итогом систематизации и научного обобщения автором обширного производственного опыта. И.А. Тиме впервые сформулировал основные законы резания и установил правильное понимание сущности этого процесса. Его исследования легли в основу науки о резании металлов.

Интенсивное развитие технологии машиностроения как научной дисциплины началось с конца 20-х годов прошлого столетия. Обобщением опыта автотракторной промышленности стали работы А.И. Каширина «Основы проектирования технологических процессов» (1933) и В.М. Кована «Технология автотракторостроения» (1935). Работа Б.С. Балакшина «Теория размерных цепей» (1933) дала возможность технологам путем предварительных расчетов решать технологические задачи, обеспечивающие повышение точности изготовления машин.

В 50-70 годах прошлого столетия проводилось много исследований по адаптивному управлению станками, по групповой обработке, определению влияния различных факторов на точность обработки и качество поверхности. В разработке этих проблем принимали участие Б.С. Балакшин, С.П. Митрофанов, В.С. Корсаков и другие ученые. Одновременно проводились работы по созданию автоматического оборудования с системами числового программного управления (ЧПУ), разработке нового металлообрабатывающего инструмента с применением синтетических сверхтвердых материалов и алмазов, минералокерамики, абразивных материалов и др.

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.

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

Книга написана в соответствии с типовой учебной программой курса «Технология машиностроения», в которой отражены новые государственные стандарты машиностроительных специальностей средних специальных учебных заведений.

# **Раздел 1 Теоретические основы технологии машиностроения**

## **1.1 Машина как объект производства**

Машиностроение является одной 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 машин, 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, двигатель внутреннего сгорания, паровые 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. Различают 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 механическую 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 (вращательные, 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.

Машина-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 состояние 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 аппаратов, как правило, неподвижны. Иногда аппараты включают устройства для транспортирования обрабатываемых объектов (транспортеры термических печей, различные загрузочные и дозирующие устройства и др.).

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 производства, подлежащих изготовлению на данном предприятии. Изделием может быть машина, ее элементы в сборе и отдельные детали, если они являются продуктом конечной стадии данного

производства. Например, для автомобильного завода изделием является автомобиль, для завода редукторов – редуктор, для завода поршней – поршень и т.п.

Изделия могут быть неспецифицированными (не имеющими составных частей) и специфицированными (состоящими из двух и более частей).

**Деталь** – это изделие, изготавливаемое из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. Характерным признаком детали является отсутствие 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 общее свойство 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: бурильная 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 рассматривается как одно из важнейших условий развития национальной экономики. Снижение 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 в договорах. Качество машин закладывается в их конструкцию при проектно-конструкторских разработках, обеспечивается на заданном уровне в производстве и поддерживается в течение 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 *показателем качества продукции*.

Номенклатура показателей качества промышленной 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, занимающаяся 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 поршней 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*, под которой понимают 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 ими 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.

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

Показатели *надежности* характеризуют свойства изделия сохранять в установленных пределах значения всех параметров и его способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Надежность изделия в зависимости от его назначения может быть оценена его безотказностью, долговечностью,

ремонтпригодностью и сохраняемостью.

При этом под безотказностью изделия понимают его свойство сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки без вынужденных, т.е. нерегламентированных перерывов. *Отказ* – это событие, заключающееся в нарушении работоспособности изделия. Основными показателями безотказности являются вероятность появления отказов, средняя наработка на отказ, интенсивность отказов.

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 предельного 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 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, рациональность 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.

*Транспортабельность* 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 изготовления, расходами в сфере эксплуатации, технического обслуживания и ремонтов, а также 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.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Дать определение понятию «машина».
2. Пояснить виды машин в зависимости от области использования и функционального назначения.
3. Пояснить основные типы производственных машин.
4. Дать определение понятию качества промышленной продукции.
5. Назвать основные группы показателей качества изделий.
6. Пояснить 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. Дать определение понятию производственного цикла. Факторы, влияющие на длительность производственного цикла.

### **1.2 Производственный и технологический процессы**

Промышленное производство является наиболее крупной и ведущей областью сферы материального производства. Оно представляет собой систему взаимосвязанных отраслей, занятых добычей и переработкой промышленного и сельскохозяйственного сырья в готовую продукцию, необходимую для общественного производства и личного потребления. Важнейшей отраслью народного хозяйства является машиностроение. Машиностроительное производство основано на преимущественном применении при выпуске продукции методов технологии машиностроения. Основной продукцией машиностроения являются металлорежущие станки, автомобили, тракторы, сельскохозяйственные машины, оборонная продукция, оборудование для энергетики, строительная техника и другие виды машин и механизмов.

Машиностроительное производство в целом представляет собой множество организационно и экономически самостоятельных производственных единиц, называемых предприятиями машиностроения.

Машиностроительное предприятие является сложноорганизованной, целенаправленной системой, объединяющей людей и орудия производства для обеспечения выпуска изделий.

Процесс изготовления машин и механизмов на машиностроительном предприятии состоит из комплекса работ, в результате которых исходные материалы и полуфабрикаты превращаются в готовое изделие. Отдельные виды исходных материалов, деталей и узлов (подшипники, электродвигатели, гидроавтоматика, резинотехнические изделия и др.) машиностроительный завод может получать в качестве комплектующих изделий от других промышленных предприятий.

Совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых для изготовления или ремонта изделий на данном предприятии, называют **производственным процессом**.

Производственный процесс современных машиностроительных предприятий представляет собой единый взаимосвязанный комплекс работ, охватывающих подготовку средств производства и организацию обслуживания рабочих мест, процессы получения исходных заготовок и готовых деталей, процессы сборки, испытания, технического контроля, хранения, транспортировки, упаковки и сбыта готовой продукции, а также другие виды работ, связанные с выпуском продукции.

В зависимости от значения и роли в изготовлении продукции различают основные, вспомогательные и обслуживающие производственные процессы.

*Основной процесс* обеспечивает производство товарной продукции. Он непосредственно связан с изготовлением деталей и сборкой из них машин и механизмов. В ходе основных производственных процессов сырье и материалы превращаются в готовую продукцию заданного качества. К основному производству относятся, например, обработка заготовок на металлорежущих станках, термическая и химико-термическая

обработка, ковка, штамповка, сварка, сборка и др. Примерная структура основного производственного процесса представлена на рис. 1.

*Вспомогательные процессы* обеспечивают стабильную и ритмичную работу основного процесса и заняты изготовлением продукции и оказанием услуг, необходимых основному производству. К этим работам относят, например, изготовление металлорежущих инструментов и технологической оснастки, наладка и ремонт оборудования, изготовление контрольно-измерительных инструментов, заточка инструмента, обеспечение предприятия электрической и тепловой энергией, сжатым воздухом, углекислым газом, кислородом, ацетиленом и другие виды работ.

Изделия основного производства предназначены для реализации по договорам и на свободном рынке, а изделия вспомогательного производства используются только внутри предприятия-изготовителя.

*Обслуживающие процессы* должны обеспечивать бесперебойную и ритмичную работу всех подразделений предприятия. К ним относятся меж- и внутрицеховой транспорт, погрузочно-разгрузочные работы, складирование и хранение сырья, материалов, комплектующих изделий, уборка цехов и территории предприятия. Сюда можно отнести также заводские лаборатории, лечебные учреждения, столовые и др.

В зависимости от технической оснащенности, т.е. в зависимости от участия рабочего производственные процессы подразделяются на ручные, ручные механизированные, машинно-ручные, машинные, автоматизированные и аппаратурные.

В случае *ручных процессов* воздействие на предмет труда осуществляется рабочим с помощью каких-либо инструментов, но без применения любых источников энергии. Это, например, заворачивание гайки ключом, сверление отверстия ручной дрелью.

*Ручные механизированные процессы* характеризуются тем, что

технологические операции выполняются рабочим с помощью ручных механизированных орудий труда, т.е. с использованием каких-либо источников энергии, например, сверление отверстий электродрелью, зачистка литья переносным наждачным кругом и т.п.

К *машинно-ручным* относятся процессы, когда воздействие на предмет труда производится с помощью машины или механизма, но при обязательном участии рабочего, например, сверление отверстия на сверлильном станке с ручной подачей.

*Машинные* процессы осуществляются на машинах, станках и других видах технологического оборудования без непосредственного участия рабочего, а роль рабочего при этом заключается в обеспечении машины материалом, снятии готовой продукции, пуске и остановке оборудования и пр.

*Автоматизированные* производственные процессы выполняются на станках-автоматах, автоматизированных поточных линиях и других видах автоматизированного оборудования, а роль рабочего в этом случае сводится к контролю за ходом процесса и выполнению пуско-наладочных работ.

*Аппаратурные* процессы имеют место тогда, когда воздействие на предмет труда происходит каким-либо видом энергии – тепловой, химической, электрической. К этим видам процессов можно отнести, например, металлургические процессы, термическую и химико-термическую обработку, приготовление пара, сушку, различные химические процессы. Рабочие в этом случае наблюдают за работой аппаратов и при необходимости вмешиваются в ход протекающих в них процессов.

В зависимости от стадии изготовления, т.е. от места в процессе изготовления изделия, различают заготовительные, обрабатывающие и сборочные производственные процессы. Заготовительные процессы

превращают сырье и материалы в исходные заготовки, по форме и размерам приближающиеся к готовым деталям. В машиностроении это, например, литейные, кузнечно-штамповочные цехи, цеха по первичной обработке проката. Обрабатываемыми являются процессы, в ходе которых заготовки превращаются в готовые детали, форма, размеры и свойства которых заданы конструктором на чертеже. К этой фазе относятся обработка заготовок на металлорежущих станках, термическая и химико-термическая обработка, гальванические, окрасочные и другие работы. Сборка узлов, агрегатов и отдельных деталей в готовые изделия производится в отдельных цехах или на отдельных участках цехов.

Кроме того, в производственном процессе предусматриваются контроль качества, регулирование и испытание изготовленной продукции, т.е. проверка тех параметров, которые и определяют ее качество, назначение и применение.

Важнейшим элементом производственного процесса является технологический процесс.

**Технологическим процессом** называют часть производственного процесса, содержащую целенаправленные действия по изменению и последующему определению состояния предмета труда. Под изменением состояния предмета труда понимают изменение его физических, механических, химических свойств, геометрических размеров, внешнего вида. В зависимости от содержания различают технологические процессы получения заготовок, изготовления деталей, сборки отдельных узлов и машины в целом, окраски машины и др. Последующее определение состояния предмета труда означает последовательный контроль произведенного «изменения» предмета производства.

По последовательности выполнения различают технологические процессы изготовления исходных заготовок, их обработки и сборки изделий.

В технологическом процессе изготовления заготовок происходит превращение материала в исходные заготовки деталей машин путем литья, обработки давлением, резки сортового проката, а также комбинированными методами. В результате технологического процесса обработки в определенной последовательности происходит непосредственное изменение состояния обрабатываемой заготовки, т.е. изменение ее размеров, формы или физико-механических свойств. При этом под обработкой понимают действие, направленное на изменение свойств предмета труда при выполнении технологического процесса. К отдельным видам обработки можно отнести, например, обработку резанием, обработку давлением, термическую обработку, поверхностное упрочнение деталей и др.

Совокупность значений параметров технологического процесса в определенном интервале времени называется *технологическим режимом*. При обработке резанием, например, параметрами технологического режима являются скорость резания, глубина резания и подача; при термической обработке – скорость нагрева, температура нагрева, длительность выдержки и скорость последующего охлаждения.

Технологический процесс может осуществляться при наличии соответствующих орудий производства, называемых *средствами технологического оснащения*. При этом к технологическому оснащению относят технологическое оборудование и технологическую оснастку.

*Технологическим оборудованием* называют средства технологического оснащения, в которых для выполнения определенной части технологического процесса размещают материалы или заготовки, средства воздействия на них, а также технологическая оснастка. К технологическому оборудованию можно отнести, например, литейные машины, металлорежущие станки, нагревательные печи, гальванические ванны, ковочные молоты, испытательные стенды и т.д.



*Технологической оснасткой* называют средства технологического оснащения, дополняющие технологическое оборудование для выполнения определенной части технологического процесса. К технологической оснастке относят режущий инструмент, штампы, приспособления, измерительные средства, модели, литейные формы и др.

Степень прогрессивности технологического процесса можно оценить качественными и количественными показателями.

Качественный показатель прогрессивности технологического процесса характеризует его основную идею, технический метод реализации этой идеи, а также степень приближения реального технологического процесса к такой его модели, которая может быть разработана с учетом последних достижений науки и техники.

С количественной стороны прогрессивность технологического процесса можно оценить системой показателей, основными из которых по ГОСТ 27782-88 являются коэффициент использования материала, расходный коэффициент, коэффициент раскроя материала. *Коэффициент использования материала* характеризует степень полезного расхода материала на производство изделия. *Расходный коэффициент* – это показатель, обратный коэффициенту использования материала. *Коэффициент раскроя* материала характеризует степень использования массы (площади, длины, объема) исходного материала при раскрое по отношению к массе (площади, длине, объему) всех видов полученных заготовок или деталей.

Производственную деятельность завода осуществляют входящие в его состав цехи, участки, различные службы и подразделения, в которых изготавливается, проходит контрольные проверки и испытания основная продукция, комплектующие изделия, материалы и полуфабрикаты, запасные части для обслуживания изделий и ремонта их в процессе эксплуатации. Цех является основной производственной единицей

машиностроительного предприятия. При этом по ГОСТ 14.004-83 под *цехом* понимают совокупность производственных участков.

Цех характеризуется выполнением работ технологически однородного вида, наличием определенного типажа технологического оборудования и определенных видов профессий рабочих. Например, в механических цехах производят обработку деталей машин резанием на металлорежущих станках, профессии рабочих – токари, фрезеровщики, сверловщики, расточники и др.

Цех является обособленным в административном отношении звеном, выполняющим определенную часть общего производственного процесса изготовления продукции. Цехи осуществляют свою деятельность на принципах хозяйственного расчета.

*Производственный участок* – это группа рабочих мест, организованных по предметному, технологическому или предметно-технологическому принципам.

В зависимости от выполняемых функций и роли в изготовлении продукции цехи, как правило, подразделяются на производственные, вспомогательные и обслуживающие.

Кроме того, почти на каждом машиностроительном предприятии имеются подразделения, занимающиеся повышением производственной квалификации рабочих, инженерно-технических работников, служащих.

Состав цехов и служб предприятия с указанием связей между ними называют его производственной структурой.

Особую роль в производственной структуре предприятия играют *конструкторские бюро, научно-исследовательские и испытательные станции*. В них разрабатываются конструкции новых изделий, новые технологические процессы, проводятся экспериментальные исследования и опытно-конструкторские работы, проводится доработка конструкции изделия и т.п.

Производственная структура цеха определяется главным образом конструктивными и технологическими особенностями продукции цеха, объемом выпуска продукции, формой специализации цеха и его кооперированием с другими цехами.

Основными элементами производственной структуры цеха являются *участки и линии*, обеспечивающие изготовление деталей и сборку узлов и изделий, составляющих производственную программу цеха и завода. Кроме основных производственных участков и линий в состав цехов входят также вспомогательные отделения и службы, обеспечивающие функционирование производственных участков. Это, например, отделения и участки по восстановлению режущего инструмента, его ремонта, цеховая ремонтная база по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, сбора и переработки стружки, контрольные и испытательные отделения и др.

Производственная структура цеха представлена на рис. 2.

Основные производственные участки могут создаваться по технологическому или по предметному принципу. На участках, организованных по принципу *технологической специализации*, выполняют технологические операции определенного вида. Например, в механическом цехе могут быть организованы токарный, фрезерный, шлифовальный, слесарный и другие участки, в сборочном – участки узловой и окончательной сборки изделий, испытаний их частей и систем, контрольно-испытательные станции и др.

На участках, организованных по принципу *предметной специализации*, осуществляют не отдельные виды операций, а технологические процессы в целом, вследствие чего получают законченную продукцию для данного участка. Например, выделяют участок по обработке корпусных деталей, валов, зубчатых и червячных колес, метизов и т.п. В некоторых случаях за цехом или участком

закрепляют технологический процесс изготовления отдельного изделия или какой-либо ограниченной номенклатуры изделий, например, цехи редукторов, муфт, коробок передач и т.п. В этом случае детали и узлы распределяют по отдельным цехам или участкам цехов в зависимости от их массы, сложности, функционального назначения или других признаков. Установка и расположение оборудования на таких участках осуществляется по ходу технологического процесса изготовления определенных деталей или готовых изделий.

Рационально организованный технологический процесс изготовления изделия должен обеспечивать заданное качество продукции и производительность труда, а также ритмичность работы, стабильность качества во времени и выпуск продукции в требуемом объеме. При решении вопросов развития производства, его технического перевооружения и реконструкции особенно важно правильно определить наиболее перспективные объекты производства, потребность рынка в этих объектах как в ближайшее время, так и на длительную перспективу. Вся научно-техническая, производственная и сбытовая деятельность предприятия должна быть направлена на выпуск конкурентоспособных и пользующихся спросом изделий, в том числе и на мировом рынке.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Дать общую характеристику машиностроительному производству.
2. Дать определение и пояснить содержание производственного процесса в машиностроении.
3. Дать определение технологическому процессу в машиностроении.
4. Как подразделяются производственные процессы в зависимости от технической оснащенности?
5. Что называется средствами технологического оснащения? Пояснить примерами.
6. Пояснить подразделение цехов машиностроительного предприятия по выполняемым функциям.

7. Пояснить производственную структуру цеха.
8. Пояснить сущность технологической и предметной специализации цехов машиностроительного предприятия.
9. Пояснить задачи, решаемые при техническом перевооружении и реконструкции производства.

## **1.3 Общий обзор применяемых методов обработки деталей машин**

### **1.3.1 Механическая обработка деталей машин**

Заготовительные процессы в большинстве случаев не обеспечивают для многих ответственных деталей машин заданных конструктором требований к точности, качеству поверхности и другим параметрам, обуславливающим надежность изделия. Возможности широко применяемых промышленностью заготовительных процессов (прокатка, литье, ковка, штамповка) позволяют достичь шероховатости  $Ra=6,3\ldots 5,0$  мкм и 8...10 квалитетов. Но для большинства деталей, особенно входящих в различные сопрягаемые соединения, предъявляются более высокие требования к качеству поверхности. Поэтому для таких деталей применяются дополнительные технологические способы обработки, обеспечивающие получение более точных размеров и необходимых свойств поверхности.

Существует много методов размерной обработки заготовок деталей машин. Однако среди этих методов основное место принадлежит **механической обработке резанием на металлорежущих станках**. Доля механической обработки весьма значительна и во многих случаях составляет от 30 до 70% трудоемкости изготовления изделия. Большинство методов механической обработки резанием позволяет получать различные сложные поверхности, например, резьбы, шлицы, зубчатые колеса и др. Поэтому обработка резанием является в настоящее время основным

способом получения заданной точности и качества поверхности деталей.

Для материального осуществления процесса резания создается обрабатывающая система, включающая станок, приспособление, инструмент, технологическую среду, необходимые контрольно-измерительные и регулирующие устройства. Часто из этой системы выделяют лишь ее механическую часть – систему станок–приспособление–инструмент–заготовка. Сокращенно эта система в технологии машиностроения называется системой СПИЗ.

До обработки будущая деталь называется заготовкой. При этом по ГОСТ 3.1109-82 под *заготовкой* понимают предмет труда, из которого изменением формы, размеров, свойств поверхности и (или) материала изготавливают деталь. Заготовку перед первой технологической операцией называют *исходной заготовкой*. Слой материала, удаляемый с поверхности заготовки, в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности называют *припуском*. Снятый с заготовки металл образует стружку. Таким образом, обработка резанием – это обработка, заключающаяся в образовании новых поверхностей отделением поверхностных слоев материала с образованием стружки.

Механическая обработка требует значительных затрат энергии. Например, на снятие 1кг стружки черных металлов затрачивается 0,42...0,43 кВт ч энергии. Максимальные потери металла в стружку имеют место при обработке деталей типа втулок, гильз, труб и др. Хотя многие из этих деталей изготавливают не из монолитных заготовок, а из трубного проката, однако и в этом случае отходы металла в стружку составляют от 30 до 60% от массы заготовки. В настоящее время технологические процессы механической обработки, при которых в стружку уходит до 20% металла, считаются достаточно совершенными.

Важнейшим элементом технологического обеспечения операций обработки заготовок резанием являются технологические среды.

Традиционными технологическими средами являются различные смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Практикой установлено, что СОЖ оказывает существенное влияние на процесс резания и на качество обработанной поверхности. К числу традиционных СОЖ относятся растворы специальных мыл в воде (эмульсии), растительные и минеральные масла, осерненные масла и др. При правильно подобранных составах технологических сред и способах их подвода стойкость режущего инструмента может быть повышена в 4...8 раз.

В зависимости от технологической схемы обработки, применяемого режущего инструмента и характера обрабатываемых поверхностей используют следующие основные способы механической обработки деталей машин: точение, сверление, фрезерование, шлифование, строгание и др.

Выбор способа обработки и соответствующего металлорежущего оборудования зависит от требований точности и шероховатости поверхности, вида заготовки и ее размеров, припуска на обработку, а также от программы выпуска, типа производства и других факторов. Применение агрегатных, специализированных, многошпиндельных станков нерационально в условиях мелкосерийного производства, однако в массовом и крупносерийном производстве использование таких станков экономически оправдывается. Для единичного и мелкосерийного производства применяют, как правило, универсальные станки.

Вид и размеры режущего инструмента во многом зависят от материала обрабатываемой заготовки, ее размеров, требуемой точности и шероховатости поверхности. Для большинства случаев обработки резанием применяют стандартный режущий инструмент, что обусловлено технической и экономической целесообразностью. Затраты на инструмент входят в себестоимость обработки, поэтому необходимо стремиться к наиболее полному использованию его режущих свойств. Следует также

иметь ввиду, что на производительность обработки значительное влияние оказывает стойкость режущего инструмента и материал его режущей части.

Для обработки стали рекомендуется применять инструмент с пластинками из двухкарбидных титано-вольфрамовых сплавов Т15К6, Т14К8, Т30К4 и др. Для обработки чугуна, цветных металлов и неметаллических материалов используются сплавы на основе карбида вольфрама марок ВК6, ВК8, ВКЗМ и др. В случае обработки ковкого чугуна рекомендуется применять титано-тантало-вольфрамовые твердые сплавы типа ТТ7К12 и ТТ10К8Б. Для чистового точения без ударных нагрузок и при достаточной жесткости системы СПИЗ рекомендуется использовать инструмент, оснащенный пластинками из минералокерамических сплавов, например ЦМ322 и ВО13. Применяется также сборный инструмент, оснащенный многогранными неперетачиваемыми пластинками из твердых сплавов с механическим креплением.

В последние годы разработаны инструментальные твердые сплавы, не содержащие дефицитного карбида вольфрама. Он заменяется карбидами титана с добавками молибдена, никеля и других тугоплавких металлов. Это, например, сплавы марок ТМ1, ТМ3, ТН-30, КТН-16 и др. Эти сплавы целесообразно применять при обработке низколегированных сталей вместо сплавов Т30К4 и Т15К6.

Обработка заготовок на металлорежущих станках должна происходить при оптимальных, т.е. наивыгоднейших режимах резания. Это означает, что должно быть такое сочетание отдельных элементов процесса резания (скорости резания, глубины резания и подачи), которое обеспечивало бы выполнение данной операции качественно и с наименьшими затратами труда. Оптимальные режимы резания выбирают с учетом технических условий на изготовление детали, а также с учетом



обеспечения наиболее полного использования технических возможностей станка и инструмента.

Одним из основных способов механической обработки заготовок является **точение**. На станках токарной группы можно выполнять следующие виды работ: точение цилиндрических, конусообразных и фасонных поверхностей; точение и подрезку торцевых поверхностей; протачивание канавок и отрезание; растачивание цилиндрических и фасонных поверхностей; нарезание резьбы резцами.

На современных токарных станках с ЧПУ можно обрабатывать различные периферические поверхности (отверстия, пазы, канавки), а также нарезать резьбу метчиками, плашками, гребенками и др.

Небольшие детали (массой не более 0,3...0,5 кг), преимущественно сложной формы и с центральным отверстием, обрабатываются главным образом на токарно-револьверных станках. Сменные инструменты (резцы, сверла, метчики, развертки и др.), необходимые для выполнения различных технологических операций, закрепляются в револьверной головке станка, что значительно сокращает вспомогательное время на обработку.

Плоские и фасонные поверхности, пазы, шпоночные канавки обрабатывают **фрезерованием**. Плоскости, расположенные горизонтально, вертикально и наклонно, могут быть получены фрезерованием цельными цилиндрическими или сборными фрезами. Пазы угловые, Т-образные, прямоугольные и «ласточкин хвост» выполняют фрезерованием по методу копирования профиля фрезы. При этом для обработки пазов с таким профилем вначале прорезают концевой фрезой прямоугольный паз, а затем Т-образной фрезуют Т-образный участок или угловой – углы «ласточкина хвоста». Шпоночные пазы получают фрезерованием дисковыми, концевыми или шпоночными фрезами. Нарезание зубьев колеса производится модульными концевыми, дисковыми или червячными

фрезами. Кроме зубофрезерования применяют также и другие способы – зубодолбление, зуботочение и т.д.

При фрезеровании допускаются высокие скорости резания, так как зубья фрезы работают периодически. Например, современными торцевыми фрезами с пластинками из твердого сплава стальные заготовки можно обрабатывать со скоростью до 500 м/мин.

На сверлильных станках производят **сверление, зенкерование, развертывание** отверстий, а также **нарезание резьбы** метчиками. Режущий инструмент с цилиндрическим хвостовиком закрепляется в сверлильном патроне, а с коническим – непосредственно или с помощью переходных втулок в шпинделе станка. Размеры посадочных мест (номера конусов) стандартизированы.

Для повышения производительности при обработке на сверлильных станках, уменьшения вспомогательного времени используют указатели глубины работы инструмента, упоры, кондукторы и различные устройства, автоматизирующие циклы работы станков. Применение кондукторов, например, позволяет обойтись без трудоемких операций разметки и значительно повысить точность обработки.

Перед обработкой заготовку на сверлильных станках устанавливают вручную, с помощью манипулятора, робота, базируют и закрепляют в машинных тисках, кондукторе и др.

Операцию **строгания** выполняют резцами при возвратно-поступательном главном движении и прерывистом движении подачи. При строгании прямой ход резца является рабочим, обратный – холостым. Такая схема предполагает низкую производительность и является основным недостатком процесса строгания. Однако строгание широко применяется в единичном и мелкосерийном производстве при изготовлении рам и плит, для обработки направляющих станин станков, кромок листов и др. Особенности операции является сравнительная

простота конструкции строгальных станков и инструмента. При черновом строгании на продольно-строгальных станках достигается точность 10...11 квалитетов при параметрах шероховатости поверхности  $Ra=5...10$  мкм. Чистовым строганием можно получить 7...8 квалитет и  $Ra=0,8...1,6$  мкм, а тонким – 6...7 квалитет и  $Ra$  до 0,4 мкм.

**Шлифованием** называют процесс обработки абразивными материалами. В большинстве случаев шлифование является отделочной операцией, обеспечивающей точность обработки 6...9 квалитетов и шероховатость  $Ra=0,4...0,8$  мкм. Шлифование применяют также для обдирочных работ (например, для зачистки литья) и для заточки режущих инструментов. В соответствии с характером операций и видом применяемых станков различают шлифование круглое в закрепленной детали и бесцентровое, плоское и специальное (шлифование резьбы, зубчатых и червячных колес).

Процесс шлифования отличается высокими скоростями резания – до 50м/с, что вызывает необходимость использования смазочно-охлаждающих жидкостей.

При выборе шлифовального круга руководствуются характером обрабатываемой поверхности, твердостью материала заготовки и заданной шероховатостью поверхности. Чем тверже материал заготовки, тем мягче должен быть круг, и наоборот, так как при твердом материале зерно круга будет изнашиваться интенсивнее, быстрее выпадет из круга и уступит место новому, острому зерну. Для чистовой и отделочной обработки твердых материалов, закаленных сталей применяют преимущественно мягкие мелкозернистые круги. Кругами средней твердости шлифуют незакаленную сталь, чугун. Для черновой обдирки заготовок применяют крупнозернистые твердые круги. Например, для закаленной стали выбирают круги среднемягкие СМ1 и СМ2 или средние С1 и С2.

Скорость вращения круга назначается максимально возможной в

соответствии с его прочностной характеристикой и кинематическими данными станка.

Абразивные инструменты во время работы обладают способностью частично или полностью самозатачиваться. Сущность самозатачивания состоит в постоянном выкрашивании затупившихся зерен, в скалывании рабочих зерен под действием сил резания и обновлении острых граней новых зерен. Процесс самозатачивания в значительной степени зависит от материала абразивных зерен. У неправильно подобранных шлифовальных кругов наблюдается так называемое «засаливание» – забивание пор стружкой и продуктами износа круга. Для восстановления режущей способности круга и исправления его геометрической формы, нарушенной вследствие износа, применяют правку специальными алмазными карандашами, металлическими дисками (шарошками) или абразивными кругами.

С целью получения поверхности высокого качества и точности высших квалитетов применяют отделочные и доводочные способы обработки металлов мелкозернистыми абразивными брусками и пастами – **хонингование, суперфиниширование и притирку**. Хонингованием, например, обрабатывают цилиндры двигателей внутреннего сгорания, компрессоров, гидравлической аппаратуры.

Улучшение использования металлорежущих станков и повышение производительности при обработке резанием можно достичь за счет таких факторов, как совершенствование конструкции режущих инструментов; применение новых высокоэффективных инструментальных материалов; одновременная обработка нескольких поверхностей; увеличение числа одновременно обрабатываемых заготовок; совершенствование их технологичности и процесса измерений обрабатываемых поверхностей, в том числе и в ходе их обработки; механизация установки и закрепления заготовки на станке, а также организация труда и производств.

Одним из основных путей, превышающих эффективность использования станочного парка, является унификация технологических процессов изготовления конструктивно подобных деталей. Это позволяет совершенствовать каждый отдельно взятый унифицированный процесс путем отработки оптимальных режимов резания, совершенствования оснастки, механизации и автоматизации вспомогательных приемов и операций. Кроме того, увеличение количества унифицированных технологических операций создает условия для организации труда наиболее прогрессивными методами, упрощает учет и планирование. Поэтому в результате унификации технологических процессов наблюдается улучшение основных экономических показателей деятельности предприятия: рост производительности труда, снижение себестоимости продукции, повышение фондоотдачи.

### **1.3.2 Электрофизическая и электрохимическая обработка деталей машин**

Важные задачи современного машиностроения позволяют решать электрофизические и электрохимические методы размерной обработки. Особенно важное значение имеют эти методы для изготовления изделий из материалов высокой твердости, обработка которых традиционными методами невозможна или крайне затруднительна. К таким материалам можно отнести, например, алмаз, рубин, кварц, твердые сплавы, некоторые полупроводниковые материалы (германий, кремний) и др. С повышением твердости материалов эффективность применения этих методов обработки существенно возрастает.

Особенно эффективно применение электрофизических и электрохимических методов обработки в инструментальном производстве, в частности, для изготовления штампов, фильер, пресс-форм и другой технологической оснастки. Например, стойкость штампов, рабочие части

которых изготовлены из твердых сплавов, в 8-10 раз выше, чем из инструментальных сталей.

Этими методами можно выполнить и некоторые специфические операции, например, изготовить отверстие с криволинейной осью или некруглой формы, извлечь сломанный инструмент из отверстия и др.

При использовании электрофизических и электрохимических методов обработки удаление металла с обрабатываемой поверхности происходит в результате термического или химического действия электрического тока, подводимого к заготовке и инструменту. Воздействие тока может проявляться в виде нагревания металла до температуры его плавления или электрохимического (анодного) растворения.

**Электрофизическая** обработка заключается в изменении формы, размеров или параметров шероховатости поверхности заготовки с применением электрических разрядов, магнитострикционного эффекта, электронного или оптического излучения, плазменной струи. В связи с этим к электрофизическим относятся электроэрозионные, ультразвуковые, лучевые и плазменные методы размерной обработки материалов.

Рассмотрим некоторые наиболее распространенные методы электрофизической обработки.

**Электроэрозионные методы** применяются для обработки токопроводящих материалов любой прочности, твердости и вязкости. Они основаны на явлении электрической эрозии, то есть направленном разрушении материала под действием тепла, вызываемого электрическими импульсными разрядами. Эти разряды возбуждаются между обрабатываемой деталью и электродом-инструментом.

Для всех этих методов характерно наличие жидкой диэлектрической среды (керосин, соляр) между деталью и электродом. Жидкая среда исключает нагрев электродов и способствует концентрации тепловой энергии разряда на малом участке поверхности. Она впоследствии удаляет

(смывает) продукты эрозии из зоны обработки.

Электроэрозионную обработку применяют для изготовления рабочих поверхностей штампов, пресс-форм, литейных форм, рабочих колес турбин, точных отверстий и др. При этом для формообразования сложных поверхностей применяют копировально-прошивочные операции, электроэрозионное шлифование, вырезание электродом-проволокой и другие операции и соответствующее оборудование.

Разновидностями электроэрозионной обработки являются *электроискровая, электроконтактная и электроимпульсная*.

Принципиальная схема станка для электроискровой обработки показана на рис. 3. Обрабатываемую заготовку 2 устанавливают на подставке 1 на дне металлической ванны 3, заполненной керосином или соляровым маслом. Деталь соединяется с положительным полюсом 8 источника постоянного тока и является анодом. Инструмент 4 соединен с отрицательным полюсом 7 и выполняет функцию катода. Инструмент изолирован и закреплен в ползуне 5, совершающим вертикальные перемещения вверх и вниз в направляющих 6. Его изготавливают из латуни, меди или медно-графитовой композиции. Металлическая ванна изолирована от стола станка прокладками из винипласта, резины или из других электроизоляционных материалов.

Электрический ток идет от отрицательного полюса 7 генератора постоянного тока к электроду 4 (инструменту) и далее через заполненный жидкостью промежуток к обрабатываемой заготовке 2 и к положительному полюсу 8 источника тока. При опускании электрода и приближении его к поверхности детали (без касания) между ними возникает электрический разряд (проскакивает искра). Силу тока регулируют реостатом 9. В электрическую цепь включена батарея конденсаторов 10, позволяющая накапливать энергию, которая затем выделяется в виде мощных импульсных разрядов, непрерывно следующих

один за другим.

Мгновенная плотность тока в канале проводимости достигает  $8...10$  тыс.  $A/mm^2$ , в результате чего температура на поверхности обрабатываемой детали-электрода возрастает до  $10...12$  тыс.  $^{\circ}C$ . Благодаря кратковременности процесса теплота не может распространиться по объему всего электрода, а поэтому происходит мгновенное плавление и испарение элементарного объема металла анода (обрабатываемой детали). Скорость съема материала достигает  $0,12...0,20$  мм/мин и зависит в основном от технологических режимов обработки, свойств обрабатываемого материала, площади и формы обрабатываемой поверхности. Частота импульсов  $2...5$  кГц. При достаточно слабом режиме можно получить шероховатость поверхности  $Ra=0,4...0,8$  мкм. Обработку можно вести с точностью размеров до  $0,1...0,2$  мм.

При обработке отверстий диаметром больше 6 мм инструмент, как правило, выполняют пустотелым в виде трубы, что позволяет расходовать меньше энергии. Пустотелыми электродами-инструментами из листа или полосы можно вырезать заготовки сложного контура, что заменяет холодную листовую штамповку (вырубку). Инструмент должен иметь профиль, аналогичный профилю прошиваемого отверстия. При этом размеры инструмента должны быть несколько меньше размеров отверстия. Зазор между поверхностями инструмента и отверстия зависит от электрического режима обработки и от свойств обрабатываемого материала и материала электрода. Например, при прошивании стальной заготовки латунным электродом зазор принимают равным  $0,05...0,20$  мм. С уменьшением величины зазора качество обработанного отверстия повышается. В современных станках для электроискровой обработки расстояние между электродами контролируется автоматически и выбирается таким, чтобы обработка не прекращалась. Оптимальная величина межискрового промежутка обычно находится в пределах



0,03...0,05 мм.

Достаточно широкое распространение получает также электроискровое шлифование. Инструмент-электрод в этом случае изготавливают из серого чугуна в виде диска, с помощью которого можно обрабатывать любые металлы. Электроискровое шлифование можно применять, например, для заточки режущих инструментов, оснащенных пластинками из твердых сплавов (рис. 4). В этом случае затачиваемый инструмент *1* (резец) является анодом (подключен к положительному полюсу), а чугунный диск *2* играет роль катода (подключен к отрицательному полюсу). Скорость вращения диска 12...25 м/с. Зазор между диском и затачиваемым резцом 0,05...0,2 мм. В результате проскакивания через этот зазор электрической искры наблюдается отделение мельчайших частиц с затачиваемой поверхности режущей пластинки из твердого сплава, которые в процессе заточки смываются струей масла. Точность заточки можно регулировать путем изменения силы тока и его напряжения.

**Ультразвуковая обработка** основана на физическом явлении магнитострикции, т.е. изменении размеров сердечника, помещенного в магнитное поле, изменяющееся с ультразвуковой частотой (18...25 кГц). Свойством магнитострикции обладают ферромагнитные материалы – железо, никель, кобальт и их сплавы.

Схема ультразвуковой обработки показана на рис. 5. При появлении магнитного поля сердечник *1* уменьшается в размерах поперечного сечения и удлиняется. Заготовку *4* помещают в ванну, куда подается абразивная суспензия. Энергия колебательного движения сердечника-инструмента передается абразивным частицам, которые получают скорость до 40...50 м/с. Зерна абразива ударяются в поверхность обрабатываемой заготовки и выбивают с нее элементарные частицы объема материала, которые затем удаляются из зоны обработки вместе с

циркулирующей суспензией.

Инструмент для ультразвуковой обработки изготавливают из низкоуглеродистой пластичной стали. Он должен иметь форму, соответствующую обрабатываемой поверхности. При ультразвуковой обработке можно получать отверстия различной формы.

В отличие от электроэрозионных методов, позволяющих обрабатывать только токопроводящие материалы, на ультразвуковых станках можно обрабатывать стекло, керамику, фарфор, кварц, рубины, алмазы, германий и другие твердые и хрупкие материалы. В качестве абразива применяют карбид бора, карбид кремния или алмазную пыль, а в качестве жидкости, несущей абразив, используется вода.

Производительность процесса ультразвуковой обработки зависит от размеров обрабатываемого отверстия, амплитуды и частоты колебаний инструмента, размера абразивных зерен, концентрации суспензии, а также механических свойств материала обрабатываемой заготовки. Наиболее эффективно обрабатываются хрупкие материалы (стекло, керамика, драгоценные минералы и др.). Хуже обрабатываются мягкие углеродистые и легированные стали, так как при этом процесс обработки сопровождается микропластическими деформациями. Скорость обработки твердых сплавов составляет 0,3...0,5 мм/мин, закаленной стали – 0,05...0,10 мм/мин, стекла и керамики – 2...15 мм/мин. Отклонение диаметра сквозных отверстий, как правило, не превышает 0,01...0,02 мм.

Использование мелких абразивных зерен и небольшой амплитуды (около 0,05 мм) позволяет получать детали высокой точности и с высоким качеством обработанной поверхности. Увеличение размера зерна абразива повышает производительность процесса, но снижает точность обработки и повышает шероховатость поверхности.

На практике ультразвук широко применяют также для очистки деталей от жировых и механических загрязнений, продуктов коррозии,

лакокрасочных покрытий и т.п.

**Электронно-лучевая обработка** основана на использовании тепловой энергии, выделяющейся при столкновении быстро движущихся электронов с обрабатываемым материалом. Плотность тепловой энергии при этом составляет до  $10^6 \dots 10^7$  Вт/см<sup>2</sup>, а диаметры электронных пучков 0,5...500 мкм. Высокая плотность энергии сфокусированного электронного луча позволяет осуществлять размерную обработку детали вследствие расплавления и испарения материала с узлокального участка. Процесс обработки осуществляется в глубоком вакууме.

В оборудование для электронно-лучевой обработки входят обычно электронная пушка, вакуумная камера с вакуумной системой и источник питания с аппаратурой управления процессом. В электронной пушке производится генерирование электронов, формирование их в пучки и разгон до высоких скоростей.

Электронно-лучевую обработку применяют для изготовления деталей из твердых сплавов, титана, вольфрама, кварца и других труднообрабатываемых материалов. Этим методом можно получать отверстия диаметром 1...10 мкм, прорезать фасонные пазы и щели, резать металл, обрабатывать часовые камни, сопла для прядения и др. Скорость съема материала на черновых режимах составляет 20...30 мм<sup>3</sup>/мин, на чистовых – 1...2 мм<sup>3</sup>/мин; точность обработки находится в пределах 5...20 мкм; параметр шероховатости поверхности  $Ra=3,2 \dots 0,8$  мкм.

Основными недостатками этого метода обработки являются необходимость защиты от рентгеновского излучения, относительно высокая стоимость и сложность оборудования и необходимость применения глубокого вакуума.

**Лазерная обработка** основана на применении мощного светового потока, вызывающего плавление или испарение обрабатываемого материала. Размерная обработка материалов осуществляется обычно при плотности

потока не менее  $10^7 \dots 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>. Источником светового излучения является **лазер** – оптический квантовый генератор. Работа лазера основана на принципе стимулированного генерирования светового излучения.

Энергия светового импульса обычно невелика и составляет от 20 до 100 Дж. Выделяется эта энергия в миллиардные доли секунды и концентрируется в луче диаметром около 0,01 мм. Сфокусированное лазерное излучение, попадая на непрозрачные материалы (металлы и их сплавы), вызывает их локальный нагрев до 6000...8000°С, плавление или интенсивное испарение. Для осуществления размерной обработки наиболее часто используют импульсы с длительностью 0,5...1,5 мс.

Процессы, в которых плотность потока импульса лазерного излучения такова, что за время его действия вещество существенно не плавится, относятся к лазерной термообработке.

Лазерная обработка отличается рядом особенностей: возможностью проведения обработки в местах, недоступных для другого обрабатывающего инструмента; способностью луча проникать через любую прозрачную среду, не нарушая ее и значительно не снижая свою интенсивность; отсутствием механического контакта между заготовкой и инструментом-лучом, что облегчает крепление заготовки и устраняет возможность появления нежелательных деформаций.

Мощные лазеры позволяют производить раскрой и резку материалов, упрочняющую поверхностную обработку и сварку различных материалов без возникновения в них механических напряжений, неизбежных при обычной обработке. При этом обрабатывать с достаточно высокой точностью можно заготовки из любых металлов и сплавов, а также алмазы, рубины и другие твердые и хрупкие материалы.

Все производственные процессы с использованием лазеров реализуются с помощью технологических лазерных установок. При этом независимо от назначения и типа применяемых лазеров установки имеют

общую структурную схему (рис. 6). Лазер 1 обеспечивает энергетические и временные параметры воздействия, оптическая система 4 формирует пространственные характеристики светового пучка как инструмента обработки. Питание лазера и управление его работой осуществляется специальным устройством 3. Точность, производительность и удобство обработки определяются характеристиками системы управления 7 и координатным столом 6 при перемещении детали 5 или лазерного луча. Для увеличения эффективности воздействия лазерного излучения имеется устройство 8 для подачи различных газовых сред в зону обработки. Все технологические лазерные установки снабжаются системой охлаждения 2 лазерного излучателя.

Благодаря специфическим свойствам лазерного излучения, характеризующегося высокой концентрацией, энергия светового пучка может быть значительно локализована с помощью фокусирующего объектива, что позволяет контролировано удалять микроскопические объемы материала и таким образом выполнять очень точную (прецизионную) обработку. Этот метод используют, например, для получения отверстий в алмазных фильерах для волочения тонкой проволоки, в часовых рубиновых камнях, в электронной промышленности при производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем, для резки стекла, для обработки камней в ювелирной промышленности.

В настоящее время достаточно широко распространено применение лазеров для раскроя и резки различных материалов, так как одновременно с высокой точностью и производительностью обработки обеспечивается значительная экономия материала.

Скорость резки, толщина разрезаемого материала, ширина прорезей и зоны термического воздействия изменяются в зависимости от мощности лазерного пучка, степени его фокусировки и теплофизических свойств материала. Скорость резки при толщине листа металла до 3 мм составляет

от 10 до 25 м/мин. Средняя ширина реза не превышает при этом 0,3...0,8 мм. Для повышения производительности обработки резку осуществляют в присутствии активного (кислород) или инертного (азот, аргон) газа, подаваемого через сопло к месту резки (рис. 7). Данный способ резки материалов известен под названием *газолазерной резки*.

Лазерная резка материалов широко используется в современной автомобильной, судостроительной, аэрокосмической промышленности, в сельхозмашиностроении, а также для раскроя тканей, резки бумаги, картона и для других целей.

**Плазменная обработка** – это такой технологический процесс, при котором для удаления материала с обрабатываемых заготовок используется струя плазмы. *Плазма* представляет собой частично или полностью ионизированный газ, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов практически одинаковы.

Обработку плазменной струей осуществляют с помощью специальной горелки, в которой дуговой разряд возникает в узком электрически нейтральном канале между двумя электродами. Вдоль столба дуги пропускают газ, который в зоне разряда ионизируется, приобретает свойства плазмы и выходит из горелки в виде ярко светящейся струи, имеющей температуру около 15000°С. В качестве рабочего газа наиболее часто используют гелий, аргон, водород, азот или их смеси (например, 80% N<sub>2</sub> и 20% H<sub>2</sub>).

Плазменную обработку используют в основном для снятия поверхностных слоев металла с цилиндрических заготовок на токарном станке, для вырезания заготовок из листового металла, для прошивания отверстий, для обработки отверстий и пазов небольших размеров. Однако «плазменное точение» целесообразно лишь при обработке жаропрочных сталей и других трудно обрабатываемых материалов и для черновой обдирки.

Плазменную технологию можно использовать также для сварки, пайки и нанесения защитных покрытий на деталях, работающих в сложных условиях высоких температур и агрессивных сред. В качестве покрытий используют при этом тугоплавкие металлы, карбиды металлов и др. Плазменную обработку применяют также для получения порошков металлов и сплавов, используемых в порошковой металлургии.

К основным недостаткам этого процесса следует отнести относительную сложность и громоздкость оборудования и необходимость специальных правил техники безопасности и охраны труда.

**Электрохимическая обработка** основана на явлении локального анодного растворения металла при электролизе. Образующиеся продукты растворения (шлам) в виде солей или гидроксидов металлов удаляются с поверхности анода (заготовки) либо гидравлическим потоком электролита, либо механическим путем. В качестве электролита наиболее часто используются водные растворы солей  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaNO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Для интенсификации процесса обработки электролит подогревают до  $40 \dots 80^\circ\text{C}$ .

При использовании электрохимических методов силовое воздействие инструмента на материал обрабатываемой заготовки практически отсутствует, поэтому механические свойства материала существенного влияния на процесс обработки не оказывают.

Наиболее эффективно обрабатывать электрохимическими методами высоколегированные жаропрочные и нержавеющие стали, твердые сплавы, титановые и магниевые сплавы, полупроводниковые и другие трудно обрабатываемые материалы.

Процессы электрохимической обработки применяются в основном для формоизменения сложных поверхностей ковочных штампов, пресс-форм, лопаток турбин и компрессоров; для обработки и прошивания отверстий и полостей любой формы; для отрезания заготовок электродом-диском и для других операций.

К недостаткам электрохимических процессов следует отнести сравнительно низкую точность обработки и необходимость надежной антикоррозионной защиты элементов электрохимических станков. Кроме того, все электрохимические процессы отличаются более высокой энергоемкостью по сравнению с обработкой резанием на металлорежущих станках.

Основными разновидностями электрохимической обработки являются электрохимическое полирование, электрохимическая размерная обработка и анодно-механическая обработка.

*Электрохимическое полирование* ведут в ваннах, заполненных электролитом (рис. 8). Форма катода 1 определяется формой обрабатываемой детали 2. Участки, не подлежащие обработке, изолируются защитными покрытиями. При обработке используют постоянный ток напряжением 6...12 В.

При подаче напряжения на электроды начинается растворение поверхности заготовки-анода. Растворение происходит главным образом на выступах микронеровностей поверхности вследствие более высокой плотности тока на их вершинах. В результате избирательного растворения, т.е. растворения выступов, происходит сглаживание микронеровностей обрабатываемой поверхности. При этом поверхность как бы выравнивается и уменьшается параметр шероховатости до  $Ra = 0,8...0,2$  мкм.

Наибольшее распространение получила *электрохимическая размерная обработка* профилированным электродом. Рабочая часть инструмента представляет собой профиль обратный профилю детали. При сближении электродов поверхность анода (заготовки) начинает растворяться и в точности копировать поверхность катода (инструмента). В зависимости от сложности и размеров профиля точность обработки составляет 0,1...0,5 мм. Она зависит главным образом от межэлектродного



зазора, напряжения тока, скорости циркуляции электролита, его температуры и других факторов. С уменьшением расстояния между электродами интенсивность анодного растворения увеличивается. Подбирая электролит электрохимическими методами можно обрабатывать практически любые токопроводящие материалы, достигая при этом высокого качества обрабатываемой поверхности. Скорость съема металла составляет обычно 0,1...1,2 мм/мин.

Схема обработки электрохимическим методом турбинной лопатки 2 показана на рис. 9. Инструмент-катод 1 имеет форму, обратную форме обрабатываемой поверхности. Обработка ведется в струе проточного электролита. Как видно, в этом случае одновременно обрабатывается вся поверхность заготовки, находящаяся под активным воздействием катода, что обеспечивает высокую производительность процесса.

Одним из преимуществ электрохимической обработки является возможность ее сочетания с другими процессами и создания на этой основе совмещенных (комбинированных) методов обработки. Наибольшее распространение из этих методов получила анодно-механическая и электроабразивная обработка, когда удаление продуктов анодного растворения производится главным образом механическим воздействием электрода-инструмента. Это сочетание позволяет увеличивать производительность обработки до 20 раз, не снижая качества обработки.

Схема *анодно-механического разрезания* металлов приведена на рис. 10. В качестве инструмента-катода 1 обычно используются стальные или чугунные диски толщиной 0,5...5 мм. Заготовке 2 и инструменту (диску) заданы такие же движения, как и при обычных методах механической обработки резанием. В зону обработки непрерывной струей через трубку 3 подают электролит. Окружная скорость диска 5...25 м/с. Зазор между диском и обрабатываемой заготовкой не превышает 0,05 мм.

Анодно-механическим способом можно обрабатывать заготовки из

всех токопроводящих материалов, высокопрочных и трудно обрабатываемых металлов и сплавов, вязких материалов.

Эксплуатация установок для электрохимической обработки предусматривает наличие интенсивной вентиляционной системы для удаления газообразных продуктов процесса.

### **1.3.3 Термическая и химико-термическая обработка деталей машин**

**Термическая обработка** представляет собой комплекс операций теплового воздействия, проводимых в определенной последовательности с целью изменения структуры и свойств материала заготовки. Термической обработке подвергается почти половина объема стали, используемой в машиностроении.

Термическая обработка является одним из самых эффективных и распространенных способов изменения свойств металлов и сплавов. Являясь, как правило, конечной технологической операцией при изготовлении деталей машин и инструментов, она определяет их структуру, механические и эксплуатационные свойства. Термической обработке подвергают также слитки, отливки, поковки и штамповки, сварные соединения.

Кроме того, термическая обработка применяется и как промежуточная операция для улучшения технологических свойств металла (обрабатываемости давлением, резанием и др.).

Характер операций термической обработки обусловливается конструктивными и эксплуатационными требованиями, а также требованиями технологии механической обработки.

Основными технологическими параметрами, определяющими свойства сплавов после термической обработки, являются температура и скорость нагрева, длительность выдержки при выбранной температуре

нагрева и скорость последующего охлаждения. Изменяя эти параметры, можно получить сплав с теми или иными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

В зависимости от режимов обработки, определяющих фазовые и структурные изменения в металле, различают следующие виды термической обработки – отжиг, закалку и отпуск. Некоторые из этих операций имеют разновидности.

*Отжиг* производится для снижения твердости, увеличения пластичности и вязкости и улучшения обрабатываемости стали. Чаще всего отжигу подвергаются отливки, сварные конструкции, продукция прокатного производства. В результате отжига снижаются внутренние напряжения, выравнивается химический состав материала по объему заготовки и устраняется его структурная неоднородность. В отдельных случаях отжиг применяют для изменения физических свойств стали. Например, с помощью отжига можно изменить магнитные свойства трансформаторных сталей.

Отжиг является длительной операцией, продолжающейся иногда до 12...14 ч. Поэтому часто для углеродистых сталей вместо отжига применяют нормализацию. В этом случае деталь после нагрева до 920...950°C и непродолжительной выдержки охлаждается не вместе с печью (как при отжиге), а на воздухе в цехе, что экономичнее. Нормализованные детали имеют хорошее сочетание прочности и вязкоупругих свойств и применяются в узлах, подвергающихся сравнительно невысоким знакопеременным нагрузкам.

*Закалка* является одним из основных видов упрочняющей термической обработки. Она производится для повышения твердости, износостойкости и упругости сталей. После закалки наряду с высокой твердостью стали приобретают одновременно и наибольшую хрупкость. Главным отличием закалки от других операций термической обработки

является высокая скорость охлаждения, достигаемая применением различных закалочных сред.

Большинство конструкционных сталей под закалку нагревают до температуры 800...880°C. Температура нагрева под закалку инструментальных сталей составляет 760...780°C. Длительность нагрева зависит от теплопроводности стали, способа нагрева, типа печи, формы и размера детали. Наибольшая скорость нагрева достигается при индукционном нагреве, наименьшая – в пламенных печах. Ориентировочно для углеродистых сталей при нагреве в электрических печах время нагрева до 800...850°C принимают равным 1...2 мин на каждый миллиметр толщины детали.

После достижения заданной температуры изделие выдерживается в печи в течение некоторого времени для полного прогрева по сечению и завершения структурных превращений. Обычно время выдержки принимают равным 15...25% от длительности нагрева.

Наиболее распространенными закалочными средами являются вода, водные растворы солей или щелочей (например, 10% раствор NaCl или 10...15% раствор NaOH), минеральные масла, расплавленные металлы.

Назначая режимы закалки, следует иметь в виду, что не все стали одинаково хорошо принимают закалку, т.е. приобретают после закалки высокую твердость. Закаливаемость сталей определяется в основном содержанием углерода. Низкоуглеродистые стали, содержащие углерода до 0,3%, практически не закаливаются, так как при закалке их механические свойства не изменяются.

Закалка всегда связана с резким охлаждением, в результате чего внутренние и наружные слои металла детали охлаждаются с разной скоростью. Это приводит к возникновению значительных внутренних напряжений.

Для уменьшения хрупкости сталей после закалки, а также для

снижения или полного устранения внутренних напряжений закаленные детали подвергают конечному процессу термической обработки – *отпуску*. В практике термообработки используют три вида отпуска – низкий, средний и высокий.

*Низкий отпуск* заключается в нагреве закаленной детали до 150...200°C, выдержке в течение 1,0...1,5 ч и последующего медленного охлаждения (иногда вместе с печью). Твердость стали при этом практически не снижается, а прочность и вязкость повышаются. Этот вид отпуска применяют в основном для режущего и измерительного инструмента из углеродистых и низколегированных сталей, а также для деталей, прошедших поверхностную закалку и химико-термическую обработку.

*Среднему отпуску* подвергаются углеродистые и легированные стали, из которых изготавливают пружины, рессоры и некоторые виды штампового инструмента. Схема такого отпуска включает нагрев до 300...450°C, выдержку продолжительностью от 1...2 до 3...8 ч в зависимости от размеров детали и охлаждение, выполняемое, как правило, на воздухе.

*Высокий отпуск* назначают в основном для конструкционных среднеуглеродистых сталей, для которых его совмещение с закалкой дает наилучшее сочетание прочности и вязкости. Процесс отпуска включает нагрев до 500...650°C, выдержку в течение 1...8 часов в зависимости от размеров детали и последующего охлаждения на воздухе. Высокий отпуск применяется главным образом для деталей, работающих при значительных знакопеременных нагрузках (валы, оси и др.).

Закалку с последующим высоким отпуском называют *улучшением*. Улучшенные стали обладают высокими показателями пределов текучести, выносливости и ударной вязкости.

После термической обработки производят очистку деталей травлением в растворах кислот с последующей промывкой,

электрохимическим травлением, обдувкой на дробеструйных установках для удаления окалины, мойкой в моечных баках или машинах для удаления масла, солей и других загрязнений.

Срок службы многих деталей, испытывающих значительные нагрузки, зависит от механических характеристик поверхностей трения. Одним из способов улучшения свойств поверхности деталей, изготовленных из различных конструкционных сталей, является химико-термическая обработка.

**Химико-термической обработкой** называют диффузионное насыщение поверхностных слоев стали различными элементами. Применяют этот способ обработки для повышения твердости, износостойкости, сопротивления усталости, а также для защиты от электрохимической и газовой коррозии.

Основными преимуществами химико-термической обработки являются возможность сравнительно легко регулировать качество поверхностного слоя и создавать значительный градиент свойств от поверхности к сердцевине, а также получать упрочненные слои весьма малой толщины.

Наиболее распространенными операциями химико-термической обработки стали являются цементация, азотирование и нитроцементация (или цианирование).

*Цементацией* называется технологический процесс диффузионного насыщения поверхности стали углеродом. Цементации обычно подвергают такие детали машин, которые должны иметь высокую износостойкость рабочих поверхностей и вязкую сердцевину, например валы, оси, зубчатые колеса, детали кулачковых механизмов и др. Цементации подвергают детали, изготовленные из низкоуглеродистых сталей с содержанием углерода до 0,3%. После цементации сталь подвергают закалке и низкому отпуску. Толщина цементованного слоя составляет около 1,0...1,5 мм, а

концентрация углерода в нем повышается до 0,8...1,0%.

*Азотированием* называют процесс диффузионного насыщения азотом поверхностной зоны деталей. До азотирования детали подвергают окончательной чистовой механической и термической обработке. Улучшение свойств стали при азотировании является результатом образования в поверхностном слое нитридов – устойчивых химических соединений азота с другими элементами. Наиболее высокую твердость и термическую стойкость имеют нитриды металлов, содержащихся в стали в качестве легирующих добавок. Поэтому наибольший эффект достигается при азотировании легированных сталей, содержащих, например, хром, алюминий, молибден и др.

*Нитроцементация или цианирование* – это процесс одновременного насыщения поверхности стали углеродом и азотом. Процесс проводят либо в газовой среде, либо в расплавленных солях, содержащих цианистую группу CN. В первом случае процесс называется нитроцементацией, во втором – цианированием.

На практике достаточно часто для улучшения эксплуатационных свойств деталей машин применяют диффузионное насыщение поверхностного слоя стали алюминием (алитирование), хромом (хромирование), кремнием (силицирование), бором (борирование) и другими элементами. Возможно и комбинированное насыщение двумя или несколькими элементами.

В результате такой обработки повышается коррозионная стойкость, жаростойкость, износостойкость рабочих поверхностей деталей. Эти свойства поверхности особенно необходимы для многих деталей теплоэнергетического машиностроения. Образующиеся диффузионные покрытия способны защищать детали при высоких температурах, так как на их поверхностях в окислительной среде образуются плотные оксидные пленки из  $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $SiO_2$ . Эти пленки препятствуют диффузии

кислорода воздуха и тем самым предохраняют в дальнейшем основной металл от окисления. Упрочняющий эффект при борировании достигается за счет образования в поверхностных слоях стали боридов железа ( $\text{Fe}_2\text{B}$ ,  $\text{FeB}$ ) и легирующих элементов, которые имеют высокую твердость.

Из других процессов химико-термической обработки следует отметить *сульфидирование* – насыщение стальной поверхности серой. В результате этого на поверхности детали образуется тонкая пленка сульфидов железа ( $\text{FeS}$ ,  $\text{FeS}_2$ ). Слой, содержащий соединения серы, ускоряет приработку трущихся поверхностей, улучшает адсорбцию масла и предотвращает схватывание и задиры. Применяют сульфидирование для деталей подшипников скольжения, работающих в условиях граничной смазки при сравнительно небольших удельных нагрузках.

### Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные методы механической обработки.
2. Назовите виды работ, которые можно выполнять на станках токарной группы.
3. Назовите и поясните основные электрофизические методы размерной обработки материалов.
4. Поясните сущность технологии обработки материалов с помощью ультразвука. Преимущественные области применения ультразвуковой обработки.
5. Поясните сущность лазерной обработки материалов.
6. Поясните наиболее эффективные области использования лазерных технологий.
7. Поясните сущность плазменной обработки материалов.
8. Поясните сущность электрохимических методов обработки. Назовите наиболее эффективные области использования этих методов обработки.



## 1.4 Характеристика структурных элементов технологического процесса

Ранее отмечалось, что производство машин на машиностроительных предприятиях осуществляется в результате выполнения комплекса взаимосвязанных технологических процессов, являющихся частями общего производственного процесса предприятия.

Для выполнения технологического процесса создается **рабочее место**, представляющее собой участок производственной площади цеха, оборудованный в соответствии с выполняемой на нем работой. Рабочее место является элементарной единицей структуры предприятия, где размещены исполнители работы, обслуживаемое технологическое оборудование, часть конвейера, устройства для хранения заготовок и изделий, изготовленных на данном рабочем месте, а на ограниченное время – технологическая оснастка и предметы труда.

Технологический процесс обычно расчленяется на части, называемые операциями.

**Технологической операцией** называют законченную часть технологического процесса, выполняемую на одном рабочем месте. Операция охватывает все действия оборудования и рабочих над одним или несколькими совместно обрабатываемыми или собираемыми объектами производства. Так при обработке на станках операция включает все действия рабочего по управлению станком, а также автоматические движения станка, связанные с процессом обработки заготовки до момента снятия ее со станка и перехода к обработке другой заготовки.

Число операций в технологическом процессе зависит от сложности конструкции детали или собираемого изделия и может изменяться в достаточно широких пределах. К отдельным операциям обработки можно отнести, например, сверление, точение, фрезерование, развертывание, нарезание резьбы метчиком и др.

Как видно, операция характеризуется неизменностью рабочего места, технологического оборудования, предмета труда и исполнителя. При изменении одного из этих условий имеет место новая операция.

Однако изменение рабочего места не всегда является критерием законченности операции. Например, обработка на двух сверлильных станках-дублерах, где необходимо постоянное присутствие по одному рабочему возле каждого станка, означает наличие двух рабочих мест, но выполнение одной и той же операции, если на этих станках выполняется одна и та же обработка с одинаковой наладкой оборудования.

В случае если черновая обработка детали, например, выполняется одним рабочим на одном станке, а чистовая – другим рабочим на другом станке, то здесь выполняется две операции. Если же и черновая и чистовая обработка выполняется на одном станке, то это будет одна операция. В случае, если заготовка вначале обрабатывается на станке, затем проходит термообработку и снова возвращается на обработку на этот же станок (или на другой), т.е. имеет место прерывистость в процессе обработки, то процесс состоит из трех операций. Точение вала, выполняемое последовательно сначала на одном конце, а затем после переустановки его в центрах – на другом, является одной операцией.

Следует заметить, что переход к обработке другой заготовки не означает начало новой операции. Заготовка может быть из одной партии с предыдущей. В этом случае операция одна и та же, но повторяется столько раз, сколько заготовок в партии. Поэтому основным критерием другой операции является переналадка станка, т.е. законченность процесса обработки.

Необходимость деления технологического процесса на операции обусловлено в основном двумя факторами. С одной стороны обычно невозможно обработать заготовку со всех шести сторон на одном рабочем месте. Кроме того, при построении технологического процесса по

принципу дифференциации возникает необходимость разделения предварительной и окончательной механической обработки заготовки, поскольку между ними должна быть проведена термическая обработка. С другой стороны по экономическим соображениям нецелесообразно, например, создавать специальный и дорогостоящий станок, позволяющий совмещать на одном рабочем месте проведение многих способов механической обработки.

В крупносерийном и массовом производстве при сборке большого числа одинаковых изделий расчленение сборочного процесса на отдельные операции и закрепление каждой из них за отдельным рабочим местом обуславливает узкую специализацию рабочих в выполнении операций, что обеспечивает более высокую производительность труда и позволяет использовать рабочих сравнительно невысокой квалификации.

Содержание операции определяется многими факторами и, прежде всего, факторами организационного и экономического характера. Диапазон работ, входящих в состав операции, может быть достаточно широк. Операцию может составлять обработка всего лишь одной поверхности на отдельном станке. Например, фрезерование шпоночной канавки на вертикально-фрезерном станке. Изготовление сложной корпусной детали на автоматической линии, состоящей из нескольких десятков станков и имеющей единую систему управления, будет являться также операцией.

Технологическая операция является основным элементом производственного планирования и учета. По операциям определяют трудоемкость процесса, необходимое оборудование, инструмент, приспособления, квалификацию рабочих. На каждую операцию составляется вся плановая, учетная и технологическая документация.

Операции, входящие в состав технологического процесса, выполняют в определенной последовательности. Содержание, состав и

последовательность выполнения операций определяют *структуру* технологического процесса.

Последовательность прохождения заготовки детали или сборочной единицы по цехам и производственным участкам предприятия при выполнении технологического процесса изготовления или ремонта называют *технологическим маршрутом*.

Различают межцеховой и внутрицеховой технологические маршруты.

Структура операции предполагает расчленение ее на составные элементы – установовы, позиции и переходы.

Для обработки заготовки ее необходимо установить и закрепить в приспособлении, на столе станка или другом виде оборудования. При сборке то же самое следует проделать с деталью, к которой должны быть присоединены другие детали.

**Установ** – часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы.

При каждом повторном снятии заготовки и последующем ее закреплении на станке или же при повороте заготовки на какой-либо угол для обработки новой поверхности имеет место новый установ.

В зависимости от конструктивных особенностей изделия и содержания операции она может быть выполнена либо с одного, либо с нескольких установов. В технологической документации установовы обозначаются буквами *А, Б, В* и т.д. Например, при обработке вала на фрезерно-центровальном станке фрезерование торцов вала с двух сторон и их зацентровку выполняют последовательно за один установ заготовки. Полная обработка заготовки вала на токарно-винторезном станке может быть осуществлена только с двух установов заготовки в центрах станка, так как после обработки заготовки с одной стороны (установ *А*) ее

необходимо открепить, перевернуть и установить в новом положении (установ *В*) для обработки с другой стороны. В случае поворота заготовки без снятия ее со станка необходимо указывать угол поворота:  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  и т.д.

Установленная и закрепленная заготовка в случае необходимости может изменять свое положение на станке относительно инструмента или рабочих органов станка под воздействием устройств линейных перемещений или поворотных устройств, занимая новую позицию.

**Позицией** называется каждое отдельное фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции. При обработке заготовки, например, на токарно-револьверном станке позицией будет каждое новое положение револьверной головки. При обработке на многошпиндельных автоматах и полуавтоматах неизменно закрепленная заготовка занимает различные позиции относительно станка путем вращения стола, последовательно подводящего заготовку к разным инструментам.

**Технологический переход** – законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке. Технологический переход, таким образом, характеризует постоянство применяемого инструмента, поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке, а также неизменность технологического режима.

Например, технологическими переходами будут являться получение отверстия в заготовке при обработке спиральным сверлом, получение плоской поверхности детали фрезерованием и т.п. Последовательная обработка одного и того же отверстия в корпусе редуктора расточным резцом, зенкером и разверткой будет состоять соответственно из трех технологических переходов, поскольку при обработке каждым

инструментом образуется новая поверхность.

В токарной операции, схема которой показана на рис. 11,а, выполняются два технологических перехода. Такие переходы называют *простыми* или *элементарными*. Совокупность переходов, когда в работе одновременно участвуют несколько инструментов, называют *совмещенным переходом* (рис. 11,б). При этом все инструменты работают с одинаковой подачей и частотой вращения. В случае, когда происходит изменение последовательно обрабатываемых поверхностей одним инструментом с изменением режимов резания (скорости при обработке на гидрокопировальных станках или скорости и подачи на станках с ЧПУ) при одном рабочем ходе инструмента имеет место *сложный переход*.

Технологические переходы при этом могут выполняться последовательно (рис. 11,а) или параллельно-последовательно (рис. 11,б).

При обработке заготовок на станках с ЧПУ несколько поверхностей могут последовательно обрабатываться одним инструментом (например, подрезным резцом) при его движении по траектории, задаваемой управляющей программой. В этом случае говорят, что указанная совокупность поверхностей обрабатывается в результате выполнения *инструментального перехода*.

Примерами технологических переходов в сборочных процессах могут служить работы, связанные с соединением отдельных деталей машины: приданием им требуемого относительного положения, проверкой достигнутого положения и его фиксацией с помощью крепежных деталей. При этом постановку каждой крепежной детали (например, винта, болта или гайки) следует рассматривать как отдельный технологический переход, а одновременное закручивание нескольких гаек с помощью многошпиндельного гайковерта — как совмещение технологических переходов.

Технологическая операция в зависимости от организации

технологического процесса может быть осуществлена на основе концентрации или дифференциации технологических переходов. При концентрации переходов структура операции включает максимально возможное при заданных условиях количество технологических переходов. Такая организация операции сокращает количество операций в технологическом процессе. В предельном случае технологический процесс может состоять лишь из одной технологической операции, включающей все переходы, необходимые для изготовления детали. При дифференциации переходов стремятся к уменьшению количества переходов, входящих в технологическую операцию. Пределом дифференциации является такое построение технологического процесса, когда в состав каждой операции входит лишь один технологический переход.

Характерной особенностью технологического перехода в любых процессах (кроме аппаратурных) является возможность его обособления на отдельном рабочем месте, т.е. выделение его в виде самостоятельной операции. В случае однопереходной операции понятие операции может совпадать с понятием перехода.

При организации процесса обработки по принципу дифференциации построения операции (а не перехода) технологический процесс расчленяется на одно-, двух-переходные операции, подчиняющиеся по продолжительности такту выпуска. Если операции (например, зубофрезерная, шлицефрезерная) по длительности выходят за пределы такта выпуска, то ставят станки-дублеры. Следовательно, пределом дифференциации служит такт выпуска.

Принцип концентрации операций подразделяется на принцип параллельной концентрации и последовательной. И в том и в другом случае в одной операции концентрируется большое количество технологических переходов, но они распределяются по позициям таким образом, чтобы время обработки на каждой операции было примерно

равно или было меньше такта выпуска. По наибольшему времени по позициям будет определяться норма времени на операцию. По принципу последовательной концентрации все переходы выполняются последовательно, а время обработки определяется суммарным временем по всем переходам.

Технологический переход при обработке резанием может состоять из нескольких рабочих ходов.

Под **рабочим ходом** понимают законченную часть технологического перехода, состоящую из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхности или свойств заготовки. Количество рабочих ходов, выполняемых в одном технологическом переходе, выбирают, исходя из обеспечения оптимальных условий обработки, например уменьшения глубины резания при съеме значительных слоев материала.

Примером рабочего хода на токарном станке является снятие резцом одного слоя стружки непрерывно, на строгальном – снятие одного слоя металла по всей поверхности, на сверлильном – сверление отверстия на заданную глубину.

Рабочие ходы имеют место в тех случаях, когда величина припуска превышает возможную глубину резания и его приходится снимать за несколько рабочих ходов.

При повторении одной и той же работы, например, сверление четырех одинаковых отверстий последовательно, имеет место один технологический переход, выполняемый за 4 рабочих хода; если же эти отверстия выполняются одновременно, то имеет место 4 совмещенных рабочих хода и один технологический переход.

В состав операции входят также элементы, связанные с выполнением вспомогательных движений и необходимые для осуществления технологического процесса. К ним относятся вспомогательные переходы и



приемы.

**Вспомогательный переход** – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров или свойств поверхности, но необходимы для выполнения технологического перехода.

К вспомогательным переходам относятся, например, закрепление заготовки на станке или в приспособлении, смена инструмента, перемещение инструмента между позициями и др. Для сборочных процессов вспомогательными могут считаться переходы по установке базирующей детали на сборочном стенде или в приспособлении на конвейере, перемещение к ней присоединяемых деталей и др.

Для выполнения технологической операции необходимы также вспомогательные ходы и приемы.

**Вспомогательный ход** – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, необходимого для подготовки рабочего хода.

Под **приемом** понимают законченную совокупность действий рабочего, применяемых при выполнении перехода или его части и объединенных одним целевым назначением. Например, вспомогательный переход «установить заготовку в приспособлении» состоит из следующих приемов: взять заготовку из тары, установить в приспособление, закрепить.

Вспомогательные ходы и приемы учитываются при изучении затрат вспомогательного времени на выполнение операции.

Любой технологический процесс протекает во времени. Интервал календарного времени от начала до конца какой-либо периодически повторяющейся технологической операции независимо от числа одновременно изготавливаемых или ремонтируемых изделий называется **циклом технологической операции**.

Подготовку технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению технологической операции называют **наладкой**. К наладке относятся установка приспособления, переключение скорости или подачи, настройка заданной температуры и т.д. Дополнительную регулировку технологического оборудования и (или) оснастки в процессе работы для восстановления достигнутых при наладке значений параметров называют *подналадкой*.

### Вопросы для самопроверки

1. Дать определение технологической операции.
2. Чем обусловлено разделение технологического процесса на операции?
3. Что понимают под технологическим маршрутом?
4. Пояснить структуру технологической операции.

## 1.5 Характеристика типов производства

Машиностроительное производство характеризуется объемом выпуска, программой выпуска продукции, тактом выпуска.

**Объем выпуска** продукции – это количество изделий определенных наименований, типоразмеров и исполнений, изготавливаемых или ремонтируемых предприятием или его подразделением в течение планируемого периода времени (месяц, квартал, год). Объем выпуска в значительной степени определяет принципы построения технологического процесса.

Установленный для данного предприятия перечень изготавливаемых или ремонтируемых изделий с указанием объема выпуска и сроков выполнения по каждому наименованию на планируемый период времени называется **программой выпуска продукции**.

**Тактом выпуска** называется интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий или заготовок определенных наименования, типоразмера и исполнения.

Такт выпуска  $t$ , мин/шт, определяется по формуле:

$$t = 60 \Phi_{\text{д}} / N,$$

где  $\Phi_{\text{д}}$  – действительный фонд времени в планируемом периоде (месяц, сутки, смена), ч;  $N$  – производственная программа на этот же период, шт.

Действительный фонд времени работы оборудования отличается от номинального (календарного) фонда времени, поскольку учитывает потери времени на ремонт оборудования.

Действительный фонд работы оборудования в зависимости от его сложности и количества выходных и праздничных дней при 40-часовой рабочей неделе и при работе в две смены в машиностроительном производстве составляет от 3911 до 4029...4070 часов. Фонд времени рабочего при этом около 1820 ч.

В зависимости от производственных мощностей и возможностей сбыта продукции изделия на предприятии изготавливают в различных количествах – от единичных экземпляров, до сотен и тысяч штук. При этом все изделия, изготовленные по конструкторской и технологической документации без ее изменения, называются **серией изделия**.

В зависимости от широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий различают три основных типа производства: единичное, серийное и массовое. Каждому из этих типов присущи свои характерные особенности в организации труда и в структуре производственного и технологического процессов.

**Тип производства** является классификационной категорией производства, выделяемой по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска продукции. В отличие от типа производства **вид производства** выделяется по признаку применяемого метода изготовления изделия. Примерами видов производства являются литейное, сварочное, механосборочное и др.

Одной из основных характеристик типа производства является

*коэффициент закрепления операций*  $K_{з.о.}$ , представляющий собой отношение числа всех различных технологических операций  $O$ , выполняемых или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест  $P$ :

$$K_{з.о.} = O/P$$

С расширением номенклатуры выпускаемых изделий и уменьшением их количества значение этого коэффициента увеличивается.

**Единичное производство** характеризуется малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление и ремонт которых, как правило, не предусматривается. При этом технологический процесс изготовления изделий либо совсем не повторяется, либо повторяется через неопределенные промежутки времени. К единичному производству относятся, например, крупные гидротурбины, прокатные станы, оборудование для химических и металлургических заводов, уникальные металлорежущие станки, опытные образцы машин в различных отраслях машиностроения и др.

Технология единичного производства характеризуется применением универсального металлорежущего оборудования, которое располагается в цехах обычно по групповому признаку, т.е. с разбивкой на участки токарных, фрезерных, шлифовальных станков и т.д. Обработку ведут стандартным режущим, а контроль – универсальным измерительным инструментом. Характерным признаком единичного производства является концентрация на рабочих местах разнообразных операций. При этом на одном станке часто производится полная обработка заготовок разнообразных конструкций и из различных материалов. Ввиду необходимости частой перенастройки и наладки станка на выполнение новой операции доля основного (технологического) времени в общей структуре нормы времени на обработку сравнительно невелика.

Отличительные особенности единичного производства

обуславливают относительно низкую производительность труда и высокую себестоимость выпускаемых изделий.

**Серийное производство** характеризуется изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями. При серийном производстве одноименные или однотипные по конструкции изделия изготовляют по отработанным на технологичность чертежам. Продукцией серийного производства являются машины установившегося типа, выпускаемые в значительных количествах. К этой продукции можно отнести, например, металлорежущие станки, двигатели внутреннего сгорания, насосы, компрессоры, оборудование для пищевой промышленности и др.

Серийное производство является наиболее распространенным в общем и среднем машиностроении. В серийном производстве наряду с универсальным широко используется и специальное оборудование, автоматы и полуавтоматы, специальный режущий инструмент, специальные измерительные приборы и приспособления.

В серийном производстве средняя квалификация рабочих обычно ниже, чем в единичном производстве.

В зависимости от количества изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают *мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное* производство. Такое подразделение является достаточно условным для различных отраслей машиностроения, так как при одном и том же количестве машин в серии, но различных размеров, сложности и трудоемкости производство может быть отнесено к разным типам. Условной границей между разновидностями серийного производства по ГОСТ 3.1108-74 является величина коэффициента закрепления операций  $K_{з.о.}$ : для мелкосерийного производства  $20 < K_{з.о.} < 40$ , для среднесерийного –  $10 < K_{з.о.} < 20$ , а для крупносерийного –  $1 < K_{з.о.} < 10$ .

В мелкосерийном производстве, близком к единичному,

оборудование располагается преимущественно по типам станков – участок токарных станков, участок фрезерных станков и т.д. Станки могут располагаться и по ходу технологического процесса, если обработка ведется по групповому технологическому процессу. Применяют главным образом универсальные средства технологического оснащения. Размер производственной партии обычно составляет несколько единиц. При этом **производственной партией** принято называть предметы труда одного наименования и типоразмера, запускаемые в обработку в течение определенного интервала времени, при одном и том же подготовительно-заключительном времени на операцию.

В начальной стадии разработки технологического процесса механической обработки величину партии деталей можно определить по следующей упрощенной формуле:

$$n = Nt/\Phi,$$

где  $N$  – количество деталей одного наименования и размера по годовой программе выпуска изделий;

$t$  – необходимый запас деталей на складе в днях; для крупных деталей  $t=2...3$  дня; для средних  $t=5$  дней; для мелких деталей и инструментов  $t=10...30$  дней;

$\Phi$  – число рабочих дней в году, принимается равным 305 дней при одном выходном дне и продолжительности рабочего дня 7ч. и 253 дня при двух днях отдыха и продолжительности рабочего дня 8ч.

Условно к малым (или легким) можно отнести детали массой до 2 кг, к средним – от 2 до 8 кг и к крупным (или тяжелым) – свыше 8 кг.

В среднесерийном производстве, обычно называемом серийным, оборудование располагают в соответствии с последовательностью выполнения этапов обработки заготовок. За каждой единицей оборудования обычно закрепляют несколько технологических операций, при этом возникает необходимость переналадки оборудования. Размер

производственной партии составляет от нескольких десятков до сотен деталей.

В крупносерийном производстве, близком к массовому, оборудование, как правило, располагается в последовательности технологического процесса для одной или нескольких деталей, требующих одинакового процесса обработки. При недостаточно большой программе выпуска изделий целесообразно обрабатывать заготовки партиями, с последовательным выполнением операций, т.е. после обработки всех заготовок партии на одной операции производят обработку этой партии на следующей операции. Заготовки после окончания обработки на одном станке транспортируют целой партией или по частям к другому, при этом в качестве транспортных средств используют рольганги, подвесные цепные конвейеры или роботы. Обработку заготовок выполняют на предварительно настроенных станках, в пределах технологических возможностей которых допустима переналадка для выполнения иных операций.

В крупносерийном производстве используются, как правило, специальные приспособления и специальный режущий инструмент. В качестве измерительного инструмента широко используют предельные калибры (скобы, пробки, резьбовые кольца и резьбовые пробки) и шаблоны, позволяющие определять годность обработанных деталей и производить разбивку их на размерные группы в зависимости от величины поля допуска.

Серийное производство значительно экономичнее, чем единичное, так как лучше используется оборудование, ниже припуски, выше режимы резания, более высокая специализация рабочих мест, значительно сокращаются цикл производства, межоперационные заделы и незавершенное производство, более высокий уровень автоматизации производства, повышается производительность труда, резко снижается

трудоемкость и себестоимость изделий, упрощается управление производством и организация труда. При этом под заделом понимают производственный запас заготовок или составных частей изделия для обеспечения бесперебойного выполнения технологического процесса. Этот тип производства является наиболее распространенным в общем и среднем машиностроении. Около 80% продукции машиностроения выпускается серийно.

**Массовое** производство характеризуется большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция. Детали, как правило, изготавливаются из заготовок, производство которых ведется централизованно. Централизованным способом осуществляется производство нестандартного оборудования и технологической оснастки. Поставляют их своим потребителям цехи, являющиеся самостоятельной структурной единицей.

Массовое производство экономически целесообразно при выпуске достаточно большого количества изделий, когда все материальные и трудовые затраты, связанные с переходом на массовое производство, достаточно быстро окупаются и себестоимость изделия ниже, чем при серийном производстве.

Продукция массового производства – это изделия узкой номенклатуры, унифицированного или стандартного типа, выпускаемые для широкого сбыта потребителю. К этой продукции можно отнести, например, многие марки легковых автомобилей, мотоциклов, швейных машин, велосипедов и т.д.

В массовом производстве применяют высокопроизводительное технологическое оборудование – специальные, специализированные и агрегатные станки, многошпиндельные автоматы и полуавтоматы,



автоматические линии. Широко применяется многолезвийный и наборный специальный режущий инструмент, предельные калибры, быстродействующие контрольные приспособления и приборы. Массовое производство характеризуется также установившимся объемом производства, что при значительной программе выпуска продукции обеспечивает возможность закрепления операций за определенным оборудованием. При этом производство изделий осуществляется по окончательно отработанной конструкторской и технологической документации.

Наиболее совершенной формой организации массового производства является *поточное* производство, характеризующееся расположением средств технологического оснащения в последовательности выполнения операций технологического процесса и определенным тактом выпуска изделий. Для поточной формы организации технологического процесса требуется одинаковая или кратная производительность на всех операциях. Это позволяет производить обработку заготовок или собирать узлы без заделов в строго определенные промежутки времени, равные такту выпуска. Приведение длительности операций к указанному условию называют *синхронизацией*, что в некоторых случаях предусматривает использование дополнительного (дублирующего) оборудования. Для массового производства коэффициент закрепления операций  $K_{з.о.} = 1$ .

Основным элементом поточного производства является поточная линия, на которой расположены рабочие места.

Для передачи предмета труда с одного рабочего места на другое применяют специальные транспортные средства.

В поточной линии, являющейся основной формой организации труда поточного производства, на каждом рабочем месте выполняют одну технологическую операцию, а оборудование располагают по ходу технологического процесса (по потоку). Если длительность операции на

всех рабочих местах одинакова, то работа на линии выполняется с непрерывной передачей объекта производства с одного рабочего места на другое (непрерывным потоком). Достигнуть равенства штучного времени на всех операциях обычно не удастся. Это обуславливает технологически неизбежное различие загрузки оборудования по рабочим местам поточной линии.

При значительных объемах выпуска в процессе синхронизации наиболее часто возникает необходимость уменьшения длительности операций. Это достигается за счет дифференциации и совмещения во времени переходов, входящих в состав технологических операций. В массовом и крупносерийном производствах при необходимости каждый из технологических переходов может быть выделен в отдельную операцию, если будет выполнено условие синхронизации.

За время, равное такту выпуска, с поточной линии сходит единица продукции. Производительность труда, соответствующая выделенному производственному участку (линии, участку, цеху), определяется ритмом выпуска. *Ритм выпуска* – это количество изделий или заготовок определенных наименований, типоразмеров и исполнений, выпускаемых в единицу времени. Обеспечение заданного ритма выпуска является важнейшей задачей при разработке технологического процесса массового и крупносерийного производства.

Поточный метод работы обеспечивает значительное сокращение (в десятки раз) цикла производства, межоперационных заделов и незавершенного производства, возможность применения высокопроизводительного оборудования, снижения трудоемкости изготовления изделий, простоту управления производством.

Дальнейшее совершенствование поточного производства привело к созданию автоматических линий, на которых все операции выполняют с установленным тактом на рабочих местах, оснащенных автоматическим

оборудованием. Транспортирование предмета труда по позициям осуществляется также автоматически.

Следует отметить, что на одном предприятии и даже в одном цехе можно встретить сочетание различных типов производства. Следовательно, тип производства предприятия или цеха в целом определяется по признаку преимущественного характера технологических процессов. Массовым можно назвать производство, если на большинстве рабочих мест выполняется одна постоянно повторяющаяся операция. Если на большинстве рабочих мест выполняется несколько периодически повторяющихся операций, то такое производство следует считать серийным. Отсутствие периодичности повторения операций на рабочих местах характеризует единичное производство.

Кроме того, для каждого типа производства характерным является также соответствующая точность исходных заготовок, уровень отработанности конструкции деталей на технологичность, уровень автоматизации процесса, степень детализации описания технологического процесса и др. Все это влияет на производительность процесса и на себестоимость изготавливаемых изделий.

Планомерная проводимая унификация и стандартизация изделий машиностроения способствует специализации производства. Стандартизация приводит к сужению номенклатуры изделий при значительном увеличении программы их выпуска. Это позволяет шире применять поточные методы работы и автоматизацию производства.

Характеристики производства отражаются в решениях, принимаемых при технологической подготовке производства.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие типы производства различают в машиностроении?
2. Пояснить особенности различных типов производства.
3. Пояснить сущность поточного производства.

4. Дать определение понятиям такт и ритм выпуска.
5. Пояснить коэффициент закрепления операций.

## **Раздел 2 Технологичность конструкции изделий**

### **2.1 Технологичность конструкции машин**

Качество продукции машиностроения можно характеризовать большим разнообразием свойств, одним из которых является технологичность. Технологичность конструкции изделия оказывает существенное влияние на снижение затрат труда, материалов и энергии, связанных с его изготовлением, техническим обслуживанием, ремонтом и утилизацией.

Конструктивные формы машин, сборочных единиц и отдельных деталей определяются их служебным назначением. При разработке конструкции машины в целом и ее отдельных узлов необходимо учитывать требования технологии их наиболее экономичного изготовления и сборки, а также возможные затраты в процессе эксплуатации. Поэтому обеспечение технологичности конструкции изделия осуществляется на уровне деталей, сборочных единиц и изделия в целом.

Под **технологичностью** конструкции изделия понимают совокупность свойств конструкции, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Технологичность выражает не функциональные свойства изделия, а его конструктивные особенности: состав и взаимное расположение узлов; форму и расположение поверхностей деталей и соединений, их состояние, размеры, вид используемых материалов; количество деталей в машине или узле, качество их изготовления и т.д.

Главным критерием технологичности конструкции изделия является ее экономическая целесообразность в принятых условиях производства, ее трудоемкость, материалоемкость и себестоимость, а также затраты в

процессе эксплуатации изделия. Конструкцию машины, в которой эти критерии учтены, считают технологичной.

Основной задачей отработки конструкции изделия на технологичность является придание изделию такого комплекса свойств, который обеспечивает необходимое качество изделия при оптимальных затратах труда, материальных средств и времени на технологическую подготовку производства, изготовление, монтаж вне предприятия-изготовителя, техническое обслуживание и ремонт в конкретных условиях производства и эксплуатации.

Оценку технологичности конструкции данной машины по сравнению с другой, принятой за базу (образец, аналог), производят, сопоставляя ее трудоемкость, материалоемкость и себестоимость, а также унификацию отдельных деталей и узлов, рациональность расчленения конструкции на отдельные элементы, уровень взаимозаменяемости, массу машины, возможности сокращения сроков подготовки и освоения производства, удобства ее технического обслуживания и ремонта в процессе эксплуатации и другие показатели.

Технологичность конструкции изделия – понятие *относительное*, поскольку технологичность конструкции одной и той же машины будет разной для различных типов производства. Изделие, достаточно технологичное в единичном производстве, может быть малотехнологичным в поточно-массовом 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 программным управлением или другое переналаживаемое автоматическое оборудование, то характеристика технологичности конструкции выпускаемых изделий для этих изделий может измениться по сравнению с условиями единичного

производства, оснащенного универсальным оборудованием. Следует заметить, что научно-технический прогресс в технике и технологии изменяет уровень технологичности конструкции, поэтому ранее нетехнологичные конструкции могут стать вполне технологичными при новых методах обработки.

Технологичность конструкции изделия является понятием *комплексным*. Ее нельзя рассматривать изолированно, без взаимной связи и учета условий процессов обработки, сборки и контроля, а также возможности транспортировки к месту эксплуатации автомобильным, железнодорожным или другими видами транспорта.

Понятие технологичности конструкции машин распространяется не только на область их производства, но и на область эксплуатации. В частности, конструкция машины должна быть удобной для ухода и технического обслуживания, поскольку затраты на все виды обслуживаний и ремонтов иногда превышают стоимость изготовления новых изделий. Повышение ремонтпригодности изделия обеспечивается легкостью и удобством его разборки и сборки, возможностью легкой смены отдельных узлов и интенсивно изнашиваемых деталей в период технических обслуживаний и ремонтов, а также возможностью восстановления работоспособности наиболее сложных и дорогих деталей.

В соответствии с характером и возможными областями проявления свойств, составляющих технологичность конструкции изделия, следует различать виды и разновидности технологичности (рис. 12).

По области проявления свойств технологичности конструкции изделия различают два вида технологичности – производственную и эксплуатационную.

*Производственная технологичность* проявляется в сокращении затрат средств и времени на конструкторскую и технологическую подготовку производства, на изготовление, сборку, контроль и монтаж

изделия вне предприятия-изготовителя.

*Эксплуатационная технологичность* проявляется в сокращении затрат средств и времени на подготовку к использованию изделия по назначению, техническое обслуживание, текущий ремонт, хранение, транспортирование, диагностирование и утилизацию изделия.

Производственная технологичность решается в процессе конструирования, технологических разработок и изготовления изделия, а эксплуатационная – в процессе конструирования.

По характеризующим свойствам различают также два вида технологичности конструкции – технологическую рациональность и конструктивную приемственность.

*Технологическая рациональность* конструкции изделия выражает ее техническую сущность и характеризует возможность изготовления и эксплуатации данного изделия при использовании имеющихся в распоряжении производителя и потребителя продукции материальных, энергетических, трудовых и других видов ресурсов. Технологическая рациональность конструкции изделия является совокупностью тех свойств изделия, которые выражают технологичность его конструкции с позиции соответствия принятых конструктивных решений уровням производства, эксплуатации и ремонта.

Следует иметь в виду, что условия производства и эксплуатации достаточно быстро могут изменяться, поэтому технологическую рациональность конструкции изделия необходимо рассматривать и оценивать применительно к существующим условиям подготовки производства, изготовления, технического обслуживания и ремонта в определенной ограниченной зоне изменения этих условий.

Уровень технологической рациональности конструкции изделия регулируется посредством целесообразного по условиям производства, эксплуатации и ремонта выбора и построения состава и структуры



изделия, его конструктивных элементов, материалов, схем соединения составных частей изделия и обеспечения оптимальной их преемственности.

*Конструктивная преемственность* изделия, так же как и технологическая рациональность, представляет собой совокупность тех свойств изделия, которые выражают технологичность его конструкции с позиции единства повторяемости и изменяемости принятых в ней инженерных решений. Конструктивная преемственность характеризует единство повторяемости составных частей в данном исполнении изделия и применяемости в нем новых составных частей, обусловленных новизной требований к изделию по его функциональному назначению, условиям производства или эксплуатации. Технологическая преемственность оценивается единством повторяемости и изменяемости технологических методов выполнения, поддержания и восстановления элементов конструкции изделия, учитываемых при его конструировании.

Следует отметить, что преемственность как философская категория носит абсолютный, всеобщий характер. Преемственность в самом общем смысле определяется как объективно необходимая связь между новым и старым в процессе развития. Это положение, характеризующее одну из закономерностей развития материального мира, относится и к таким формам общественного развития, как наука, техника и производство. Известно, например, что при конструировании новых изделий машиностроения и приборостроения до 80% конструктивных решений переходит от изделия к изделию. Этому в значительной мере способствуют унификация и стандартизация многих узлов, деталей и конструктивных элементов общемашиностроительного и отраслевого применения. Применение унифицированных сборочных единиц и деталей позволяет снижать трудоемкость ремонтов, сокращает номенклатуру запасных частей, дает возможность использовать одни и те же сборочные единицы и

детали для разных типоразмеров машин. Следовательно, конструкция машин, имеющая максимально возможное количество унифицированных конструктивных элементов, является более технологичной по сравнению с машиной, в которой такая унификация недостаточна.

Заметим, что унифицированными считаются сборочные узлы и отдельные детали, встречающиеся не менее чем в двух разных машинах.

Преимуществом конструкции изделия является одним из главных принципов наиболее целесообразной и рациональной технологической подготовки производства. Ее использование позволяет наилучшим образом организовать процесс конструкторского и технологического проектирования, максимально использовать все лучшее, что создано ранее в процессе научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических разработок, освоено в производственных условиях и всесторонне проверено в условиях эксплуатации.

Главными факторами, определяющими требования к технологичности конструкции, являются вид изделия, объем выпуска и тип производства.

Вид изделия определяет главные конструктивные и технологические признаки, обуславливающие основные требования к технологичности изделия.

Объем выпуска и тип производства определяют вид технологического оборудования и оснастки, степень механизации и автоматизации технологических процессов и уровень специализации всего производства.

Технологичность конструкции можно оценивать качественно и количественно. Оценка технологичности подразумевает комплекс взаимосвязанных мероприятий, включающих последовательное выявление технологичности конструкции изделия в целом или отдельных рассматриваемых ее свойств, сопоставление выявленных свойств данного изделия со свойствами изделия, конструкция которого принята за базу для сравнения, и представление результатов сопоставления в форме,

приемлемой для принятия управленческих решений по совершенствованию конструкции разрабатываемого изделия.

*Качественная оценка* («хорошо – плохо», «допустимо – недопустимо») основана на инженерно-визуальных методах оценки и характеризует технологичность конструкции обобщенно, на основе опыта исполнителя. Такая оценка проводится по отдельным конструктивным и технологическим признакам для достижения высокого уровня технологичности конструкции изделия. Как правило, это оценка предшествует количественной оценке, но может быть совместима с ней на всех стадиях проектирования.

Качественная сравнительная оценка вариантов конструкции допустима на всех стадиях проектирования, когда осуществляется выбор лучшего конструктивного решения и не требуется определения степени различия технологичности сравниваемых вариантов.

При сравнении вариантов конструктивных исполнений изделия в процессе проектирования качественная оценка достаточно часто позволяет выбрать лучший вариант исполнения или установить целесообразность определения численных значений показателей технологичности конструкции изделия всех сравниваемых вариантов.

*Количественная оценка* технологичности конструкции изделия осуществляется с помощью системы показателей, которая включает:

- базовые (исходные) значения показателей технологичности, являющиеся предельными нормативами технологичности, обязательными для выполнения при разработке изделия;
- значения показателей технологичности, достигнутые при разработке изделия;
- показатели уровня технологичности конструкции разрабатываемого изделия.

Базовые значения показателей технологичности указываются в техническом задании на разработку изделия, а по отдельным видам

изделий, номенклатура которых устанавливается отраслями, - в отраслевых стандартах.

Базовые, достигнутые и показатели уровня технологичности конструкции изделия вносятся в «Карту технического уровня и качества продукции» по ГОСТ 2.116-71. При этом под *уровнем технологичности конструкции* понимают показатель технологичности, выражаемый отношением значения показателя технологичности данного изделия к значению соответствующего базового показателя технологичности, принятого за исходный.

Данные об уровне технологичности конструкции должны использоваться в процессе оптимизации конструктивных решений на стадиях разработки конструкторской документации при принятии решения о производстве изделия, анализе технологической подготовки производства, разработке мероприятий по повышению уровня технологичности конструкции изделия и эффективности его производства и эксплуатации и др.

Номенклатуру показателей технологичности и методику их определения устанавливают в зависимости от вида изделия, типа производства и стадии разработки конструкторской документации. Выбор показателей технологичности проводят с учетом требований ГОСТ 14.201-83. При этом количество показателей должно быть минимальным, но достаточным для оценки технологичности.

К основным показателям технологичности конструкции изделия относят трудоемкость, материалоемкость, энергоемкость и технологическую себестоимость. Эти показатели характеризуют наиболее важные, самые существенные свойства, входящие в технологичность и, как правило, позволяют оценить технологичность конструкции в целом достаточно полно.

*Трудоемкость* изготовления изделия определяется суммарными

затратами труда на выполнение технологических процессов его изготовления.

В соответствии с ГОСТ 14.201-83 обеспечение технологичности конструкции изделий включает совершенствование условий выполнения работ в процессе производства и эксплуатации изделий и фиксацию принятых решений в технологической документации.

Однако трудоемкость изготовления изделия зависит не только от технологичности конструкции, но и в значительной мере от выбранного технологического процесса, его технической оснащенности, организации производства, режимов обработки и других факторов. Поэтому при определении уровня технологичность данной конструкции определяют *относительный показатель трудоемкости* как отношение достигнутой трудоемкости изготовления изделия к базовому значению трудоемкости в аналогичных сопоставимых производственных условиях. Это позволяет исключить влияние принятого технологического процесса на трудоемкость изготовления изделия.

В этой связи следует иметь в виду, что снижение достигнутой (или расчетной) трудоемкости может быть осуществлено лишь на основе технической реконструкции предприятия, совершенствования технологических процессов, улучшения организации труда в сфере производства и эксплуатации, исключения ручного труда и других мероприятий, не связанных с изменением конструкции изделия, но влияющих на оценку технологичности. Если анализ этих факторов показывает, что они оказывают существенное влияние на величину затрат в сфере производства или эксплуатации изделия, то трудоемкость не может применяться в качестве показателя технологичности.

*Материалоемкость* изделия характеризует расход материала, необходимого для производства и технической эксплуатации изделия.

Выбор номенклатуры показателей материалоемкости должен

обеспечивать, по возможности, всестороннюю ее оценку. При этом необходимо использовать показатели, характеризующие материальные затраты по всем видам используемых материалов – черные и цветные металлы, пластмасса, древесные материалы и др. Особо учитывают расход на изделие редких и драгоценных металлов и сплавов.

Материалоемкость изделия по сферам проявления подразделяют на производственную, технического обслуживания и ремонта. В соответствии с этим производственная материалоемкость изделия используется для оценки производственной технологичности, а материалоемкость технического обслуживания и ремонта – для оценки соответственно эксплуатационной и ремонтной технологичности.

Достаточно часто материалоемкость изделия оценивают удельным расходом материалов в натуральных показателях (кг, м, м<sup>2</sup>) или в стоимостном измерении в расчете на техническую характеристику изделия (мощность, грузоподъемность, тяговое усилие и др.). Эту материалоемкость называют конструктивной. Улучшение показателей удельной материалоемкости достигается повышением производительности машин и агрегатов при одновременном снижении их массы. Иногда оперируют *коэффициентом использования материала*, характеризующим степень полезного расхода материала на производство изделия.

Снижение материалоемкости изделий является одним из главных путей экономии сырья и материалов и одной из важнейших задач научно-технического прогресса в области машиностроения. Основными путями решения этой задачи являются разработка более совершенных и технологичных конструкций изделий, применение прогрессивных и малоотходных технологических процессов их изготовления и обслуживания, а также использование материалов с высокими качественными характеристиками.

При более полной и объективной оценке технологичности

конструкции изделия следует учитывать также количество наименований применяемых материалов. Более технологичной следует считать конструкцию, в которой применено наименьшее количество наименований и марок материалов. Многообразие материалов усложняет процесс производства, главным образом заготовительные операции, а также механическую обработку, так как разные материалы требуют применения инструментов различных марок и различных режимов обработки. Кроме того, при многообразии наименований и марок материалов увеличиваются складские запасы, усложняется организация снабжения производства, возрастает вероятность простоя оборудования из-за отсутствия той или иной марки или профиля материала, что приводит в условиях производства к необходимости замены одного профиля или марки другими и тем самым к увеличению трудоемкости изготовления деталей, сборочных единиц и машины в целом.

Материалоемкость изделия является составляющей показателя более высокого уровня – ресурсоемкости, значение которой показывает долю текущих затрат всех видов ресурсов в стоимости продукта труда.

Номенклатура показателей изделия должна обеспечивать всестороннюю оценку его материалоемкости за счет конкретизации видов используемых материалов (металл, пластмасса, древесина и т.п.).

*Энергоемкость* изделия характеризует расход топливно-энергетических ресурсов на выполнение технологических процессов изготовления, технического обслуживания и ремонта изделия, обусловленных его конструкцией. Показатели энергоемкости различают в зависимости от сферы проявления технологичности конструкции изделия и вида потребляемых топливно-энергетических ресурсов.

Для оценки технологичности конструкции изделия пользуются также показателем *технологической себестоимости*, являющейся частью себестоимости изделия, определяемой суммой затрат на осуществление

технологических процессов изготовления изделия. Технологическую себестоимость изделия рассчитывают отдельно соответственно сферам проявления.

Для определения базовых показателей технологичности конструкции изделия за основу принимают сведения о ранее созданных конструкциях, имеющих общие конструкторско-технологические признаки с проектируемой конструкцией, данные аналогов или типовых представителей.

Технологичной считается конструкция, значения показателей технологичности которой соответствуют базовым показателям технологичности или превосходят их.

При проведении отработки конструкции изделия на технологичность прежде всего учитывают степень его новизны и сложности, перспективность и объем выпуска, тип производства, а также условия изготовления, технического обслуживания и ремонта.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Дать определение технологичности конструкции изделия.
2. Каковы задачи отработки изделия на технологичность?
3. Пояснить влияние типов производства на технологичность конструкции изделия.
4. В чем проявляется производственная и эксплуатационная технологичность конструкции изделия?
5. Пояснить виды технологичности по характеризующим свойствам.
6. Какова номенклатура показателей технологичности изделий?
7. Пояснить основные показатели технологичности конструкции изделия.



## **2.2 Технологичность конструкции деталей машин**

**Общие требования к деталям машин.** Конструктивные формы деталей машин определяются их служебным назначением. Однако деталь, сконструированная без учета требований технологии ее изготовления может оказаться неэкономичной.

Возможность применения наиболее прогрессивных технологических методов изготовления деталей машин во многом определяется их конструктивным оформлением. Поэтому при разработке конструктивных форм деталей необходимо учитывать требования технологии их наиболее экономичной обработки. Соблюдение этих требований уменьшает производственные затраты, сокращает цикл производства, повышает производительность труда и снижает себестоимость изготовленных деталей.

Конструкция детали должна быть простой по конфигурации, состоять из простых геометрических форм, дающих возможность применения наиболее прогрессивных и высокопроизводительных технологических процессов ее последующей обработки. Необходимо предусматривать надежные технологические базы и обеспечивать необходимую жесткость детали.

Заданная точность и шероховатость поверхностей детали должны быть обоснованы ее служебным назначением. Необоснованно завышенные требования по точности и шероховатости обуславливают необходимость вводить дополнительные технологические операции, что увеличивает трудоемкость и продолжительность процесса обработки и, как следствие, повышают себестоимость детали.

Поэтому конструкцию детали на технологичность следует отрабатывать комплексно, учитывая влияние на технологичность исходной заготовки, вида обработки в технологическом процессе изготовления, технологичности сборочной единицы, в которую эта деталь входит как составная часть.

При необходимости конструкция деталей должна быть такой, чтобы их можно было изготавливать на станках с ЧПУ, с применением типовых, энергосберегающих и малоотходных технологий, быстросменных и групповых наладок, а также в условиях гибкой производственной системы.

Стандартизация и унификация деталей и их отдельных конструктивных элементов (резьб, модулей зубчатых колес, диаметров и длин крепежных изделий, шпоночных соединений и др.) увеличивает серийность выпуска, унифицирует станочные наладки и тем самым уменьшает трудоемкость процесса производства и себестоимость изготовления деталей. Кроме того, применение стандартных и унифицированных деталей сокращает номенклатуру запасных частей и дает возможность использовать одни и те же детали и сборочные единицы для разных типоразмеров машин. Например, для различных типов и размеров станков нередко применяют одинаковые детали – подшипники, сальники, уплотнения, детали коробок скоростей и подач, крепежные детали и т.п. Увеличение количества унифицированных элементов деталей позволяет сократить количество режущего, измерительного и других видов инструментов.

Выбор оптимальной формы детали в значительной степени зависит от ее роли в машине и условий эксплуатации. Оценка технологичности конструктивного исполнения данной детали может быть основана на сравнении трудоемкости изготовления различных конструктивных вариантов этой детали.

Допустимые отклонения размеров деталей, их геометрической формы, взаимного расположения поверхностей, параметров шероховатости поверхностей устанавливают в соответствии с требованиями к надежности и долговечности машин в условиях эксплуатации. Изменение этих отклонений существенно влияет на трудоемкость и технологическую себестоимость.

**Требования к конструкции исходных заготовок.** Технологические требования к конструкции детали во многом обусловлены технологией производства заготовок и их последующей обработкой. Вид заготовки в значительной степени определяет технологический процесс ее механической обработки на металлорежущих станках.

В крупносерийном и массовом производстве применение специального профильного и периодического проката для получения заготовок позволяет сократить или вообще исключить их последующую механическую обработку резанием. Специальный профильный прокат как полуфабрикат уменьшает трудоемкость процесса горячей штамповки заготовок. Заготовки профильного сечения, не требующие последующей обработки, получают на машиностроительных предприятиях, как правило, методом холодного волочения из сортового проката.

Основным требованием, предъявляемым к форме заготовок для мелких деталей, является возможность их получения такими высокопроизводительными методами, как штамповкой на ковочных машинах, литьем под давлением с одновременной формовкой и заливкой нескольких заготовок, изготовлением деталей и заготовок из ленты на автоматизированных прессах, а также формообразованием из пруткового материала методом холодной высадки или высадки с индукционным нагревом.

Конструкции заготовок для деталей, представляющих собой тела вращения, должна предусматривать небольшое количество обрабатываемых поверхностей, сопрягаемых с другими деталями.

При получении заготовок методом свободной ковки желательно, чтобы они имели простую симметричную форму. Следует избегать конусообразных форм (рис. 13, а), пересечений цилиндрических элементов между собой (рис. 13, б), а также бобышек и выступов на основных поверхностях поковки (рис. 13, в). Детали сложной конфигурации

целесообразно заменять сварными конструкциями, состоящими из простых элементов (рис. 13, г).

Геометрическая форма штампованных заготовок должна обеспечивать возможность их свободного извлечения из штампа. Выемки и углубления в заготовках можно выполнять только в направлении движения штампов. Недопустимы узкие и длинные выступы, расположенные в плоскости разъема штампа или перпендикулярно к ней, так как они образуют в штампе труднозаполняемые полости и приводят к появлению брака заготовок. Боковые поверхности заготовки должны иметь штамповочные уклоны.

Симметричная форма заготовки относительно плоскости разъема и симметричные уклоны выступающих стенок упрощают изготовление штампов и процесс штамповки, снижают расход металла на напуски и брак, связанный со смещением штампов. При этом улучшается заполнение штампа, уменьшается его изнашивание, повышается производительность штамповки. Рациональным является расположение штампуемой заготовки в одной половине штампа, что значительно снижает его стоимость и повышает точность поковки.

Некоторые примеры улучшения конструктивного оформления горячештампованных заготовок показаны на рис. 14.

Выступы и ребра нельзя располагать близко друг к другу, так как это затрудняет течение металла и заполнение полости штампа. Целесообразно направление волокон в металле заготовки совмещать с ее продольной осью. Нежелательно перерезание волокон или изгиб их под малым радиусом. Конструкция заготовки должна, как правило, допускать разъем штампов по горизонтальной плоскости. Это упрощает конструкцию ковочного и обрезного штампов. Поэтому разъем штампа по какой-либо другой поверхности нежелателен. В плоскости разъема должны располагаться наибольшие габаритные размеры заготовки, в этом случае

обеспечивается наилучшее заполнение полостей штампов металлом.

Тонкие стенки штампуемой заготовки уменьшают стойкость штампов вследствие быстрого остывания металла и повышения сопротивления его течению, что способствует появлению брака по причине незаполнения полости штампа.

Рациональным является одностороннее расположение ребер бобышек и других выступающих элементов (рис. 15), что позволяет повысить точность заготовок, снизить расход металла, упростить последующую обработку. Нежелательно, чтобы заготовка имела переменную по длине толщину ребер.

Заготовки или детали, получаемые методом холодной высадки из калиброванных прутков, должны иметь по возможности простую форму при минимальных объеме и диаметре. Для повышения стойкости холодновысадочных штампов допуски на размеры высаживаемых элементов не следует уменьшать до минимальных. Не рекомендуется делать резкими переходы от одной поверхности к другой. Эти переходы должны осуществляться с закруглениями радиусом не менее 0,5 мм.

При холодной листовой штамповке используют листы, полосы и ленты. Ленту применяют для получения деталей толщиной 2,0... 2,5 мм, полосу – толщиной до 10 мм. Листы используют сравнительно больших размеров.

Для экономии металла при листовой штамповке составляется карта раскроя, при этом конфигурация заготовок и их расположение на поверхности листа должны обуславливать минимальные отходы металла при штамповке.

Минимальная ширина заготовки из мягких низкоуглеродистых сталей должна быть примерно в 1,5 раза больше толщины листа или полосы. Минимальные размеры пробиваемых отверстий в зависимости от их формы (круглые, квадратные, овальные) составляют около 0,7...1,2

толщины листа.

Расстояние между отверстием и краем заготовки, а также между смежными отверстиями принимают для заготовок из мягкой стали равным  $0,7 \dots 1,5$  толщины листа.

Конструкции литых заготовок зависят от способа литья, свойств литейного сплава, требуемой точности, программы выпуска и других факторов. Во многих случаях отливки являются наиболее сложными и дорогими в исполнении заготовками деталей машин.

При конструировании отливок необходимо выбрать способ литья, определить положение отливки в форме, выбрать плоскость разъема, назначить толщину стенок отливки. Конструкции литых заготовок корпусных деталей должны отвечать требованиям машинной формовки: толщина стенок в разных сечениях не должна иметь резких переходов.

При конструировании отливок следует упрощать их конфигурацию. В этом случае можно снизить себестоимость изготовления моделей, стержневых ящиков, кокилей, пресс-форм. Конфигурация отливки должна обеспечить возможность свободного извлечения модели из формы и стержней из стержневых ящиков. С этой целью необходимо предусматривать формовочные уклоны для вертикальных поверхностей отливки, выбирая их величину в зависимости от высоты поверхности. Конфигурация отливки должна обеспечивать возможность удаления прибылей, литников и выпоров и выбивки стержней.

На чертежах отливок следует указывать базовые поверхности, которыми будут пользоваться при последующей обработке заготовок на металлорежущих станках. Базовые поверхности должны образовываться моделью и находиться в одной опоке для исключения влияния смещений опок и стержней на их точность. При назначении толщины стенок отливок необходимо учитывать размер и массу отливки, применяемый для литья сплав и метод литья.

Необходимо учитывать также положение поверхностей при заливке, так как на верхних горизонтальных поверхностях отливки могут возникать газовые раковины. Поэтому наиболее ответственные поверхности заготовок должны занимать в форме нижнее положение. Следует обращать внимание на беспрепятственное заполнение формы жидким металлом: форма заполняется непрерывной струей и до полной чаши.

При конструировании отливки следует учитывать усадку металла, торможение усадки, создаваемое литейной формой и стержнями, а также торможение, возникающее вследствие неравномерности остывания разных частей отливки. Торможение усадки вызывает образование остаточных напряжений в отливках, являющихся причиной коробления отливок и появления трещин. Поэтому необходимо предусматривать по возможности равномерное охлаждение отливки и допускать ее свободную усадку.

Внутренние стенки отливки должны быть примерно на 20% тоньше наружных. В одной отливке рекомендуется предусматривать переходные поверхности одного радиуса. Резкие изменения толщины стенки и острые углы в отливке недопустимы. Это особенно важно в отливках из нержавеющей и жаропрочных сталей. Переходы от одного сечения к другому должны быть плавными.

Литье в песчано-глинистые формы применяют практически для всех литейных сплавов, типов производств, заготовок любых масс, конфигураций и габаритов. Этот метод отличается технологической универсальностью и дешевизной. В общем объеме производства отливок литьем в песчано-глинистые формы получают до 80% всего объема литья. Изменяя способы формовки, материалы моделей и составы формовочных смесей можно получать заготовки с заданной точностью и качеством поверхностного слоя. Метод отличается сравнительно большими припусками на механическую обработку, в стружку уходит до 25% металла от массы заготовки.

При литье в кокиль минимальная толщина стенок отливки зависит от вида сплава и площади поверхности стенки. Для чугуна и стали она составляет соответственно 6...7 мм и 8 мм при площади поверхности стенки до 125 см<sup>2</sup>, для бронзы, силуминов и магниевых сплавов – 3...6 мм при площади поверхности стенки до 30 см<sup>2</sup>. Толщина внутренних стенок и ребер должна быть равна 0,6...0,7 толщины наружных стенок. Толщина стенок должна быть по возможности одинаковой, а конструкции отливки – удобной для ее извлечения из формы.

Литьем по выплавляемым моделям можно получить заготовки сравнительно небольшой массы достаточно сложной конфигурации с высоким качеством поверхности. Наименьшая толщина стенок отливки составляет при этом 1...2 мм. Из-за небольшой жесткости керамической оболочки следует избегать в заготовке поверхностей большой протяженности. Тонкие стенки можно получить только при определенной площади их поверхности (не более 75x75 мм), так как в противном случае происходит коробление стенок формы. Желательно выдерживать одинаковую толщину стенок отливки. Отливки могут быть получены без литейных уклонов. Следует избегать в отливке глухих отверстий. Этим методом можно получать отливки из труднодеформируемых и труднообрабатываемых сплавов с высокой температурой плавления. Получаемые отливки чаще всего нуждаются в механической обработке только сопрягаемых поверхностей. Применение заготовок, полученных литьем по выплавляемым моделям вместо штампованных, снижает расход металла до 55...75%, трудоемкость механической обработки до 60% и себестоимость детали на 20%.

Литьем в оболочковые формы получают заготовки сложной конфигурации – коленчатые и кулачковые валы, ребристые цилиндры, крыльчатки. Ко времени затвердевания металла форма легко разрушается, не препятствуя усадке металла, вследствие чего остаточные напряжения в



отливке невелики. Расход формовочных материалов меньше в 10...20 раз, чем при литье в песчано-глинистые формы. При литье в оболочковые формы должна быть одна плоскость разъема. Минимальная толщина стенок составляет 2,0...2,5 мм. В то же время работа с горячими металлическими моделями представляет определенную сложность, формовочные материалы достаточно дорогие.

Литьем под давлением получают заготовки, близкие по форме к готовой детали, с высокой точностью и шероховатостью поверхности. Чаще всего этим методом получают сложные тонкостенные отливки из цветных сплавов (алюминия, меди, магния). Механической обработке подвергаются, как правило, только посадочные места и поверхности сопряжения. Основными преимуществами метода являются получение отливок с толщиной стенок до 1 мм и возможностью автоматизации процесса. Метод требует применения достаточно сложных и дорогих пресс-форм, изготавливаемых по 6...8-му качествам.

Центробежным литьем получают заготовки типа тел вращения – втулки, гильзы цилиндров, диски, трубы из чугуна, сталей и других металлов и сплавов.

Для изготовления крупных и сложных заготовок деталей ответственных машин применяют различные комбинированные методы. Такие заготовки разделяют на отдельные простые элементы, которые получают отливкой, ковкой, штамповкой или другими методами, затем обрабатывают сопрягаемые поверхности и сваривают в одну крупную и сложную заготовку. Этим методом изготавливают, например, станины крупных прессов и станков, корпуса паровых турбин и других сложных по конструкции корпусных деталей.

**Требования к механической обработке резанием.** Для обеспечения технологичности деталей, изготовление которых предусматривает обработку резанием, необходимо:

- сокращать объем механической обработки, уменьшая протяженность обрабатываемых поверхностей; предусматривать допуски только на размеры поверхностей сопряжения (рис. 16, а);

- предусматривать возможность удобного и надежного закрепления заготовки на станке; повышать жесткость заготовки, что уменьшает ее деформацию от сил резания и закрепления, позволяет увеличивать режимы обработки и одновременно использовать несколько режущих инструментов путем совмещения технологических переходов в процессе обработки;

- предусматривать возможность удобного подвода режущего инструмента к обрабатываемой поверхности, сокращать путь врезания инструмента и уменьшать вспомогательное время, предусматривать возможность одновременной установки нескольких заготовок для обработки (16, б); для обработки на проход предусматривать выход режущего инструмента (16, в);

- максимально использовать унифицированные элементы формы детали (резьбы, канавки, модули, размеры шпоночных пазов, шлицев и т.д.) так как унификация элементов деталей и их размеров создает предпосылки для унификации режущего и измерительного инструмента, а также необходимого инструмента при их техническом обслуживании и ремонте.

Выбор измерительных баз и система простановки размеров должны обеспечивать наибольшие удобства, надежность и производительность контроля, возможность применения простых по устройству контрольно-измерительных инструментов и приспособлений, а также проверки нескольких размеров детали при одной ее установке. Простановка размеров должна быть увязана с последовательностью выполнения и содержанием технологических операций. Недопустима простановка размеров, проверка которых связана с выполнением подсчетов и

косвенных методов контроля.

*Отверстия* на деталях по возможности предусматривают сквозные, так как обрабатывать их значительно легче, чем глухие. Конструкция глухих отверстий должна быть увязана с конструкцией применяемого режущего инструмента (например, зенкера, развертки), имеющего коническую заборную часть и образующего у дна отверстия переходную поверхность. Во избежание поломки сверл при сверлении поверхности заготовки на входе и выходе инструмента должны быть перпендикулярны оси отверстия (рис. 17). Необходимо избегать отверстий с непараллельными осями, а также глухих отверстий, пересекающимися с внутренними полостями. В последнем случае предпочтительно делать сквозные отверстия с заглушкой (рис. 18, а). Для одновременной обработки нескольких отверстий, расположенных на одной оси, рекомендуется последовательно уменьшать размеры отверстий на величину, превышающую припуск на обработку предшествующего отверстия. У дна точных глухих отверстий предусматривают канавку для выхода инструмента (рис. 18, б).

При наличии соосных отверстий на нескольких параллельных осях целесообразно предусматривать убывание диаметров отверстий в одном направлении на всех осях (рис. 19, а), так как поворот детали увеличивает погрешность относительного расположения осей. Внутренние торцевые поверхности должны быть легко доступны для обработки (рис. 19, б), поскольку с увеличением диаметра отверстия 2 торец 1 можно обрабатывать на предварительно настроенном станке с более высокой производительностью. Конструкция втулки должна обеспечивать свободный вход и выход инструмента и удобство выполнения обработки.

Наружные поверхности вращения и их элементы унифицируют для использования одних и тех же многолезцовых наладок (рис. 20, а). Ступенчатые поверхности должны иметь минимальный перепад

диаметров. Рекомендуется заменять переходные поверхности фасками (рис. 20, б). В местах сопряжения точных поверхностей предусматривают выход инструмента (рис. 20, в). Сферические выпуклые поверхности делают со срезом перпендикулярно оси (рис. 20, г).

*Резьбы* должны быть нормализованы для всех производимых изделий. Следует избегать применения резьб малого диаметра (до 6 мм) в крупных деталях из-за частой поломки метчиков. При нарезании резьбы метчиком в отверстии рекомендуется делать заходную фаску. При нарезании резьбы на концах валиков должен предусматриваться сбег резьбы.

*Плоские поверхности* должны иметь конструкцию, которая обеспечивала бы равномерный и безударный съем стружки. Ширину поверхности необходимо увязывать с учетом нормального ряда диаметров торцевых или длин цилиндрических фрез и предусматривать обработку поверхностей на проход. Не следует обрабатывать внутренние поверхности корпусных деталей. Обрабатываемые поверхности желательно располагать выше примыкающих элементов (ребер, выступов), что облегчает обработку на проход.

*Пазы и гнезда* должны допускать обработку на проход. Глубину и ширину пазов выбирают в соответствии с нормальными размерами пазовых фрез. Предпочтительны пазы, которые можно обрабатывать дисковыми, а не концевыми фрезами.

Приведенные правила и рекомендации по рациональному выбору конструктивных решений деталей машин носят общий характер. Для деталей, обрабатываемых на станках с программным управлением, агрегатных станках и автоматических линиях, существуют дополнительные рекомендации, учитывающие особенности этих станков. При окончательном выборе конструкции детали конструктор совместно с технологом должны учитывать особенности различных методов обработки и конкретные возможности производства.

### Вопросы для самопроверки

1. Пояснить общие требования к технологичности деталей машин.
2. Пояснить требования к технологичности заготовок деталей машин.
3. Пояснить общие требования к технологичности деталей, изготовление которых предусматривает механическую обработку.
4. Пояснить влияние стандартизации и унификации деталей на их технологичность.

## Раздел 3 Технологическое обеспечение качества изготовления машин

### 3.1 Базы и базирование в машиностроении

**Понятие о базах и базировании.** В процессе проектирования машин конструктор определяет точность изготовления ее отдельных деталей и узлов, а также точность их взаимного положения. Заданная в технологической документации точность должна быть обеспечена при разработке технологического процесса изготовления детали. В связи с этим в процессе обработки заготовка должна занимать определенное положение относительно станка, инструмента и приспособления. Одной из причин, обуславливающих неточность размеров и отклонения взаимного положения обрабатываемых поверхностей заготовки, является неправильность ее установки на станке или в приспособлении.

Придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат называют **базированием**. При обработке резанием от того, как осуществляется базирование и закрепление заготовки на станке, в значительной мере зависит точность ее обработки. При этом под *закреплением* понимают приложение сил и пар сил к заготовке или изделию для обеспечения постоянства их положения, достигнутого при базировании. Базирование и закрепление заготовки или

изделия называют *установкой*.

В зависимости от служебного назначения все многообразие поверхностей деталей изделий машиностроения по ГОСТ 21495-76 подразделяются на основные, вспомогательные, исполнительные и свободные.

Под *основными* понимают поверхности, при помощи которых определяется положение данной детали в изделии. *Вспомогательными* называют поверхности детали, определяющие положение всех присоединяемых деталей относительно данной. *Исполнительные* поверхности выполняют служебное назначение. Исполнительными являются, например, профиль зубчатого колеса, рабочая шейка вала, поверхность подшипника скольжения и т.п. *Свободной* называют поверхность, не соприкасающуюся с поверхностями других деталей и служащую для соединения основных, вспомогательных и исполнительных поверхностей между собой. Вследствие этого образуется необходимая для конструкции форма детали.

При установке заготовок на станках различают: обрабатываемые поверхности; поверхности, ориентирующие заготовку относительно инструмента или рабочих элементов станка; поверхности, с которыми контактируют зажимные устройства и которые воспринимают зажимные силы; поверхности, от которых измеряют размеры; необрабатываемые поверхности.

Поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования, называется **базой**.

Примеры баз показаны на рис. 21.

Базирование необходимо для всех стадий создания изделия: конструирования, изготовления, измерения, а также при рассмотрении изделия в сборе. В связи с этим вытекает необходимость разделения баз по

назначению на три вида: конструкторские, технологические и измерительные.

*Конструкторскими* называют базы, используемые для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. Сборку изделия обычно производят, сопрягая конструкторские базы его элементов друг с другом без выверки. Конструкторские базы при этом представляют собой реальные поверхности, ориентирующие положение детали относительно других деталей при ее работе в машине. За конструкторские базы часто принимаются не материальные, а геометрические элементы деталей машин (осевые линии отверстий и валов, оси симметрии и т.п). Так, в конической передаче (рис. 22, а) конструкторскими базами являются две взаимно перпендикулярные оси конических колес. В червячном редукторе (рис. 22, б) точность взаимного положения элементов червячной пары определяется осями червяка и червячного колеса.

Группу конструкторских баз составляют *основные* и *вспомогательные* базы. Это подразделение конструкторских баз действительно как для изображения изделия на чертеже, так и изготовленного изделия. Необходимость такого подразделения вытекает из различия роли основных и вспомогательных баз и важности учета этого при конструировании, разработке и осуществлении технологических процессов. Основная база определяет положение самой детали или сборочной единицы в изделии, а вспомогательная база – положение присоединяемой детали или сборочной единицы относительно данной детали. Как правило, положение детали относительно других деталей определяют комплектом из двух или трех баз. Например, поверхность наружного кольца шарикоподшипника 1 (рис. 23) определяет положение его центра относительно корпуса, в который оно запрессовано, а торцевая поверхность 2 – положение шарикоподшипника при установке вдоль его оси. Таким образом, для данного случая установки шарикоподшипника

поверхности *1* и *2* являются основной и вспомогательной базами.

Размеры, связывающие рассматриваемую поверхность, линию или точку с ее конструкторскими базами, называют *конструкционными*.

*Технологическими* называют базы, используемые для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта. При использовании приспособлений за технологические базы принимают реальные поверхности, непосредственно контактирующие с установочными элементами приспособлений.

Иногда конфигурация детали, заданная конструктором точность размеров и геометрических параметров ее поверхностей не позволяют выбрать удовлетворительную технологическую базу и обеспечить простую и надежную схему базирования, при которой возможна достаточно производительная и экономичная обработка. В этих случаях прибегают к дополнительным поверхностям, которые служат только для базирования заготовки в приспособлении. Такие технологические базы называют *искусственными*. Для работы детали в изделии эти поверхности не нужны и после завершения обработки при необходимости могут быть удалены. Возможность создания искусственных технологических баз должна быть предусмотрена и оговорена в конструкции детали.

Примерами искусственных вспомогательных баз могут служить центровые гнезда валов, центрирующий пояс *1* и торец юбки *2* поршня автомобильного двигателя (рис. 24, а), плоскости *1* приливов *2* на литых заготовках для удобства их установки и крепления при обработке (рис. 24, б), технологические бобышки на заготовках турбинных лопаток (рис. 24, в), два установочных отверстия *1* на заготовках корпусных деталей (рис. 24, г). При работе деталей эти поверхности ни с какими поверхностями других деталей не сопрягаются и на работу деталей влияния не оказывают.

По месту положения в маршруте обработки технологические базы делят на черновые и чистовые.



*Черновыми* базами являются необработанные поверхности заготовок. Их используют в качестве баз при первой операции, когда обработанных поверхностей на заготовке еще нет. Они служат для создания чистовых технологических баз, хотя иногда могут использоваться для завершения обработки. Однако следует иметь в виду, что черновая технологическая база может быть принята только для одной установки. Повторное ее использование нарушает взаимное расположение обрабатываемых поверхностей.

В качестве черновых баз и заготовок, обрабатываемых по всем поверхностям, обычно принимают поверхности с наименьшими припусками. Не следует принимать за черновые базы поверхности разъема литейных форм и штампов. Черновые базирующие поверхности должны быть по возможности ровными и чистыми, на них не должно быть заусенцев, штамповочных и литейных уклонов, следов от литников и выпоров и других дефектов. Исключением могут быть способы обработки особо точных заготовок, полученных методами точного литья и штамповки, где термин черновая база является достаточно условным.

Обработанные поверхности, которые служат базами для последующих операций, называются *чистовыми* базами. Чистовые базирующие поверхности должны быть по возможности конструкторскими. Это исключает погрешности базирования. Чистовые базы должны иметь наибольшую точность формы и размеров и малую шероховатость поверхности. Кроме того, чистовые базирующие поверхности, должны обладать наибольшей устойчивостью при базировании и обеспечивать наименьшие деформации заготовки от сил зажатия и от воздействия сил резания. Наиболее полно такому требованию отвечает плоская поверхность заготовки, расположенная снизу и обладающая достаточными размерами.

*Измерительной* базой называют поверхность, используемую для

определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения. Если в качестве измерительной базы используют явные поверхности, то проверка параметров детали осуществляется прямыми методами измерения. При использовании скрытых баз в виде воображаемых линий или точек применяют косвенные методы измерения. При этом под *явной базой* понимают реальную поверхность, разметочную риску или точку пересечения рисков. *Скрытой* называют базу в виде воображаемой плоскости, оси или точки.

База может быть проектной и действительной.

*Проектная база* – это база, выбранная при проектировании изделия, технологического процесса изготовления или ремонта этого изделия. Она определяет расчетное положение детали относительно других деталей или частот изделия. На чертежах изделий такими базами могут быть различные геометрические элементы – оси отверстий и валов, плоскости симметрии, биссектрисы углов и т.п. *Действительной* называют базу, фактически используемую в конструкции, при изготовлении, эксплуатации или ремонте изделия.

**Постоянство и совмещение баз.** При обработке резанием на металлорежущих станках способ базирования и закрепления заготовки в значительной мере определяет точность обработки. Наиболее высокую точность обработки заготовок можно достичь в том случае, когда на основных технологических операциях используются в качестве технологических баз одни и те же поверхности заготовки.

*Принцип постоянства баз* заключается в том, что для выполнения всех операций обработки заготовки используются одни и те же технологические базы. Осуществление этого принципа снижает погрешности взаимного расположения обработанных поверхностей. Необходимость соблюдения принципа постоянства баз объясняется тем, что смена баз сопровождается возникновением погрешностей установки.

Поэтому в тех случаях, когда заготовку невозможно полностью обработать на одном станке и возникает необходимость обработки ее на других станках, то все технологические операции желательно выполнять на одной и той же технологической базе. Этот принцип практически в полной мере реализуется при обработке с одного установка заготовок сравнительно простых конструктивных форм, например, на токарно-револьверных станках, токарных автоматах и др.

Для обработки заготовок сложной конфигурации (например корпусных деталей), имеющих разнообразные поверхности, используются многоцелевые станки, станки с ЧПУ, многопозиционные и другие станки, позволяющие производить обработку заготовки с использованием одной базы по принципу концентрации технологических переходов.

Во многих случаях обработку заготовок производят за несколько технологических операций. Поэтому в начале технологического процесса создают технологические базы, обеспечивающие достаточную устойчивость и жесткость установки заготовки. Эти базы используют затем на последующих операциях. Однако при выполнении большого числа операций выбранные технологические базы могут утрачивать первоначальную точность размеров, формы, а также параметр шероховатости. В этом случае возникает необходимость смены баз, когда часть операций выполняют на других базах.

Иногда использование принципа постоянства баз может привести к усложнению технологического процесса, в результате чего увеличивается трудоемкость и себестоимость изготовленной детали. В этом случае также возникает необходимость смены баз. При этом *сменой баз* называют замену одних баз другими с сохранением их принадлежности к конструкторским, технологическим или измерительным базам.

В качестве новых технологических баз выбирают обычно наиболее точно обработанные поверхности, которые связаны с первоначальными

базами высокими точностными параметрами.

Однако следует иметь в виду, что каждый переход от одной базы к другой увеличивает накопление погрешностей положения обрабатываемой заготовки относительно станка, приспособления, инструмента.

При выборе технологических баз для обработки заготовок следует использовать принцип *совмещения (единства) баз*, т.е. в качестве технологических баз принимают поверхности, которые являются конструкторскими и измерительными базами. Наибольшая точность может быть достигнута в том случае, когда технологическая, конструкторская и измерительная базы совпадают.

Отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при установке от требуемого называется *погрешностью установки* (ГОСТ 21495-76).

Погрешность установки  $\Delta_y$  формируется в результате действия погрешностей базирования  $\Delta_b$ , погрешностей закрепления  $\Delta_z$  и приспособления  $\Delta_{пр}$ . В общем виде она может быть представлена как векторная сумма:

$$\Delta_y = \Delta_b + \Delta_z + \Delta_{пр}.$$

В тех случаях, когда измерительная база не совпадает с технологической, возникает *погрешность базирования*  $\Delta_b$ . Эта погрешность зависит от выбора тех баз, которыми заготовка при обработке устанавливается на опорные поверхности приспособления и равна допуску на размер, соединяющий измерительную и технологическую базы. В качестве таких баз рекомендуется выбирать поверхности, связанные точным размером с поверхностью, подлежащей обработке на данной операции. Погрешность базирования определяется для конкретного выполняемого размера при данной схеме базирования.

Например, при обработке поверхности 3 (рис. 25) необходимо выдержать размер  $h$  с заданными допусками. В первом случае (рис. 25, а)

за базу выбрана поверхность 1, обработанная, как и поверхность 2, на предыдущей операции. Размер  $H$  является свободным размером. В этом варианте обработки технологическая база совпадает с измерительной и настраивать режущий инструмент на размер  $h$  необходимо относительно поверхности 1. Если базировать деталь по поверхности 2 (рис. 25, б) и настроить установку режущего инструмента относительно этой поверхности на высоту  $H$ , то требуемый размер  $h$  определится как разность размеров  $H$  и  $h_1$ , т.е.  $h = H - h_1$ , что и вызовет появление погрешности базирования, поскольку точность размера  $h$  будет зависеть от точности размеров  $H$  и  $h_1$ . Как видно, погрешность базирования на размер  $h$  будет равна сумме допусков на размеры  $H$  и  $h_1$ .

Погрешность базирования влияет на точность выполнения размеров, точность взаимного расположения поверхностей и не влияет на точность их формы. Для уменьшения погрешности базирования необходимо совмещать технологические и измерительные базы, повышать точность выполнения размеров технологических баз, выбирать наиболее рациональное расположение установочных элементов.

При базировании заготовки на станке или в приспособлении возникают также *погрешности закрепления*. Например, при фрезеровании заготовки (рис. 26,а) в результате действия силы зажима  $Q$  возникает деформация  $a$ , зависящая от величины этой силы, качества поверхности технологической базы и свойств материала. При обработке партии деталей сила зажима  $Q$  будет изменяться, вследствие чего будет изменяться и величина осадка  $a$  заготовки. Тогда при неизменном положении инструмента, настроенном на партию деталей, технологическая база будет смещаться, то есть возникает погрешность закрепления  $\Delta_3$ . Величина этой погрешности обычно невелика, однако для тяжелых заготовок, зажимаемых с большим усилием, она может иметь значительную величину. Уменьшить эту погрешность можно путем применения

зажимных устройств (пневматических, гидравлических и др.), обеспечивающих постоянную силу закрепления заготовок; а также рационального выбора направления силы закрепления; повышения однородности поверхностного слоя и материала заготовок.

При неправильной схеме закрепления (рис. 26,б), когда сила зажима  $Q$  не обеспечивает плотного прижатия заготовки к опорным поверхностям, может произойти в процессе обработки ее смещение и проворот вокруг точки  $O$ . В результате этого могут возникать грубые погрешности обработки, в частности, непараллельность обрабатываемой поверхности заготовки ее нижней базе.

**Способы базирования заготовок.** При выборе технологических баз необходимо обеспечивать требуемую ориентацию обрабатываемой заготовки. Установка заготовок для их обработки может быть осуществлена различными способами. Заготовка может быть установлена непосредственно на столе станка (или в универсальном приспособлении) с выверкой ее положения относительно стола станка и инструмента. В единичном и мелкосерийном производстве положение заготовки на станке иногда выверяют после ее базирования и закрепления. Поверхности, относительно которых происходит выверка положения заготовки на станке, называют *проверочными*. В массовом и крупносерийном производстве заготовки устанавливают в приспособлениях без выверки их положения. Поверхности заготовки, которые при контакте с установочными элементами приспособления ориентируют заготовку, называют *опорными*.

Обработка заготовки после выверки ее положения происходит обычно способом индивидуального получения заданных размеров, а режущий инструмент устанавливают на размер индивидуально для каждой заготовки путем *пробных* рабочих ходов и измерений. Иногда выверку производят до закрепления заготовки и окончательно – после ее

закрепления, так как под действием сил зажатия заготовка может изменить свое положение. Положение заготовки выверяют либо непосредственно по обрабатываемой поверхности, либо по разметочным рискам и керновкам. Эти элементы являются технологическими (поверочными) базами в отличие от опорных поверхностей, на которые устанавливается заготовка.

*Разметкой* называют нанесение на заготовку осей и линий, определяющих положение обрабатываемых поверхностей. Разметку выполняют для проверки годности исходных заготовок, определения границ обработки, выверки заготовок при базировании их на станке, а также для контроля обработки сложных деталей машин. Кроме того, разметку отливок и поковок с последующей выверкой их положения на станке производят с целью обозначить на заготовке такое положение обрабатываемых поверхностей, которое обеспечивало бы припуски для всех поверхностей равномерными и достаточными.

Разметку производят с помощью различных разметочных инструментов: циркуля, угольника, керна, чертилки, штангенциркуля с острыми губками и др.

Разметка требует значительной затраты времени высококвалифицированного рабочего-разметчика, от индивидуальных способностей которого зависит точность разметки. Однако базирование по разметке не обеспечивает достаточно высокой точности обработки. Используют такой способ базирования при обработке достаточно крупных отливок сложной конфигурации и крупных поковок главным образом в тяжелом машиностроении.

Базирование заготовок при механической обработке и контроле может осуществляться при помощи различных станочных приспособлений. При этом отпадает необходимость разметки заготовок и выверки их положения на станке. Благодаря устранению выверки и связанных с ней погрешностей, значительно повышается точность

обработки, облегчается труд, повышается безопасность работы. Кроме того, применение приспособлений позволяет вести обработку при более высоких режимах резания, значительно сокращает вспомогательное время и снижает себестоимость изделий.

В условиях мелкосерийного и единичного производства применяют главным образом различные универсальные нормализованные приспособления: патроны, машинные тиски, поворотные и делительные головки, люнеты, центры, поворотные столы и т.п. Затраты на проектирование и изготовление специальных приспособлений обычно не окупаются теми преимуществами, благодаря которым облегчается базирование заготовок.

В крупносерийном и массовом производстве применение специальных и специализированных приспособлений экономически всегда оправдано, поскольку затраты на изготовление таких приспособлений сравнительно быстро окупаются при повторяемости обработки одних и тех же деталей в больших количествах.

В специальных приспособлениях для базирования заготовок предусматриваются установочные поверхности. Положение любой поверхности заготовки может быть определено только относительно других поверхностей, условно принимаемых за координатные. Для полной ориентации заготовки в приспособлении число и расположение установочных элементов приспособления должно быть таким, чтобы заготовка не могла иметь сдвига и вращения относительно трех координатных осей. При этом должно соблюдаться условие неотрывности баз от установочных элементов, т.е. сохранения плотного контакта между ними.

Как известно из технической механики, положение любого абсолютно твердого тела в пространстве (в том числе и заготовки при обработке) определяется шестью степенями свободы, дающих возможность



ему перемещаться и поворачиваться относительно трех координатных осей. Требуемое положение твердого тела относительно выбранной системы координат достигается наложением геометрических связей, при этом тело лишается трех перемещений вдоль координатных осей и трех поворотов вокруг этих осей, т.е. тело становится неподвижным.

Лишить заготовку (твердое тело) каждой из шести степеней свободы можно, прижав ее к соответственно расположенной неподвижной точке приспособления, называемой установочным элементом, или опорной точкой. Каждый установочный элемент лишает заготовку одной степени свободы, т.е. возможности перемещаться в направлении, перпендикулярном опорной поверхности. Для лишения заготовки всех шести степеней свободы, ее необходимо базировать на шести опорных точках. Взаимное положение этих точек должно обеспечить достаточную устойчивость заготовки в приспособлении. По ГОСТ 21495-76 *опорная точка* символизирует одну из связей заготовки или изделия с выбранной системой координат.

В этом заключается так называемое *правило шести точек*: для полного базирования заготовки в приспособлении необходимо и достаточно создать в нем шесть опорных точек, расположенных определенным образом относительно базовых поверхностей заготовки. Эти шесть точек должны быть расположены в трех координатных плоскостях. Увеличение числа опорных точек сверх шести может ухудшить условия базирования, так как заготовка не будет опираться на все опоры, вследствие чего возможно ее деформирование под действием сил зажимов.

Для надежного закрепления при обработке заготовка должна быть прижата одновременно ко всем шести опорным точкам.

Схема установки заготовки на шесть опорных точек показана на рис. 27, а. После прижатия силой  $Q$  заготовка  $I$  получает ориентированное

положение в пространстве, необходимое для точной обработки паза 2 по высоте, ширине и длине.

В зависимости от условий выполнения технологической операции может быть допущена частичная, т.е. неполная ориентация заготовки. Схема установки гладкого диска  $I$  на пять опорных точек приведена на рис. 27, б. Под действием силы  $Q$  диск плоской боковой поверхностью опирается на три точки, а цилиндрической поверхностью – на две остальные. В этом случае для получения площадки 2 в произвольном месте пяти опорных точек оказывается вполне достаточно. Схема установки круглой заготовки  $I$  на три точки для обдирочного шлифования верхней плоской поверхности показана на рис. 27, в. В этом случае для получения размера  $H$  точное базирование заготовки в горизонтальной плоскости и относительно вертикальной оси не требуется.

Иногда для обработки заготовка базируется одновременно по двум плоским поверхностям, которые могут быть взаимно параллельны или перпендикулярны. В этом случае вместо полных поверхностей применяются опорные штифты, которые могут быть неподвижными или регулируемые. Применение таких штифтов вместо плоских поверхностей позволяет более правильно и точнее установить деталь, а в случае износа штифтов их легко заменить на новые.

Вопросы теории базирования играют ведущую роль в технологии машиностроения. Правильный выбор баз и схемы базирования в значительной мере определяет оптимальную последовательность обработки заготовки, выбор рациональной конструкции приспособлений, достижимые точность и качество обработанной поверхности, производительность и себестоимость механической обработки и сборки деталей машин.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Дать определение понятию базы и базирования.
2. Пояснить классификацию поверхностей в зависимости от служебного назначения.
3. Какие виды баз установлены по ГОСТ 21495-76?
4. В чем заключаются принципы постоянства и совмещения баз?
5. В чем заключается правило шести точек в технологии машиностроения?
6. Пояснить причины, обуславливающие возникновение погрешностей при установке заготовки на станке или в приспособлении.

## **3.2 Точность обработки деталей**

### **3.2.1 Понятие о точности**

Экономическая эффективность использования новой техники в различных отраслях промышленности зависит от качества производимых машин, оборудования и приборов. Технический уровень и качество изготавливаемых изделий в значительной мере определяются как совершенством конструкции, так и уровнем технологии их производства. Одним из важнейших составляющих элементов понятия качества машин является точность. Тенденция развития машиностроения характеризуется повышением производительности рабочих машин и оборудования, увеличением нагрузочной способности их деталей и узлов, возрастанием требований к надежности и долговечности машин и снижением их материалоемкости. Поэтому увеличение скорости рабочих процессов и удельных нагрузок может быть достигнуто в значительной мере повышением точности изготовления как отдельных деталей, так и изделия в целом.

Точность изготовления деталей машин и механизмов обусловлена наличием тех или иных погрешностей, возникающих на различных этапах технологического процесса. Причинами возникновения погрешностей

обработки являются действия различных технологических факторов. Выяснение этих причин с целью управления точностью обработки требует, прежде всего, наличия соответствующих методов и средств оценки этих погрешностей, т.е. наличия производственного контроля, характеризуемого применением необходимых измерительных инструментов, приборов и систем. Технический прогресс в области точности механической обработки и качества изделий обуславливает необходимость опережающего развития технических измерений и совершенствования организации производственного контроля.

При любом виде технологического процесса изготовления нельзя получить деталь определенного заданного размера. Этот размер может быть получен с большей или меньшей степенью приближения в пределах допусков, назначенных конструктором машины и указанных на чертеже детали.

Под **точностью обработки** в технологии машиностроения понимают степень соответствия обработанной детали размерам, форме и иным характеристикам, вытекающим из требований чертежа или другой нормативно-технологической документации. Естественно, чем выше это соответствие, тем выше и точность обработки.

Погрешности, возникающие при обработке, характеризуют отклонение параметров действительных поверхностей детали от заданных конструктором на чертеже. Они подразделяются на систематические и случайные.

Систематическими называют погрешности, постоянные по величине и направлению или изменяющиеся по определенному закону. Они могут быть вызваны ошибками настройки станков или приборов, температурными деформациями, качеством изготовления и состоянием инструмента и приспособлений, неправильным выбором технологических и измерительных баз, неточностью установки инструмента и приспособлений, износом

инструмента во время работы и другими факторами.

Случайные погрешности обусловлены воздействием различных независимых друг от друга случайных факторов. Эти погрешности являются следствием нарушений, возникающих в тех факторах, которые определяют систематические погрешности. Такими факторами могут быть, например, неоднородность свойств материала заготовки; непостоянство ее размеров; изменение сил резания в процессе обработки; жесткость технологической системы станок–приспособление–инструмент–заготовка, т.е. ее способность сохранять неизменность положения режущих кромок инструмента относительно обрабатываемой заготовки; деформация заготовки, возникающая при ее закреплении; неточность измерений в процессе обработки вследствие ошибок исполнителя или влияния температуры и других факторов.

Причины, вызывающие возникновение погрешностей обработки, полностью устранить невозможно, однако, применяя более совершенные технологические приемы эти погрешности можно свести к минимуму.

Трудоемкость и себестоимость изготовления деталей в значительной мере зависят от точности их обработки. С повышением точности (при прочих равных условиях) себестоимость обработки увеличивается, так как обработка деталей по более высокому качеству требует более значительных трудовых и материальных затрат на оборудование, приспособления, инструмент и контроль. Кроме того, по мере уменьшения поля допуска увеличивается вероятность появления брака.

В производственных условиях точность обработки зависит от многих факторов, поэтому обработку на станках ведут не с достижимой, а с так называемой экономической точностью. При этом *экономическая точность* предполагает выпуск годных изделий на вполне исправных станках с минимальной себестоимостью в нормальных производственных условиях. Под *достижимой точностью* понимают такую точность, которую можно

достичь в особых условиях, необычных для данного производства, высококвалифицированными рабочими, не считаясь с себестоимостью обработки, с затратами труда и временем на обработку.

Точность обработки можно характеризовать следующими основными признаками: 1) точностью размеров, 2) точностью формы поверхности и 3) точностью взаимного расположения поверхностей и осей.

**Точность размеров** предполагает соблюдение линейных или угловых размеров. Этот вид точности характеризуется величиной допусков, и разработка более совершенных машин сопровождается, как правило, ужесточением допусков. Заданные чертежом допуски, ограничивающие отклонения геометрических параметров поверхностей детали, должны обеспечить служебное назначение машины. Эти допуски устанавливаются соответствующими стандартами. Под допуском при этом понимают степень приближения действительного размера к номинальному.

**Точность формы** означает отклонение от геометрически правильной формы, заданной конструктором на чертеже. Различают отклонения от правильной формы деталей типа тела вращения и отклонения от плоской поверхности.

Отклонения от правильной формы деталей типа тела вращения (валы, оси, втулки, гильзы, кольца и т.п.) могут быть в поперечном сечении – отклонение от круглости (овальность, огранка) и в продольном сечении – отклонение от цилиндричности (конусообразность, бочкообразность, седлообразность, изогнутость).

Отклонения от плоской поверхности – это непрямолинейность (кривизна) и неплоскостность (выпуклость, вогнутость, рельефность).

К основным видам отклонения поверхностей и осей деталей от точного взаимного расположения можно отнести отклонение от параллельности, отклонение от перпендикулярности, отклонение от

соосности, радиальное биение (отклонение от концентричности), непересечение осей, смещение осей от номинального расположения и другие виды погрешностей.

Некоторые виды погрешностей геометрической формы и отклонения поверхностей от точного взаимного расположения показаны на рис. 28.

По правилам оформления машиностроительных чертежей все проставляемые на чертежах размеры должны иметь указания о требуемой точности их выполнения. Эти указания задают обычно в виде допустимых погрешностей – предельных отклонений. Числовые величины, относительно которых указываются отклонения на чертежах и которые служат началом отсчета отклонений при обработке и контроле деталей, называются *номинальными размерами*. Эти размеры определяются в результате расчета деталей на прочность, жесткость, износостойкость и по другим критериям работоспособности и округляются до ближайшего размера в соответствии со стандартным параметрическим рядом предпочтительных чисел.

Градации точностей в машиностроении определяются 17 квалитетами точности: 1, 2, 3...16, 17. Квалитет в переводе означает «степень точности» (точнее «степень качества»). Точность обработки понижается с увеличением номера квалитета.

### 3.2.2 Факторы, влияющие на точность обработки

Рассмотрим влияние некоторых факторов на точность обработки деталей.

**Точность станков.** Металлорежущие станки, как и все изделия, изготавливают с определенной степенью точности. Точность станка в ненагруженном состоянии называют геометрической точностью. *Геометрическая точность* новых станков определяется стандартами.

Точность станков определяется главным образом точностью

подшипниковых узлов, точностью направляющих, точностью кинематических цепей, точностью передач коробки скоростей и коробки подач.

В процессе эксплуатации отдельные детали и узлы станка изнашиваются, нарушаются отдельные регулировки. При этом более интенсивно изнашиваются те детали и узлы, которые испытывают наибольшие удельные нагрузки. Вследствие износа, например, подшипников качения вала шпинделя токарного станка появляется биение обрабатываемой детали и образование неточности ее геометрической формы. Биение вращающихся центров станка также приводит к биению обрабатываемых поверхностей заготовки относительно оси центральных отверстий. Кроме того, возникают упругие деформации отдельных частей станка от действия сил резания. Величина упругой деформации тем больше, чем больше силы резания и меньше жесткость узлов станка.

В процессе работы станков могут возникать погрешности обработки, вызванные нагруженным состоянием их отдельных деталей и узлов. Например, при отклонении от соосности центров станка в плоскости, параллельной направляющей станины, получается деталь с погрешностью геометрической формы – конусообразность (рис. 29, а), а при отклонении от соосности центров станка в плоскости, перпендикулярной к направляющим станины, получается деталь вогнутой, т.е. седлообразной формы (рис. 29, б).

На точность обработки влияет также изменение линейных размеров частей станка при нагреве их под действием сил трения в опорах, что обуславливает отклонение от геометрической точности станков и приводит к появлению погрешности обработки.

**Точность инструмента.** Точность обработки в значительной степени зависит от точности изготовления режущего инструмента. Инструмент изготавливается с определенными погрешностями размеров,



формы и взаимного положения его отдельных элементов. Погрешности инструментов (зенкеров, разверток, протяжек, фрез и др.) влияют впоследствии на точность формы или размера обработанной поверхности. Поэтому чем точнее изготовлен инструмент, тем точнее и размеры деталей, полученные после обработки этим инструментом.

В процессе резания инструмент изнашивается. Точность инструмента в процессе изнашивания снижается, что приводит к искажению его формы и размеров. В связи с этим износ инструмента существенно влияет на точность обработки. Следует заметить, что инструмент изнашивается быстрее, чем детали станка. Интенсивность изнашивания инструмента в значительной степени зависит от режимов обработки, вида инструмента, геометрии его режущей части, материала инструмента и заготовки и от других факторов. Затупленный резец, например, вызывает увеличение радиальной составляющей силы резания, и, как следствие, увеличение деформаций отдельных деталей станка и обрабатываемой заготовки. При обтачивании длинного вала износ резца приводит к увеличению диаметра обработанного вала на конечном участке. Восстановление режущих свойств инструмента производят последующей его заточкой. Время работы (в минутах) между переточками называют *стойкостью инструмента*.

**Деформация обрабатываемой заготовки.** При обработке заготовок на металлорежущих станках силы зажатия и силы резания могут значительно деформировать заготовку, вследствие чего размеры обработанной детали изменяются и появляются отклонения от правильной геометрической формы.

Возможные отклонения вала от правильной геометрической формы вследствие его деформации от сил резания показаны на рис. 30. Длинный, т.е. нежесткий вал, установленный на токарном станке по центровым отверстиям, прогибается, и на концах будет иметь меньший диаметр, чем в середине. Следовательно, жесткость заготовки оказывает существенное

влияние на точность обработки. При этом под жесткостью понимают способность детали (или заготовки) сохранять свое первоначальное положение, принятое при базировании. Большая жесткость обрабатываемой заготовки является одной из главнейших предпосылок достижения необходимой точности при обработке.

С жесткостью в значительной степени связано и явление вибрации. Вибрация в процессе обработки практически не возникает в случае достаточной жесткости детали и инструмента. Необходимая жесткость детали в процессе обработки достигается рациональным и правильным ее закреплением на станке или в приспособлении, а также (при необходимости) применением дополнительных опор. В практике при обработке, например, нежестких длинных валов на токарных станках роль дополнительных опор часто выполняют люнеты, устанавливаемые на направляющих станины станка. При этом нежесткими считаются валы, у которых  $l/d > 10 \dots 12$ .

Пример обработки нежесткого вала на токарном станке в центрах с применением люнетов показан на рис. 31. В данном случае отношение длины вала к диаметру равно примерно 30...40. Дополнительная опора в виде люнета не позволяет ему деформироваться в процессе обработки.

На точность обработки влияют также силы, действующие на заготовку при ее закреплении. В частности, при закреплении нежестких заготовок (например, валов) в центрах токарных станков давление центра задней бабки станка может вызвать их продольный изгиб. Поэтому величина силы зажима, особенно в случае необходимости обработки деталей с высокой точностью, должна контролироваться и быть оптимальной.

Особенно заметными могут быть деформации при закреплении тонкостенных заготовок (гильз, втулок, колец и т.д.) в трехкулачковых патронах для обработки отверстий. При этом их правильная

цилиндрическая форма от сил зажима искажается. Такие заготовки, будучи обработаны в деформированном состоянии, после освобождения из патрона вследствие упругости деформаций принимают первоначальную форму, при этом обработанные отверстия теряют форму окружности и цилиндра.

Тонкостенная деталь, деформированная силой зажима в трехкулачковом патроне показана на рис. 32, а. После растачивания отверстие как и подобает, приобрело правильную форму окружности (рис. 32, б). Однако после освобождения детали от сил зажима кулачков патрона ее наружная поверхность вследствие сил упругости принимает первоначальную форму окружности, а правильная цилиндрическая форма расточенного отверстия становится неправильной, искаженной (рис. 32, в). Поэтому при закреплении таких деталей в патроне или в приспособлении станка следует учитывать возможные искажения их формы и размеров в процессе обработки.

Возможные изменения формы и размеров деталей могут быть также при обработке заготовок, полученных литьем, ковкой, штамповкой. В таких заготовках в результате неравномерного охлаждения возникают значительные внутренние напряжения. Особенно значительной величины внутренние напряжения достигают в крупных отливках сложной конфигурации, например в отливках для станин металлорежущих станков.

После снятия верхних слоев металла резанием в таких заготовках происходит перераспределение напряжений и заготовки деформируются. Для снижения внутренних напряжений крупные отливки ответственных деталей подвергают естественному или искусственному старению. В первом случае отливки после грубой (обдирочной) обработки выдерживают в течение до 6 месяцев и более при температуре окружающего воздуха. Внутренние напряжения при этом перераспределяются вследствие перекристаллизации металла, а деталь вследствие этого деформируется (коробится). В случае искусственного

старения отливки нагревают и выдерживают в течение 12...15 часов в печах при температуре 450...500°C и охлаждаются вместе с печью. Последующая чистовая обработка заготовок позволяет исправить появившиеся погрешности формы и размеров.

Иногда искусственное старение производят, например, вибрационным воздействием на заготовку, пропусканием через нее электрического тока, пропусканием заготовки через моечную машину с горячей и холодной водой, шлифованием необработанных поверхностей заготовки ручными шлифовальными кругами.

**Температурные деформации.** В процессе резания механическая энергия расходуется на деформирование срезаемого слоя металла и на преодоление сил трения, возникающих при контакте сходящей стружки и изделия с режущим инструментом. В результате превращения механической энергии в тепловую выделяется большое количество тепла, поглощаемого стружкой, обрабатываемой заготовкой, режущим инструментом и окружающей средой. При этом температура рабочей поверхности резцов в зоне резания составляет 800...1000°C и выше.

Повышение температуры обрабатываемой заготовки и инструмента приводит к температурным деформациям, вызывающим соответствующие погрешности обработки. Например, нагрев проходного резца средней величины на 20°C приводит к увеличению его длины на 0,01 мм, что вызывает уменьшение диаметра обрабатываемой заготовки на 0,02 мм. Кроме того, заготовка в процессе резания может нагреваться неравномерно, что приводит к изменению не только ее размеров, но и формы. Средняя температура заготовки при этом во многом зависит от ее размеров, материала, режимов резания, условий закрепления и продолжительности работы. Тонкостенные заготовки нагреваются при обработке в большей степени, чем массивные, что обуславливает более значительную их деформацию.

Для уменьшения температурных деформаций обрабатываемых заготовок необходимо тщательно подбирать режим резания, осуществлять качественную заточку режущего инструмента, чистовую обработку производить после черновой и получистовой обработки с перерывом, достаточным для охлаждения заготовки, а также применять обильное охлаждение смазочно-охлаждающими жидкостями.

Важное значение для повышения точности механической обработки имеет правильный выбор материала для изготовления инструмента или его режущей части.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Дать определение понятию точности.
2. Какими признаками можно характеризовать точность обработки?
3. Пояснить некоторые виды погрешностей геометрической формы и отклонения поверхностей от точного взаимного расположения.
4. Какие факторы оказывают влияние на образование погрешностей обработки?
5. Пояснить основные пути повышения точности механической обработки.

## **3.3 Качество поверхностей деталей машин**

### **3.3.1 Понятие о качестве поверхности**

В технике под поверхностью детали понимают наружный слой, который по строению и другим физическим свойствам отличается от внутренней части. Комплекс свойств, приобретаемых поверхностью детали в результате ее изготовления, характеризуется обобщенным понятием «качество поверхности».

**Качество поверхности** детали можно характеризовать физико-механическими и физико-химическими свойствами, а также макро-, микрогеометрией и волнистостью поверхности. Оно формируется в

процессе обработки детали в результате воздействия на поверхностный слой режущего инструмента и зависит от свойств обрабатываемого материала, режимов обработки, геометрии и режущих способностей инструмента и других технологических факторов.

Физико-механические свойства поверхностного слоя определяются твердостью, структурными и фазовыми превращениями, величиной и глубиной остаточных напряжений и деформаций кристаллической решетки.

Физико-химические свойства поверхности характеризуются наличием на металлической поверхности различных пленок, прочно связанных с основным металлом.

Под макрогеометрическими отклонениями формы поверхности понимают отклонение формы реальной поверхности от формы номинальной поверхности, заданной конструктором на чертеже.

После обработки деталей на металлорежущих станках их поверхность не является гладкой. Режущие кромки инструмента оставляют неровности в виде выступов и впадин различной формы и размеров, то есть поверхность является шероховатой.

Шероховатость поверхности является одной из основных геометрических характеристик качества поверхности деталей, оказывающей существенное влияние на их эксплуатационные свойства. Термины и определения основных понятий по шероховатости поверхности установлены ГОСТ 25142-82 и ГОСТ 2789-73.

Требования к шероховатости поверхности должны быть обоснованными и устанавливаться исходя из функционального назначения, конструктивных особенностей и условий работы детали. Поэтому правильное назначение этих требований имеет большое экономическое значение, поскольку с повышением качества поверхности стоимость обработки существенно возрастает.

**Шероховатостью** поверхности называется совокупность неровностей с относительно малыми шагами на базовой длине исследуемого участка. Иногда сочетание выступов и впадин полученной поверхности называют микронеровностями или микрогеометрией.

Шероховатость обработанной поверхности является следствием пластической деформации поверхностного слоя детали при образовании стружки, копирования неровностей режущих кромок инструмента и трения его о заготовку, вырывания с поверхности частиц материала и других причин.

Существенное влияние на шероховатость поверхности оказывают механические свойства обрабатываемого материала. Вязкие и пластичные материалы (например, низкоуглеродистые стали) дают при их обработке резанием значительно большую шероховатость. При снижении пластичности величина шероховатости уменьшается. Более твердые и хрупкие материалы (например, автоматные стали) после их обработки резанием имеют меньшую шероховатость, чем пластичные, обработанные в одинаковых с ними условиях.

Физико-механические свойства и структура поверхностного слоя существенно отличаются от исходного материала. Это обусловлено воздействием на обрабатываемую поверхность заготовки силовых и тепловых факторов. После механической обработки стальной заготовки структура ее поверхностного слоя изменяется. Значительные деформации металла в зоне резания вызывают повышение его твердости и предела прочности и одновременное снижение пластичности. Как известно, это явление называется *наклепом*. Интенсивность и глубина распространения наклепа возрастают с увеличением сил резания и с повышением степени пластической деформации металла поверхностного слоя.

Одновременно с упрочнением под влиянием нагрева зоны резания в металле поверхностного слоя протекают процессы разупрочнения и отдыха,

возвращающие металл в его первоначальное ненаклепанное состояние.

Степень и глубина распространения наклепа изменяются в зависимости от вида и режима механической обработки и геометрии режущего инструмента. Изменение режима обработки, вызывающее увеличение сил резания и степени пластической деформации, ведет к повышению степени наклепа. Рост продолжительности воздействия сил резания на металл поверхностного слоя приводит к увеличению глубины распространения наклепа. Например, при точении, фрезеровании, протягивании, т.е. при процессах, происходящих с относительно небольшими скоростями, но с большими силами резания, поверхностный слой наклепывается на глубину до 0,5...1,0 мм.

На качество обработанной поверхности существенное влияние оказывают методы обработки резанием. При этом каждому методу обработки соответствует определенный диапазон шероховатостей.

Из параметров режимов резания наибольшее влияние на величину шероховатости оказывает скорость резания и подача. При этом влияние скорости резания на шероховатость в значительной степени сказывается при обработке достаточно пластичных материалов, склонных к образованию *нароста* (например, низкоуглеродистых конструкционных сталей), поскольку нарост изменяет форму режущей кромки инструмента. Поэтому вязкие и пластичные материалы дают при обработке резанием грубые и шероховатые поверхности.

Наиболее интенсивное образование нароста наблюдается при скорости резания около 30 м/мин. Повышение скорости резания приводит к увеличению выделяемой в зоне резания теплоты, вследствие чего прочность нароста снижается, и он разрушается. В зоне скоростей резания выше 70...80 м/мин наросты не образуются и шероховатость поверхности оказывается наименьшей.

Следовательно, одной из предпосылок получения поверхности



детали с небольшой шероховатостью является обработка при скоростях резания выше 75 м/мин.

Стали с мелкозернистой структурой обрабатываются с образованием меньшей шероховатости, поэтому перед чистовой обработкой детали из углеродистых конструкционных сталей рекомендуется подвергать нормализации при 850...870°C.

При обработке хрупких материалов, например чугунов и некоторых цветных металлов, с увеличением скорости резания обработанная поверхность становится более гладкой.

Другим параметром режима резания, оказывающим существенное влияние на шероховатость, является подача. Практика механической обработки показывает, что при точении сталей с подачами от 0,01 до 0,15 мм/об, характерными для чистового точения, изменение подачи мало влияет на величину шероховатости. Однако при переходе в область более крупных подач (более 0,15 мм/об) шероховатость обработанной поверхности резко возрастает.

Поэтому при отделочном точении стандартными проходными резцами с небольшим радиусом закругления подачу целесообразно принимать в пределах 0,09...0,12 мм/об. При точении широкими резцами с переходной кромкой 2...3 мм с углом  $\phi_1$  равным 0 шероховатость поверхности от величины подачи не зависит. Это обстоятельство позволяет повысить производительность отделочных операций.

При достаточной жесткости инструмента и обрабатываемой заготовки глубина резания заметного влияния на шероховатость поверхности не оказывает. Это объясняется тем, что степень деформации металла с увеличением ширины среза изменяется мало. Увеличение глубины резания мало сказывается и на величине образования нароста.

Следует отметить, что во многих случаях шероховатость возникает в результате одновременного и почти равнозначного воздействия всех

рассмотренных факторов и вследствие этого не имеет четко выраженных закономерностей.

На качество обработанной поверхности существенное влияние оказывает микрогеометрия и износ режущих инструментов. Микрогеометрия поверхности режущих элементов инструмента копируется на обработанной поверхности, ухудшая ее качество. Поэтому режущие поверхности резцов должны быть тщательно заточены и доведены абразивными алмазными кругами.

Существенное влияние на шероховатость поверхности оказывает геометрия инструмента. В частности, с увеличением радиуса вершины резца  $r$  шероховатость уменьшается при условии жесткой и виброустойчивой технологической системы. Минимальная шероховатость обработанной поверхности обеспечивается при величине главного угла в плане  $\varphi=75\ldots90^\circ$  и вспомогательного угла  $\varphi_1=12\ldots15^\circ$ . При увеличении переднего угла  $\gamma$  высота микронеровностей несколько убывает.

Шероховатость также значительно возрастает и по мере износа инструмента. Изношенные и округленные режущие кромки резцов способствуют увеличению работы трения, нароста и появлению вибраций, что способствует росту шероховатости обработанной поверхности.

Существенное влияние на процесс механической обработки оказывают смазочно-охлаждающие жидкости. Применение этих жидкостей обеспечивает интенсивный отвод тепла из зоны резания, снижает трение, затрудняет образование нароста, замедляет износ инструментов, что впоследствии положительно сказывается на качестве обработанной поверхности.

Соответствующим выбором смазочно-охлаждающих жидкостей можно существенно уменьшить шероховатость и повысить стойкость инструмента. Путем применения минеральных осерненных и растительных масел высота микронеровностей уменьшается на 25...40% по сравнению с

обработкой без охлаждения. Шероховатость поверхности при шлифовании можно уменьшить тщательной фильтрацией охлаждающей жидкости от абразивных частиц.

Важное значение на качество поверхности оказывает ее волнистость. При этом под *волнистостью* поверхности понимают совокупность более или менее регулярно чередующихся неровностей с относительно большим шагом, значительно превышающим принимаемую при измерении шероховатости базовую длину.

Волнистость занимает промежуточное положение между шероховатостью и погрешностями формы (макрогеометрией) поверхности. В качестве критерия для разграничения шероховатости и волнистости используется величина отношения шага к высоте неровностей (рис. 33). Для шероховатости  $l/H < 50$ ; для волнистости  $L/H_g = 50 \dots 1000$ .

Волнистость поверхности образуется в результате неравномерности подачи при точении и шлифовании, отклонения от плоскостности направляющих, наличии неуравновешенных масс, искажения формы шлифовального круга в процессе его работы и других факторов.

Шероховатость и волнистость поверхности взаимосвязаны с точностью размеров. Высокой точности размеров всегда соответствуют малые значения шероховатости и волнистости поверхности.

Шероховатость поверхности при конструировании назначается в зависимости от точности размеров и точности формы. Если допуск формы более 60% от допуска размера (ряд  $a$ ), то  $Ra \leq 0,05T_p$ ,  $Rz \leq 0,02T_p$ , если 40...60%, то  $Ra \leq 0,25T_p$ ,  $Rz \leq 0,1T_p$ , если 25...40%, то  $Ra \leq 0,012T_p$ ,  $Rz \leq 0,05T_p$ , если менее 25%, то  $Ra \leq 0,15T_\phi$ ,  $Rz \leq 0,6T_\phi$ , где  $T_p$  и  $T_\phi$  соответственно допуск размера и допуск формы.

Зная влияние технологических факторов на качество поверхности, можно назначать условия обработки, обеспечивающие достижение заданных надежности и долговечности деталей машин в процессе их

эксплуатации.

Существенное влияние оказывает шероховатость на условия сухого или граничного трения между сопрягаемыми поверхностями. Сухое трение возникает из-за того, что при малых зазорах при малой шероховатости смазка выдавливается из зоны трения. В результате в зонах непосредственного контакта поверхностей образуются прочные металлические связи, то есть происходит их *схватывание*, обуславливающее интенсивный износ деталей.

Наиболее яркой формой проявления схватывания является *заедание*. При этом образуются широкие и глубокие борозды с неровными краями, иногда слившиеся. Вследствие этого возможно оплавление поверхностей и полное *заклинивание* деталей. Конечно же таких условий работы узлов трения допустить нельзя. Поэтому в зону контакта принудительно подают смазку через специальные каналы или выполняют на поверхностях «карманы», в которых удерживается смазка и распространяется по всей поверхности контакта деталей при движении.

Обычно для узлов трения, работающих в условиях сухого трения, одна из сопрягаемых поверхностей изготавливается из композиционных антифрикционных материалов, содержащих твердые сухие смазки – графит, дисульфид молибдена, диселенид вольфрама и др.

Шероховатость поверхности оказывает значительное влияние на аэро- и гидродинамические свойства поверхностей деталей машин, работающих в соответствующих средах с большими скоростями. В частности, при обтекании поверхностей газами и жидкостями сопротивление движению возрастает или уменьшается в зависимости от высоты микронеровностей поверхности.

Следует отметить, что заданное качество обработанных поверхностей деталей машин обеспечивается, главным образом, при окончательной обработке. Заготовительные процессы, а также

предшествующие операции в определенной степени влияют на качество поверхности готовой детали в силу технологического наследования исходных свойств заготовки на различных стадиях ее обработки. Необработанные поверхности сохраняют качество, полученное при получении заготовки.

В процессе эксплуатации вследствие трения и изнашивания первоначальные свойства деталей машин изменяются. Поэтому важно обеспечить требуемое качество поверхностей деталей не только в процессе производства, но и сохранить его стабильным на весь период эксплуатации машины.

Целенаправленное формирование поверхностного слоя деталей машин с заданными свойствами в процессе их изготовления является одной из важнейших задач технологии машиностроения.

### **3.3.2 Критерии оценки шероховатости поверхности**

Шероховатость поверхности является размерной характеристикой. Количественно шероховатость можно оценить по тем или иным показателям. При этом количественно ее устанавливают независимо от способа получения или обработки.

ГОСТ 2789-73 устанавливает шесть параметров, характеризующих шероховатость поверхности: три высотных –  $Ra$ ,  $Rz$  и  $R_{max}$ , два шаговых –  $Sm$  и  $S$  и относительная опорная длина профиля  $t_p$ .

Выбор параметров и их значений для нормирования шероховатости должен производиться с учетом назначения поверхности и установления их связи с эксплуатационными свойствами поверхности.

Оценка шероховатости производится в пределах базовой длины  $l$ , числовые значения которой выбираются из ряда: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8,0; 25 мм.

Значения параметров шероховатости поверхности определяются от единой базы, за которую принята средняя линия  $m$  (рис. 34). На профилограмме положение средней линии профиля определяют таким образом, чтобы площади  $F$  по обе стороны от нее до контура профиля были примерно равны.

*Среднее арифметическое отклонение профиля  $Ra$*  определяется по формуле

$$Ra = \frac{1}{n}(y_1 + y_2 + \dots y_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i ,$$

где  $y$  – расстояние между любой точкой профиля и средней линией.

*Высота неровностей профиля по десяти точкам  $Rz$*  представляет собой сумму средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$R_z = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |H_{i \max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i \min}| \right).$$

*Наибольшая высота неровностей профиля  $R_{max}$*  является полной высотой профиля, т.е. расстоянием между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

*Средний шаг неровностей  $Sm$*  – это среднее арифметическое значение шага неровностей профиля по средней линии в пределах базовой длины:

$$Sm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_{mi} ,$$

где  $n$  – число шагов в пределах базовой длины.

*Средний шаг местных выступов профиля  $S$*  – среднее арифметическое значение шага неровностей профиля по вершинам в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i .$$

*Относительная опорная длина профиля*  $t_p$  – это отношение опорной длины профиля к базовой длине:

$$t_p = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i.$$

Величина  $t_p$  задается в процентах.

Параметр  $t_p$  характеризует форму неровностей профиля и дает представление о распределении высот неровностей по уровням сечения профиля.

Параметры  $S$  и  $Sm$  в комплексе с высотными параметрами  $Ra$  и  $Rz$  позволяют определить кроме высоты неровностей еще и их уклон, что важно для антифрикционных характеристик трущихся поверхностей.

При назначении параметров шероховатости следует иметь в виду возможность их достижения наиболее рациональными методами обработки детали. Как правило, следует применять наибольшую шероховатость, допускаемую конструктивными требованиями, в противном случае может значительно увеличиться стоимость обработки. Поэтому в отдельных случаях повышение требований к шероховатости может оказаться ненужным, а иногда и недопустимым, например, для подшипниковых втулок узлов трения.

Управляя в процессе изготовления деталей формированием параметров шероховатости поверхности, можно непосредственно влиять на эксплуатационные свойства деталей машин.

Правильный выбор параметров шероховатости поверхности деталей, а также методов их обработки с заданной шероховатостью оказывает существенное влияние на качество конструкции и ее технологичность, поскольку позволяет установить наиболее рациональные и экономичные методы изготовления деталей.

ГОСТ 2.309-73 устанавливает обозначение шероховатости поверхностей и правила нанесения их на чертежах изделий (рис. 35).

Шероховатость поверхности, вид обработки которой конструктором не устанавливается, обозначается знаком, изображенным на рис. 35, а. Использование этого знака в конструкторской и технологической документации является предпочтительным. Этот же знак, помещенный в скобки, показывает, что все поверхности детали, на которых на изображении не нанесены обозначения шероховатости должны иметь шероховатость, указанную перед скобкой. В обозначении шероховатости поверхности, которая образуется только удалением слоя металла со снятием слоя стружки (например, точением, фрезерованием, шлифованием и пр.), используется знак, изображенный на рис. 35, б. Шероховатость поверхности, полученной без снятия стружки (например, литьем, ковкой, штамповкой и пр.) обозначается знаком, указанным на рис. 35, в. Этим же знаком обозначают поверхности, не обрабатываемые по данному чертежу.

Знаки шероховатости сопровождаются одним или несколькими числовыми значениями параметров шероховатости. При этом значение параметра шероховатости по ГОСТ 2789-73 указывают в обозначении шероховатости после соответствующего символа, например,  $Ra\ 0,4$ ;  $Rz\ 50$ ;  $R_{max}\ 6,3$ . При наличии в обозначении шероховатости только значения параметра применяют знак без полки. При необходимости указания кроме параметра вида обработки, базовой длины, условного обозначения направления неровностей применяют знак с полкой.

Структура обозначения шероховатости поверхности по ГОСТ 2.309-73 показана на рис. 35, г.

При выборе параметров для обозначения шероховатости поверхности рекомендуется использовать предпочтительные значения параметров  $Ra$ , поскольку образцы для сравнения параметров шероховатости поверхности изготавливают именно с этими значениями  $Ra$ . Кроме того, параметр  $Ra$  дает более полную оценку шероховатости, так как для его определения измеряются и суммируются расстояния большого количества точек



действительного профиля до его средней линии.

Примеры обозначения шероховатости поверхности на чертежах показаны на рис. 36. При этом в случае одинаковой шероховатости для всех поверхностей детали обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображение не наносят (рис. 36, а). Участки одной и той же поверхности с различной шероховатостью разграничивают сплошной тонкой линией (рис. 36, б). Обозначение шероховатости рабочих поверхностей зубьев зубчатых колес эвольвентного профиля условно наносят на линии делительных окружностей (рис. 36, в). Обозначение шероховатости, одинаковой для части поверхностей изделия, может быть помещено в правом верхнем углу чертежа (рис. 36, г, д) вместе с условным обозначением (V). Это означает, что все поверхности, на которых на изображении не нанесены обозначения шероховатости или знак V, должны иметь шероховатость, указанную перед условным обозначением (V).

При контроле и приемке изготовленных деталей возникает необходимость оценивать их качество. При этом шероховатость рабочих поверхностей деталей оценивают двумя основными методами – качественным и количественным.

Качественный метод основан на визуальном сравнении обработанной поверхности с аттестованным эталоном (образцом), шероховатость которого известна. Эталоны должны быть изготовлены из тех же материалов, что и контролируемые детали. Однако визуальная оценка шероховатости по эталонам является достаточно субъективной, поскольку в значительной степени зависит от знаний и опыта работника, осуществляющего контроль.

Качественную оценку достаточно тонко обработанных поверхностей производят с использованием каких-либо оптических приборов (например, микроскопов), позволяющих увеличивать профиль поверхности.

Количественный метод оценки шероховатости заключается в измерении параметров шероховатости  $Ra$  и  $Rz$  с помощью различных

приборов – профилометров и профилографов. При этом можно количественно определить не только параметры шероховатости, но и записать профилограмму исследуемой поверхности. Полученные профилограммы предназначены только для лабораторных исследований и не пригодны для производственного контроля деталей в цеху.

### **3.3.3 Влияние качества обработанной поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин**

Качество поверхностного слоя деталей машин оказывает существенное влияние на их эксплуатационные свойства. Одной из важнейших эксплуатационных характеристик деталей является износостойкость поверхностей трущихся пар. Именно износ чаще всего определяет ресурс работы машины. При этом интенсивность изнашивания зависит не только от вида материала и его механических свойств, но и от состояния поверхностного слоя деталей. Поэтому повышение износостойкости исполнительных поверхностей деталей является одной из важнейших задач технологии машиностроения.

В процессе работы машины имеет место взаимное перемещение деталей, сопровождаемое трением и изнашиванием. Износостойкость деталей определяется способностью ее поверхностного слоя сопротивляться разрушению под действием сил трения. Недостаточная износостойкость деталей машин в значительной степени определяет производительность рабочих машин и оборудования, поскольку увеличение скоростей и нагрузок на отдельные элементы машины часто вызывает ее интенсивный износ и преждевременный выход из строя. В условиях эксплуатации быстрый износ машины приводит к простоям, связанным с техническим обслуживанием и ремонтами, что вызывает значительные материальные и трудовые затраты.

Величина сил трения и интенсивность изнашивания деталей в значительной степени связаны с шероховатостью поверхности, являющейся одним из основных параметров качества поверхностного слоя детали. Из-за неровностей на поверхности соприкосновение трущихся деталей в начальный период работы происходит не по всей номинальной площади, а лишь по вершинам неровностей. В результате в местах фактического контакта возникают большие давления, обуславливающие в начальный период работы машины интенсивный износ деталей. Одновременно между трущимися поверхностями быстро увеличивается зазор. Этот период работы машины называют **приработкой**.

Процесс приработки является достаточно важным в работе машины, поскольку именно в этот период в случае перегрузки отдельных деталей и узлов могут возникнуть различные задиры и заедания работающих деталей.

В процессе приработки высота неровностей постоянно уменьшается до некоторого оптимального значения, которое различно для разных условий трения. Эти условия определяются скоростью скольжения, нагруженностью узла, наличием и видом смазки, видом трущихся материалов и другими факторами.

После приработки (участок I, рис. 37) процесс изнашивания протекает более медленно и становится достаточно стабильным на весь период эксплуатации машины, определяемый ее сроком службы. Поэтому в процессе создания машины желательно назначать такие параметры шероховатости трущихся поверхностей, которые соответствовали бы шероховатости приработанных деталей.

В период нормальной эксплуатации износ определяется физико-механическими свойствами поверхностного слоя и режимами работы трущейся пары. Особенно большой износ наблюдается при частых пусках машин, когда нарушается режим смазки поверхностей трения. Достаточно

часто это связано с их задирами и схватыванием.

Общая схема изнашивания показана на рис. 37.

В конце периода нормальной работы (участок II) интенсивность изнашивания деталей нарастает (участок III), а величина износа достигает таких величин, когда дальнейшая эксплуатация машины становится практически невозможной. Поэтому в конце периода естественного изнашивания необходима остановка машины и проведение определенного объема работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Шероховатость поверхности оказывает значительное влияние и на усталостную прочность деталей. Явление усталости возникает при циклических, т.е. знакопеременных нагрузках. От качества обработанной поверхности в некоторой степени зависит и ее коррозионная стойкость.

Причиной потери работоспособности многих деталей машин является усталость материала деталей. Наличие на поверхности детали, работающей в условиях переменных нагрузок, отдельных дефектов и микронеровностей, способствует возникновению на поверхности изделия микроскопических усталостных трещин. В этом случае поверхностные дефекты играют роль очагов возникновения таких трещин и постепенного развития их в глубь сечения детали. Ослабленное усталостными трещинами сечение может привести к разрушению детали. Сопротивление материала усталости под действием переменных нагрузок возрастает одновременно с понижением параметра шероховатости поверхности.

Долговечность деталей, работающих в различных эксплуатационных средах, во многом зависит от их коррозионной стойкости. Коррозионное разрушение деталей, как правило, начинается с поверхности. В связи с этим шероховатость поверхности оказывает существенное влияние на коррозионную стойкость деталей машин. С понижением параметра шероховатости коррозионная стойкость поверхности повышается. Вещества, вызывающие коррозию, осаждаются во впадинах и

углублениях. Распространяясь в направлении основания выступов, они разрушают их, вследствие чего появляются новые очаги коррозии и разрушения. При наличии сил трения процесс коррозии существенно возрастает. Очевидно, чем меньше высота неровностей, тем медленнее будет протекать коррозия.

Физико-механические параметры качества поверхности также оказывают существенное влияние на усталостную прочность и коррозионную стойкость деталей машин. В частности, наклеп и остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое повышают усталостную прочность, а остаточные напряжения растяжения снижают ее. Наклеп способствует возникновению большого числа очагов коррозии, вследствие чего процесс коррозии ускоряется в 1,5...2 раза.

Для повышения износостойкости деталей применяют различные технологические методы: нанесение антифрикционных покрытий и твердых пленок, поверхностное легирование, химико-термическую обработку, поверхностную закалку, пластическое деформирование, диффузионную металлизацию и некоторые другие. Все эти методы позволяют существенно повысить работоспособность деталей и сократить эксплуатационные расходы.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Чем определяется качество поверхности деталей?
2. Дать определение шероховатости поверхности.
3. Назовите основные факторы, оказывающие влияние на качество обработанной поверхности.
4. Назовите и поясните основные параметры шероховатости поверхности по ГОСТ 2789-73.
5. Каким образом обозначается шероховатость поверхности на чертежах?
6. Назовите основные методы для оценки качества поверхностей деталей машин.

7. Какими параметрами определяются физико-механические свойства поверхностного слоя?
8. Поясните влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин.
9. Назовите основные пути повышения износостойкости деталей машин.

## **Раздел 4 Виды исходных заготовок и методы их получения**

Основными видами заготовок деталей машин в зависимости от их назначения являются отливки, поковки и штамповки, заготовки из листового металла, заготовки из сортового проката, заготовки из неметаллических материалов, сварные заготовки, а также заготовки, полученные методом порошковой металлургии.

Рассмотрим некоторые из этих видов заготовок и методы их получения.

**Отливки** являются продукцией **литейного производства**, являющегося основной заготовительной базой машиностроения. Отливки могут быть как готовыми деталями, так и заготовками для последующей обработки в механических цехах.

В современных машинах отливки по массе составляют около 50%. Широкое использование отливок обусловлено рядом преимуществ литейного производства: возможностью получения разнообразных по массе и конфигурации фасонных отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов; сравнительной простотой и невысокой стоимостью изготовления литых заготовок; возможностью максимального приближения размеров и формы заготовок к готовым деталям и высоким коэффициентом использования металла.

Толщина стенок отливок может колебаться в достаточно широких пределах – от 0,5 до 500 мм и более. Масса отливок может находиться в пределах от нескольких граммов до нескольких сот тонн.

Литьем можно получать отливки как простой, так и достаточно сложной формы, которые невозможно получить другими технологическими методами. Литьем изготавливают, например, поршни и блоки цилиндров двигателей внутреннего сгорания, рабочие колеса

центробежных насосов, лопадки турбин, станины металлорежущих станков, кузнечных пресов и другие сложные заготовки деталей машин.

В литейном производстве применяются сплавы, обладающие высокими литейными качествами – высокой жидкотекучестью, небольшой усадкой, небольшой ликвацией и малым газопоглощением. Основными из таких сплавов являются различные виды чугунов, сталей, сплавы алюминия, магния, меди, цинка и другие металлы и сплавы. Наиболее широко используются чугун и сталь. В частности, чугунные отливки по массе составляют около 75% от производимого литья.

В зависимости от масштабов производства, размеров и форм отливок они могут быть получены различными способами. Основными из них являются литье в песчано-глинистые формы, литье по выплавляемым моделям, в постоянные металлические формы (литье в кокиль), в оболочковые формы, литье под давлением, центробежное литье.

Литьем в песчано-глинистые формы можно получать отливки самой разнообразной формы, размеров и массы. Однако этот метод получения заготовок связан с большим грузооборотом формовочных материалов, очень трудоемок и не всегда позволяет получать качественные отливки.

При ручной формовке по деревянным моделям точность выполнения отливок IT17, а шероховатость поверхности  $Ra=20\ldots 80$  мкм. В случае машинной формовки по металлическим моделям точность выполнения заготовок IT14...16 при шероховатости  $Ra=5\ldots 20$  мкм.

Более точные и с лучшей поверхностью отливки можно получить с помощью специальных способов литья. К этим способам относятся литье в постоянные металлические формы, литье по выплавляемым моделям, литье в оболочковые формы, центробежное литье, литье под давлением и др.

*Металлические формы*, называемые *кокилем*, изготовляют из серых чугунов или легированных сталей. Стойкость кокилей зависит от материала и размеров отливки и самого кокиля.



Для увеличения срока службы кокиля и улучшения качества отливок внутреннюю поверхность форм покрывают облицовками и красками, которые образуют тонкое огнеупорное покрытие. Облицовки и краски наносят пульверизатором или кистью.

Рабочая температура кокиля зависит от вида заливаемого металла и находится в пределах 200...300°C. Заливка металла в холодный кокиль может привести к выбросу металла. Кроме того, подогрев кокиля смягчает тепловой удар, который испытывают его рабочие поверхности в момент заливки металла, и тем самым удлиняет срок службы формы.

Литье в кокили применяется в основном при изготовлении заготовок из цветных сплавов, обладающих меньшей температурой плавления и меньшей склонностью к образованию трещин. Стойкость металлических форм при заливке алюминиевых сплавов достигает до 300 тыс. заливок, а при получении чугуновых отливок стойкость кокилей составляет от 500 до 10000 заливок. При этом облицовки и краски на внутренней поверхности формы предотвращают отбел чугуна на поверхности заготовки.

Литье в кокиль, особенно с использованием специальных литейных машин, позволяет в 3...4 раза повысить производительность по сравнению с литьем в песчано-глинистые формы. Точность выполнения отливок IT12...15 при шероховатости поверхности  $Ra=20...25$  мкм.

Кроме того, при литье в металлические формы улучшаются механические свойства отливок, что обусловлено высокой скоростью охлаждения залитого металла, примерно на 30...40% уменьшается брак отливок, снижается трудоемкость заливки, выбивки и очистки литья, примерно на 25...30% становится меньше себестоимость отливок, значительно улучшаются санитарно-гигиенические условия труда.

Однако этому способу присущ ряд существенных недостатков. Главными из них являются высокая трудоемкость изготовления металлических форм, особенно для производства фасонных отливок со

сложными внутренними и внешними очертаниями; трудность получения тонкостенных отливок, что обусловлено высокой теплопроводностью стенок формы и возможностью преждевременного затвердевания металла в тонких сечениях отливки.

Получение отливок *литьем по выплавляемым моделям* производится в разовые оболочковые формы. Этот способ литья особенно эффективен для получения сравнительно мелких заготовок сложной конфигурации. Причем качественные отливки можно получить практически из любых сплавов. Точность получаемых отливок IT11...12 при шероховатости поверхности  $Ra=10...25$  мкм. Литейные формы получают выплавлением легкоплавких моделей, на которые предварительно нанесено огнеупорное покрытие. Для приготовления модельных составов используют парафин, стеарин, торфяной воск или их смеси.

Литье по выплавляемым моделям является одним из способов точного литья. При его применении значительно уменьшается, а в ряде случаев исключается механическая обработка, а, следовательно, и отходы металла в стружку. Кроме того, облегчается изготовление заготовок из труднообрабатываемых резанием сплавов. Однако весь технологический процесс получения отливок этим методом является достаточно продолжительным и технически сложным, что сказывается на стоимости отливок.

Точные отливки с небольшими припусками на механическую обработку получают *литьем в оболочковые формы*. Оболочковые формы представляют собой сухие тонкостенные оболочки толщиной от 8 до 15 мм. Получают их из специальных формовочных составов, твердеющих от тепла металлических моделей и стержневых ящиков. В качестве формовочного материала используют смесь мелкозернистого кварцевого песка (наполнитель) и термореактивной смолы (связующее) в количестве 6...7% от массы смеси.

Приготовленная смесь наносится на разогретую до 200...250°C модельную плиту с металлической моделью, которая предварительно покрывается тонким разделительным слоем силиконовой эмульсии. Смесь вначале плавится, а затем отвердевает в результате реакции отверждения терморезактивного полимерного связующего.

Сборка и заливка собранной оболочковой формы показана на рис. 38. Крупные формы для предохранения от коробления и преждевременного разрушения устанавливают в контейнеры и засыпают чугунной дробью.

Этим способом можно получить заготовки с точностью IT13...14 и шероховатостью  $Ra=10...25$  мкм.

Сущность получения заготовок *центробежным литьем* заключается в том, что залитый во вращающуюся форму жидкий металл распределяется по стенкам формы за счет центробежных сил инерции.

Центробежное литье осуществляется на специальных машинах с вертикальной или горизонтальной осью вращения (рис. 39).

В машинах с вертикальной осью вращения (рис. 39, а) металл из ковша заливают во вращающуюся форму. Под действием центробежных сил металл отбрасывается к стенкам формы (изложницы), растекается вдоль них и затвердевает. Этот способ применяется для получения отливок сравнительно небольшой толщины – коротких втулок, колец, венцов и т.п.

Машины с горизонтальной осью вращения (рис. 39, б) применяются для получения чугунных и стальных труб, гильз, втулок и других отливок типа тела вращения большой длины. В таких машинах можно получать, например, трубы диаметром до 300мм и длиной до 5м.

*Литье под давлением* применяют главным образом для алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов. При этом способе литья расплавленный металл подается поршнем машины под принудительным давлением в разъемную стальную форму, называемую пресс-формой. Получаемые отливки имеют высокую точность размеров и качество поверхности.

Подача металла в форму под значительным давлением позволяет получать отливки сложных очертаний с толщиной стенок 1,0...3,0 мм, а в отдельных случаях до 0,6 мм. Стоимость пресс-форм достаточно высокая, поэтому применяют этот способ литья в массовом производстве, когда имеется необходимость в сотнях и тысячах отливок. Механическая обработка таких отливок незначительна, а в отдельных случаях вообще не нужна. Современные автоматы для литья под давлением обеспечивают производительность до 6000...8000 отливок в час.

**Поковки** получают обычно методом свободнойковки на ковочных молотах или гидравлических прессах. Этот процесс экономически выгоден при изготовлении фасонных заготовок стальных деталей в условиях мелкосерийного и индивидуального производства, а также при изготовлении крупных поковок. Исходной заготовкой для крупных поковок являются стальные слитки, а для более мелких – обычный сортовой прокат.

Заготовки, полученные методом свободнойковки, характеризуются невысокой точностью, сравнительно грубым приближением к форме готовой детали и требуют больших затрат на последующую механическую обработку. Для большего приближения формы заготовки к форме готовой детали иногда применяют *подкладочные штампы*. С этой целью заготовку, полученную свободнойковкой с помощью универсального кузнечного инструмента, помещают в подкладной штамп, где она принимает форму, более близкую к форме готовой детали. Применение подкладных штампов позволяет существенно уменьшить припуски на обработку и тем самым снизить расход металла на изготовление детали.

В серийном и массовом производстве заготовки многих деталей машин изготавливают **горячей и холодной штамповкой**. При этом металл заготовки принудительно перераспределяется в полости инструмента, называемого *штампом*. Форма и размеры ручья (полости) штампа полностью соответствуют конфигурации изготавливаемой поковки.

Каждый штамп предназначен для получения поковок определенной конфигурации, размера и массы.

Холодной штамповкой изготавливают сравнительно небольшие заготовки, горячей – более крупные. Крупными считаются заготовки массой в 100 кг и более.

Примеры заготовок, получаемых ковкой и штамповкой, показаны на рис. 40.

Горячая объемная штамповка во много раз производительнее свободнойковки, а получаемые при этом заготовки отличаются более высокой точностью размеров, хорошим качеством поверхности, минимальными припусками, что снижает трудоемкость обработки в механических цехах. К недостаткам этого способа штамповки следует отнести сравнительно высокую стоимость штампов и относительно небольшую массу получаемых поковок (обычно не более 200...300 кг). Поэтому экономически целесообразно горячую объемную штамповку применять для изготовления сложных по форме заготовок ответственных деталей машин в условиях серийного и массового производства, когда сравнительно быстро окупаются затраты на изготовление штампов.

Холодной объемной штамповкой получают заготовки с высокими физико-механическими свойствами благодаря холодному течению металла в штампе. Холодное течение металла обеспечивает лучшую микроструктуру металла, поэтому этим способом получают заготовки деталей, работающих в тяжелых условиях абразивного изнашивания, при ударных и знакопеременных нагрузках, в условиях действия тепловых и других вредных факторов. Это, например, шаровые пальцы рулевой тяги, поршневые пальцы, седла клапанов, корпуса свечей и др. Однако этот метод штамповки достаточно энергоемок.

Заготовки крепежных деталей (болтов, винтов, гаек), заклепок, шариков и роликов для подшипников качения и других простых деталей

получают способом *холодной высадки*. В качестве основного оборудования применяют одно-, двух- и трехударные холодновысадочные автоматы, а высадка осуществляется в один или несколько переходов. Заготовкой служат калиброванная проволока или калиброванные прутки диаметром не более 25 мм. Производительность холодновысадочных автоматов во много раз выше производительности металлорежущих станков-автоматов. Детали, полученные холодной высадкой из калиброванного проката, отличаются большой точностью (8-й квалитет).

**Заготовки из листового металла** получают способом *холодной листовой штамповки*. Полученные при этом изделия отличаются стабильностью качества и точностью, не зависящими, как правило, от квалификации рабочего. Кроме того, процессы листовой штамповки отличаются высоким коэффициентом использования металла и возможностью применения простых и надежных методов механизации и автоматизации процесса. Исходным материалом для листовой штамповки служат листы, полосы и ленты из пластичной углеродистой и легированной стали, а также из цветных металлов и сплавов.

Для формообразования крупногабаритных (диаметром до 2 м) листовых заготовок толщиной до 6 мм в настоящее время широко применяется беспрессовая штамповка, основанная на использовании статического гидравлического давления, электрогидравлического эффекта и подводного взрыва. В качестве источников энергии используют мощные гидравлические насосы, высоковольтные разряды в воде, импульсы электромагнитного поля и энергию подводного взрыва взрывчатых веществ. Точность профиля штампованной заготовки при диаметре 2 м достигает 2...3 мм.

**Заготовки из сортового проката** используют при непосредственном изготовлении из него деталей на металлорежущих станках и для получения поковок и штампованных заготовок. Детали из проката изготавливают после

его разрезки на заготовки или из прутка. Для изготовления деталей соответствующей конфигурации применяют круглый, квадратный, шестигранный прокат, а также бесшовные и сварные трубы. Заготовки из круглого проката для валов с малым (до 5 мм) перепадом диаметров в единичном и мелкосерийном производстве являются более рациональными, чем кованые или штампованные заготовки. Если же коэффициент использования материала заготовки из штамповки на 5...10% больше, чем из проката, то следует принимать штамповку. Заготовки крупных валов получают свободной ковкой.

Заготовки валов с центральным отверстием часто получают из полосы, которую после разрезки вальцуют в цилиндр, а шов затем сваривают роликовой контактной сваркой. Для получения уступов полученный цилиндр обжимают на гидравлических прессах. Экономия металла при изготовлении валов из полосы достигает до 60% по сравнению с изготовлением из круглого проката.

Одним из рациональных способов получения полых заготовок (гильз, втулок, колец и др.) является изготовление их из бесшовных и сварных труб. Следует заметить, что стоимость проката значительно ниже (в среднем в 1,5 раза), чем стоимость труб. Однако экономия металла при изготовлении деталей из труб по сравнению с изготовлением из круглого проката может превысить разницу в стоимости.

В крупносерийном производстве в качестве заготовок широко применяют специальные профили металла. В частности, применением *периодического проката* можно достичь максимального приближения формы и размеров заготовки к готовой детали, что обеспечивает повышение коэффициента использования металла при последующей штамповке в среднем на 10...15% благодаря сокращению потерь на облой. Одновременно снижается трудоемкость обработки как в заготовительных, так и в механических цехах. Этим способом получают, например,

заготовки шаров для подшипников качения, распределительных валов двигателей внутреннего сгорания, заготовки оси грузовых автомобилей, железнодорожных вагонов и др.

В машиностроении широко применяются **заготовки из неметаллических материалов**, главными из которых являются *пластические массы и резины*.

Пластмассами (или пластиками) называют композиционные материалы, получаемые на основе полимерного связующего, называемого иногда *матрицей*, с добавками различных компонентов – наполнителей, пластификаторов, отвердителей, стабилизаторов и др.

*Наполнители* вводят для улучшения механических свойств пластмасс, повышения их стойкости к действию различных сред, а также для снижения стоимости полимерных материалов. В качестве наполнителей могут быть использованы порошки различных минералов, металлов и их сплавов, оксидов, графит, каолин, сажа, древесная мука и др. Для получения композиционных материалов достаточно часто используются различные волокнистые наполнители, ткани, отходы деревообрабатывающего производства, древесный шпон, бумага. Пластмассы, содержащие в качестве наполнителей различные волокнистые материалы (асбест, стекловолокно, отходы текстильного производства) носят общее название *волокнитов*. Такие известные материалы как *текстолиты* содержат в качестве наполнителей различные хлопчатобумажные или стеклоткани. *Гетинакс* – это слоистый пластик на основе бумаги, пропитанной синтетической смолой. *Древесностружечные плиты* представляют собой прессованные композиции из стружки или опилок со связующим, облицованные шпоном.

*Пластификаторы* используются для повышения пластичности и эластичности полимерного материала при его переработке и эксплуатации. Пластификация полимеров позволяет также расширить температурный



интервал их использования.

*Стабилизаторы* применяют для защиты полимерных материалов от старения, т.е. способствуют более длительному сохранению показателей свойств пластмасс в процессе эксплуатации. Главными факторами, которые влияют на свойства пластмасс в процессе их использования, являются тепло, свет, атмосферные воздействия.

*Отвердители* вводят в состав пластмасс для изменения их внутреннего строения (придания полимеру пространственной структуры), в результате чего полимер переходит в твердое неплавкое и нерастворимое состояние.

Кроме того, в состав пластмасс могут вводиться вещества, уменьшающие горючесть полимеров (антипирены), снижающие их статическую электризацию (антистатики), а также порообразующие вещества, позволяющие вспенивать полимерный материал с целью придания ему звуко- и теплоизоляционных свойств.

Полимерные материалы в зависимости от поведения при нагревании подразделяют на две основные группы – термореактивные и термопластичные.

*Термореактивные полимеры* (реактопласты) при нагревании выше определенных температур, характерных для данного типа полимеров, претерпевают необратимые химические изменения и превращаются в неплавкие и практически нерастворимые продукты. На основе этих полимеров, называемых также смолами, получают многие композиционные материалы – текстолиты, волокниты, гетинаксы, а также клеи, лаки, краски, эмали.

*Термопластичные полимеры* (термопласты) могут многократно расплавляться и вновь отвердевать при повышении температуры. Это позволяет изношенные и бракованные детали из термопластов, а также различные отходы их переработки утилизировать и вновь перерабатывать. Термопластичные полимеры используются в основном для получения

волокон, пленок, листов, шлангов, труб, различных емкостей, а также многих изделий бытового и конструкционного назначения.

Детали и заготовки из реактопластов получают в основном прессованием, литьем под давлением, центробежным формованием. Наиболее распространенным способом получения изделий из реактопластов является прямое прессование (рис. 41). Исходным сырьем при прессовании является пресс-материал – пресс-порошок, пресс-крошка и наполнители, пропитанные смолой и подготовленные к переработке. В полость матрицы пресс-формы загружают предварительно таблетированный или порошкообразный материал. Под действием пуансона и нагретой пресс-формы после определенной выдержки изделие отверждается. Обогрев пресс-формы осуществляется перегретым паром или с помощью электрического нагревателя. Для большинства термореактивных материалов время выдержки под давлением выбирают из расчета 1,5...2,0 мин на 1 мм толщины стенки изделия.

Заготовки из термопластов получают способом литья под давлением, экструзией, вакуум- и пневмоформованием, спеканием и другими способами.

Способ *литья под давлением* основан на нагреве материала до вязкотекучего состояния в специальном цилиндре литьевой машины и последующем его перемещении в литьевую форму под значительным давлением (рис. 42). *Экструзия* (или выдавливание) характеризуется непрерывностью процесса и высокой производительностью. Изделия этим способом получают на специальных червячных машинах–экструдерах (рис. 43). Этим способом изготавливают трубы, листы, пленки, различные профили и др. *Пневматическое и вакуумное формование* используется для получения заготовок пространственной формы сложной конфигурации с большими геометрическими размерами. Сущность способа заключается в том (рис. 44), что требуемая форма нагретому до высокоэластического

состояния листу придается с помощью сжатого воздуха (пневмоформование) или вакуума (вакуумформование). Этим способом получают, например, корпуса теле- и радиоаппаратуры, детали автомобилей, изделия бытового назначения. *Спеканием* изготавливают заготовки из термопластов с высокой температурой плавления и большой вязкостью расплава.

К числу наиболее распространенных полимеров, используемых в качестве конструкционных материалов, а также лаков, красок, эмалей, волокон, пленок относятся полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид, фторопласт, полиметилметакрилат (органическое стекло), а также фенолоформальдегидные, полиэфирные и эпоксидные смолы.

В современном машиностроении используют большое количество *резиновых деталей*. Резина как конструкционный материал обладает рядом важных технических свойств – высокой эластичностью, износостойкостью, химической стойкостью, ценными электрическими свойствами. Наиболее важными техническими изделиями являются шины автомобилей, амортизаторы, контактные уплотнения, ремни гибких передач, а также шланги для перекачки топлив, различных технических жидкостей и газов.

Основой любых видов резин являются натуральные или синтетические каучуки. Основные ценные эксплуатационные свойства – достаточную эластичность и упругость в сочетании с хорошей прочностью – каучуки приобретают лишь после вулканизации. В качестве вулканизатора чаще всего используется сера. Смесь каучука с вулканизатором называется сырой резиной. В мягких сортах резины серы содержится до 3%. С увеличением количества вулканизатора жесткость резины увеличивается. В твердых резинах, называемых эбонитами (от греч. *Ebenos* – черное дерево), серы содержится 25...32%.

Изделия из сырой резины подвергают *вулканизации* при температуре 125...160°C в атмосфере горячего воздуха или насыщенного водяного пара. Горячую вулканизацию проводят обычно в прессах или автоклавах.

Значительный интерес представляют заготовки, получаемые методом **порошковой металлургии**. Сущность метода состоит в том, что заготовки получают путем прессования и последующего спекания металлических порошков, а иногда в смеси с неметаллическими. Этим методом наиболее часто получают материалы для изготовления металлорежущих инструментов, подшипников скольжения, различных деталей радиотехники и электроники. Получаемые при этом сплавы называют *металлокерамическими*, поскольку технология их получения аналогична производству изделий из керамики. Порошковой металлургией можно получать не только заготовки, но и готовые детали точных размеров.

Однако металлические порошки пока еще имеют достаточно высокую стоимость, а получаемые при этом материалы, как и любая керамика, имеют сравнительно низкие показатели пластичности.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие методы получения заготовок применяют для изготовления деталей типа тела вращения?
2. Назовите и поясните основные методы получения отливок и их сущность.
3. Какие методы получения заготовок позволяют снизить объем обработки резанием?
4. Какими способами получают детали и заготовки из полимерных материалов?

## **Раздел 5 Технология обработки типовых поверхностей деталей машин**

### **5.1 Обработка наружных поверхностей тел вращения**

Наружные и внутренние цилиндрические поверхности и прилегающие к ним торцы образуют детали типа тел вращения.

Согласно технологическому классификатору деталей машиностроения детали-тела вращения делят на три типа в зависимости от соотношения длины детали  $L$  к наибольшему наружному диаметру  $D$ . При  $L/D \geq 2$  – это валы, шпиндели, штоки, шестерни, гильзы, стержни и т.п.; при  $2 \geq L/D > 0,5$  включительно – втулки, стаканы, пальцы, барабаны и др.;  $L/D \leq 0,5$  включительно – диски, кольца, фланцы, шкивы и т.п.

Валы бывают гладкие, ступенчатые, с фланцами и буртами, сплошные и полые, валы-шестерни и комбинированные валы. По форме геометрической оси бывают прямые, коленчатые и кулачковые валы. Наибольшее распространение в машиностроении получили гладкие и ступенчатые валы, образованные в основном наружной поверхностью вращения. Поверхности тел вращения представляют собой наиболее распространенный вид обрабатываемых поверхностей заготовок, торцы которых подрезают или фрезеруют.

В качестве заготовок для изготовления валов, осей и пальцев используется в основном прокат. Некоторые детали этого класса могут изготавливать также из поковок, штамповок и отливок.

По размерам валы подразделяют на мелкие (длиной от 100 до 200 мм), средние (длиной до 1000 мм) и крупные (длиной более 1000 мм). Валы, длина которых не превышает 12-кратной величины среднего диаметра, считают жесткими. При большем отношении длины к диаметру валы считаются нежесткими деталями. Обработка таких валов производится с люнетом.

Технологические условия изготовления деталей типа валов характеризуются следующими особенностями.

Диаметры посадочных шеек выдерживают в пределах 6...9 квалитетов, а в отдельных случаях в пределах 5...6 квалитетов и с шероховатостью поверхности  $Ra=1,0...2,25$  мкм. Биение посадочных шеек вала относительно друг друга не должно превышать 30...50 мкм.

Шейки валов могут иметь шпоночные канавки, шлицы или резьбу. Отклонение от параллельности шпоночных канавок или шлиц оси вала не должны превышать 0,1 мкм на 1 мм длины.

Валы изготавливают из углеродистых конструкционных сталей марок 35, 40, 45, а более ответственные валы – из легированных конструкционных сталей, например марок 40Х, 40Г, 40ХН и др. Для специальных валов (валки прокатных станов) используют высокопрочный чугун с шаровидным графитом и модифицированные чугуны.

При крупносерийном и массовом производстве заготовки наиболее часто получают методами пластической деформации (ковкой и штамповкой). Заготовки из высокопрочного чугуна чаще всего получают центробежным литьем.

При любом способе установки вала для обработки наружных поверхностей вращения мнимой базой является ось вращения заготовки. При обработке шпоночных пазов в качестве базы выбирают наружные поверхности вращения.

Основными базами подавляющего большинства валов являются поверхности их опорных шеек. Однако использовать их в качестве технологических баз для обработки наружных поверхностей, как правило, затруднительно, особенно при условии сохранения единства баз. Поэтому при большинстве операций за технологические базы принимают поверхности центровых отверстий с обоих торцов заготовки, что позволяет обрабатывать почти все наружные поверхности вала на постоянных базах с

установкой его в центрах. Форма и размеры центровых отверстий стандартизованы, их конусность должна точно совпадать с конусностью центров станка. При несоблюдении этих требований центровые отверстия быстро изнашиваются и повреждают центры станка.

При механической обработке наиболее часто применяют центровые отверстия у заготовок с углом конуса  $60^\circ$  (рис. 45, а). При этом центр станка должен соприкасаться с центровым отверстием заготовки лишь по поверхности конуса. В центровом отверстии вершина центра не должна упираться в заготовку. Поэтому центровые отверстия всегда имеют цилиндрическую часть диаметра  $d$ . Иногда центровое отверстие имеет и вторую коническую поверхность с углом конуса  $120^\circ$  (рис. 45, б), которая выполняется с целью избежать появления на торцах вала заусенцев при износе центровых отверстий и предохранить их при случайных повреждениях торцов вала.

Центровые отверстия используются также в качестве баз для обработки таких режущих инструментов, как сверла, зенкеры и др., а также для их заточки и переточки в период эксплуатации.

В единичном производстве центрование заготовок производят обычно двумя инструментами – спиральным сверлом (рис. 45, в), которым сверлится цилиндрическое отверстие диаметра  $d$ , и зенковкой, которая образует коническую поверхность (рис. 45, г). Достаточно часто центрование производится специальными комбинированными центровочными сверлами (рис. 45, д, е), которые производят сверление и зенкование одновременно. Центрование валов в серийном и массовом производстве осуществляют всегда центровочными сверлами, их конструкция стандартизована.

Обработка в центрах является одним из наиболее распространенных способов обработки наружных цилиндрических поверхностей на токарных станках. Для передачи заготовке вращения применяют поводковую

планшайбу или патрон и хомутик, закрепляемый винтом на конце заготовки (рис. 46). Так как задний центр токарных станков в отличие от переднего играет роль подшипника, то при обработке заготовок на больших скоростях ( $V > 80$  м/мин) применяют вращающиеся задние центры с шарикоподшипниками. При необходимости обтачивать вал по всей длине применяют самоустанавливающиеся в центровом отверстии передние плавающие центры (рис. 47, а) с несколькими острыми зубьями. Они врезаются в торец обрабатываемой заготовки при нажиме заднего центра, вследствие чего сообщают ей вращение. Пустотелые заготовки при обработке с небольшими силами резания могут приводиться во вращение также передним центром, имеющим острые зубья на конической поверхности (рис. 47, б). В крупносерийном и массовом производстве используются в основном поводковые патроны с плавающими центрами и упором в торец вала.

Короткие и жесткие заготовки (отношение длины к диаметру не более 3...5) обрабатывают, как правило, в патронах. Для повышения жесткости правый конец заготовки подпирают задним центром.

Для точения цилиндрических поверхностей и поверхностей, прилегающих к ним и ограничивающих их длину (торцы, уступы, канавки, радиусы и т.п.), применяют проходные, подрезные (прямые и отогнутые), отрезные, канавочные и другие резцы с напайными пластинами из быстрорежущей стали или твердых сплавов. В серийном и массовом производстве при обработке заготовок на станках с ЧПУ чаще применяют многогранные пластины с механическим креплением.

Наружные цилиндрические поверхности обрабатывают проходными черновыми или чистовыми резцами с продольной подачей. Резец устанавливают таким образом, чтобы его вершина совпадала с осью вращения заготовки. При значительной величине припуска большая его часть снимается черновыми проходами с возможно большей глубиной



резания и подачей, а последний, чистовой технологический переход выполняют на более высоких скоростях резания и небольшой подаче. При обработке на токарных станках длинных валов для предотвращения их прогиба от сил резания в качестве дополнительной опоры применяют подвижные и неподвижные люнеты.

Проходные резцы для чистовой обработки выполняют с большим радиусом закругления при вершине резца и более тщательно доводят режущие грани на заточных станках. При достаточной жесткости станка применяют *чистовые* широкие резцы из твердых сплавов, что обуславливает высокое качество обработанной поверхности. В серийном и массовом производстве при обработке большого количества деталей черновое точение производят на отдельном станке, более мощном, чем станок для чистового точения. При черновом точении снимают до 70 % припуска, при этом получают точность обработки  $IT_{13}...IT_{12}$  и шероховатость поверхности  $Ra$  до 6,3 мкм. Чистовое точение позволяет получить  $IT_{10}...IT_8$  и шероховатость до  $Ra=0,4$  мкм.

Подрезание торцов выполняют проходным упорным, проходным отогнутым резцом или подрезными резцами с поперечной подачей. Протачивание кольцевых канавок производят отрезными и канавочными резцами также с поперечной подачей. Фасонные поверхности обрабатываются фасонными резцами. Фасонное точение, т.е. обработка поверхностей сложной конфигурации (сферических, конических, ступенчатых и др.) может производиться при одновременном перемещении режущего инструмента в продольном и поперечном направлениях с помощью копирных линеек, построителей и т.п.

Черновую обработку вала, имеющего несколько ступеней и изготовленного из проката круглого сечения, можно выполнять по различным схемам. Пример обработки ступенчатого вала на токарном станке по трем технологическим схемам приведен на рис. 48 (цифрами

обозначены порядковые номера переходов, буквами – ступени вала). При обработке по схеме, приведенной на рис. 48, а, каждую ступень вала протачивают, начиная с торца, и таким образом всю обработку вала производят за три перехода. При обработке по схеме, приведенной на рис. 48, б, каждую ступень вала протачивают отдельно. При этом ступень *В* вследствие большой глубины резания обрабатывается за два прохода.

Комбинированная схема обработки, приведенная на рис. 48, в, предусматривает точение ступени *А* за первый, ступени *В* – за второй и ступени *Б* – за третий переход.

На выбор той или иной схемы влияет величина припуска на отдельных ступенях вала и соотношение диаметров и длины ступеней. Естественно, наиболее выгодной будет та схема, при которой время обработки наименьшее.

При чистовом точении порядок обработки ступеней вала зависит от заданной измерительной базы, допусков на длину отдельных ступеней и методов измерения длин. При точении вала, имеющего ступени различных диаметров, следует исходить из соображения наименьшего ослабления вала при обработке, т.е. начинать точение со ступени наибольшего диаметра, а ступень наименьшего диаметра целесообразно обрабатывать последней.

В крупносерийном и массовом производстве ступенчатые валы обычно обрабатывают на многорезцовых станках-полуавтоматах. При этом имеет место принцип совмещения технологических переходов, т.е. происходит одновременная обработка нескольких поверхностей вращения несколькими инструментами. Схема обработки ступенчатого вала на многорезцовом станке приведена на рис. 49. Такие станки имеют, как правило, два суппорта: передний с продольным движением и задний – с поперечным рабочим движением. Перемещение суппортов автоматизировано. Резцы заднего суппорта служат для подрезки торцов,

прорезки канавок, снятия фасок, а также для обточки коротких цилиндрических и конических поверхностей широкими резцами. После окончания обработки суппорты возвращаются в исходное положение автоматически.

Во всех случаях обработки на токарных станках необходимо максимально прочно закреплять заготовку в патроне станка. С этой целью обычно используют пневмо-, гидро- и электроприводы.

Для защиты станочника от выступающих частей патрона или планшайбы применяют специальное ограждение (рис. 50, а).

Причиной несчастных случаев может быть стружка, особенно сливная, которая при высоких скоростях резания сходит с резца непрерывной лентой. Температура стружки достаточно высокая. Поэтому такую стружку нельзя удалять или обрывать руками, что может быть причиной серьезных травм станочника. В случае необходимости стружку можно отводить и удалять специальными проволочными крючками. При обработке сравнительно хрупких материалов, дающих короткую отскакивающую стружку, необходимо пользоваться защитными очками или закрывать вращающийся патрон предохранительными щитками (рис. 50, б).

На рабочем месте токаря обычно имеется тумбочка для хранения режущих и измерительных инструментов, приспособлений, сменных патронов, ключей и др. Рабочее место может быть оборудовано подъемными устройствами, облегчающими установку сравнительно тяжелых заготовок. Небольшие заготовки и готовые детали укладывают в тару, расположенную на подставках рядом со станком. После окончания работы станок очищается от стружки, грязи, смазочно-охлаждающей жидкости, а направляющие станка смазываются машинным маслом. В чистоте оставляют также и рабочее место.

Во многих случаях работоспособность вала зависит от интенсивности

изнашивания его рабочих шеек. С этой целью рабочие поверхности вала подвергаются различным способам **поверхностного упрочнения**.

Наибольшее распространение в крупносерийном и массовом производстве получила **индукционная закалка токами высокой частоты (ТВЧ)**. При этом способе упрочнения происходит кратковременный нагрев металла до температуры закалки и последующее быстрое охлаждение. Длительность нагрева поверхности до закалочных температур составляет, обычно 5...10 сек. Глубина закаленного слоя при этом не превышает 1,0...2,0 мм. Твердость поверхности составляет 48...52 HRCэ. В качестве охлаждающей среды используют обычно холодную воду или минеральные масла.

Закалку ТВЧ проводят или в термическом цехе, или встраивают ее в технологическую линию в механическом.

После термической обработки необходимо промыть и очистить технологические базы.

Валы, прошедшие термическую обработку, обычно подвергают **шлифованию** на круглошлифовальных или бесцентровошлифовальных станках. Шлифование в обычных условиях обеспечивает точность размера  $IT_6$  и шероховатость поверхности  $Ra = 0,4...1,6$  мкм. В серийном и массовом производстве целесообразно осуществлять предварительное (черновое) шлифование и чистовое шлифование мелкозернистыми кругами. В этом случае можно получить шероховатость поверхности  $Ra = 0,2$  мкм.

При шлифовании размеры вала часто контролируют в процессе обработки, что повышает производительность и снижает вероятность появления брака. Используются также различные средства активного контроля, позволяющие автоматически выключать поперечную подачу при достижении заданного размера.

Обработка валов производится на кругошлифовальных станках

методом поперечной (рис. 51, а) и продольной (рис. 51, б) подачи. Шлифование обычно выполняется в две операции – предварительную (черновую) и чистовую.

Поперечная подача на глубину шлифования осуществляется шлифовальным кругом в конце каждого двойного хода заготовки или круга и принимается в зависимости от материала заготовки и марки круга в пределах 0,005...0,05 мм. В конце обработки последние продольные проходы выполняют без поперечной подачи (так называемое выхаживание).

Наружное круглое шлифование с продольной подачей применяется при обработке цилиндрических деталей значительной длины. Шлифование с поперечной подачей (врезное шлифование) обычно применяют при обработке поверхностей, длина которых меньше ширины шлифовального круга.

Скорость вращения заготовки при шлифовании зависит от ее диаметра и составляет 10..30 м/мин, окружная скорость шлифовального круга при чистовом шлифовании около 35 м/с, а скорость круга чернового шлифования до 50 м/с. Продольная подача и глубина резания принимаются различными в зависимости от методов шлифования. Припуск на сторону назначается в пределах 0,15...1,15 мм и зависит от длины и диаметра заготовки и качества предварительной обработки.

При обработке валов на круглошлифовальных станках технологической базой являются центровые отверстия. От качества этих отверстий зависит точность обработки. Поэтому перед чистовым шлифованием незакаленных валов и особенно валов, прошедших термическую обработку, вводят операцию зачистки центровых отверстий. При этом путем шлифования конусным абразивным кругом, а также обработкой зенковками или твердосплавными центрами вновь придают центровым отверстиям правильную форму.

В случае обработки поверхностей значительной длины на станках с ЧПУ врезное шлифование используют путем деления длины в зависимости от ширины круга и затем, если  $Ra=0,4$  мм, делают продольный зачистной ход.

Разновидностью шлифования с продольным движением подачи является **глубинное** шлифование (рис 52, а). оно характеризуется большой глубиной (0,1...0,4 мм) и малой скоростью резания. При этом способе обработки меньше, чем при врезном шлифовании, сказывается влияние погрешности формы исходной заготовки и колебания припуска при обработке. Поэтому глубинное шлифование применяют для обработки заготовок без предварительной лезвийной обработки.

При наружном круглом **глубинном** шлифовании круг правится на конус или ступенями, и весь припуск (0,1...0,4 мм) снимается за один-два продольных хода круга при малых плавных продольных подачах ( $S<0,2$  м/мин) с обильным подводом СОЖ. Круг, кроме поступательного (продольного) перемещения вдоль оси заготовки, имеет вращательное движение вокруг своей оси; заготовка имеет только вращательное движение.

Глубинное шлифование целесообразно применять при обработке коротких (жестких) заготовок из труднообрабатываемых жаропрочных и титановых сплавов.

При значительном объеме производства применяют бесцентровое шлифование, которое более производительное, чем в центрах.

При **наружном бесцентровом шлифовании** деталь 2 свободно помещается между двумя шлифовальными кругами (рис. 52, б), из которых круг большего диаметра 1 является шлифующим, а круг меньшего диаметра 3- ведущим. Ведущий круг вращает деталь и сообщает ей продольную подачу. Шлифующий круг вращается с окружной скоростью 30...65 м/с, ведущий - 20...30 м/мин. Снизу заготовка поддерживается

(опорой) 4 со скосом, называемой иногда ножом. Заготовка располагается выше осевой линии шлифовальных кругов на размер  $h$ . Благодаря скосу ножа, который направлен в сторону ведущего круга, она прижимается к ведущему кругу. Так как сила трения между ведущим кругом и заготовкой больше, чем между заготовкой и шлифовальным кругом, то обрабатываемая заготовка увлекается во вращение ведущим кругом. Вследствие этого окружная скорость заготовки примерно (с некоторым проскальзыванием) равна окружной скорости ведущего круга. Это равенство обуславливается также и значительно более высоким коэффициентом трения заготовки и ведущего круга, чем заготовки и шлифующего круга (коэффициент трения выше при более низких скоростях).

Опорный нож устанавливают так, чтобы центр шлифуемой заготовки находился выше линии центров станка примерно на  $h=0,5d$  ( $d$  – диаметр заготовки), но не более чем на 14 мм. Тонкие, длинные и недостаточно прямолинейные прутки целесообразно располагать ниже линии центров на ту же величину. Опорную поверхность ножа располагают строго параллельно оси шлифовального круга.

Следует заметить, что на круглошлифовальных станках при шлифовании длинных заготовок ось ведущего вала повернута в вертикальной плоскости на угол  $1...5^\circ$ . Благодаря этому наклону ведущий круг сообщает заготовке посредством силы трения перемещение вдоль оси шлифующего круга, т.е. движение подачи.

Так как при бесцентровом шлифовании заготовка базируется по обрабатываемой поверхности (принцип совмещения баз), то точность обработки в этом случае можно получить 5...6 квалитета. Бесцентровое шлифование осуществляется в основном с продольной подачей («на проход») и с поперечной подачей (врезанием). Шлифование с продольной подачей на проход применяется для заготовок, имеющих цилиндрическую гладкую форму, и осуществляется (в зависимости от припуска) в 2...4

прохода.

Врезное шлифование осуществляется при поперечной подаче ведущего круга в направлении к шлифующему кругу. Подача ведущего круга до 0,01 мм за один оборот заготовки. Этим методом шлифуют обычно заготовки с короткими буртиками (например, стержень клапана).

При этом угол разворота оси ведущего вала составляет около  $0,5^\circ$ , в этом случае заготовка буртиком будет прижиматься к шлифовальному кругу.

Бесцентровое шлифование применяют при обработке валов небольших размеров, при этом обеспечивается точность по 6...8 квалитетам. Этот метод по точности несколько уступает шлифованию на круглошлифовальных станках.

Преимуществом бесцентрового шлифования по сравнению с круглошлифованием является более высокая производительность, не требуется центrovания заготовок, не предъявляются повышенные требования к квалификации шлифовщика.

Однако при бесцентровом шлифовании нельзя достичь точной концентричности наружной шлифуемой поверхности и внутренней, если она была получена ранее. Кроме того, у ступенчатых валов нельзя шлифовать каждую шейку отдельно, так как в этом случае не будет достигнута соосность шеек, а переналадка бесцентрового станка на другой размер требует значительных затрат времени. В таких случаях одну шейку вала более точно шлифуют на бесцентровошлифовальных станках. Эта шейка впоследствии служит базой для обработки на круглошлифовальном станке с установкой в патроне и поджатием центра.

Следует заметить, что правильность геометрической формы обрабатываемой детали, шероховатость ее поверхности, а также безопасность работы на станке в значительной степени зависят от точности установки и надежности закрепления шлифовального круга.



Крепление кругов зависит от их формы и размеров. Обычно круг крепится на шпинделе станка двумя фланцами (рис. 53) одинакового размера. Круг должен свободно устанавливаться на посадочное место. Между фланцами и кругом ставят мягкие прокладки (кожаные или резиновые). После закрепления круг несколько минут проверяют на холостых оборотах.

Для обеспечения правильного расположения рабочей поверхности круга относительно оси его вращения производят правку круга. Правка обычно производится специальными алмазными карандашами, твердосплавными или металлическими дисками, звездочками из закаленной стали, называемыми иногда шарошками, абразивными дисками. Правку кругов алмазными карандашами производят обычно при высокоточном и чистовом шлифовании. Правка шлифовальных кругов необходима также и в процессе работы для восстановления их режущей способности ввиду засаливания поверхности и затупления абразивных зерен. Кроме того, в процессе правки исправляется геометрическая форма круга, нарушенная вследствие износа.

Из всех инструментов для безалмазной правки наибольшее распространение получили абразивные диски. Зернистость их берется крупнее, а твердость выше по сравнению с шлифовальным кругом, подвергающимся правке. Обычно правку осуществляют по методу круглого наружного шлифования. При этом скорость вращения абразивных дисков приравнивается к скорости вращения заготовки, а шлифовальный круг вращается со скоростью, соответствующей его характеристике. Число проходов при правке 3...5; продольная подача 0,5...0,9 м/мин; поперечная – 0,01...0,03 мм; последние (чистовые) проходы ведут без поперечной подачи и с уменьшенной продольной подачей (0,4...0,5 м/мин). Безалмазная правка сопровождается обильным охлаждением.

В случае необходимости с целью повышения качества поверхности после шлифования шейки вала могут подвергаться различным отделочно-доводочным методом обработки – полированию, притирке, суперфинишу.

**Полирование** предназначено для уменьшения параметров шероховатости поверхности и осуществляется мягкими кругами (войлочными, фетровыми, кожаными и др.), на которые наносятся специальные полировальные пасты или мелкозернистые абразивные порошки, предварительно смешанные с маслом. Полирование производится при высоких окружных скоростях круга (до 40 м/с). Более прогрессивным методом является полирование кругами с графитовым наполнителем. Полирование производят также мелкозернистыми лентами на специальных полировальных станках. Параметр шероховатости  $Ra=0,01\ldots0,1$  мкм. Однако полирование не устраняет отклонения размеров и формы детали.

**Притирку** выполняют притирами, изготовленными из мягких сплавов (чугун, медь, бронза). На притир предварительно наносят специальные доводочные пасты (например, пасту ГОИ) или абразивные порошки с маслом. В единичном производстве и ремонтных мастерских притирку наружных цилиндрических поверхностей производят на токарных станках притиром (рис. 54) в виде разрезной втулки 1, помещенной в обойму 2. При помощи болта 3 обойму слегка подтягивают, прижимая притир к детали. Притир равномерно перемещают вдоль вращающейся заготовки. В процессе обработки заготовку необходимо смазывать 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. Притиркой достигается точность размеров  $IT6$  и шероховатость поверхности  $Ra=0,025\ldots0,05$  мкм.

**Суперфиниширование** представляет собой метод отделочной

обработки наружных цилиндрических поверхностей. При этом методе обработка поверхностей производится головкой с абразивными колеблющимися мелкозернистыми брусками (рис. 55). Они прижимаются к обрабатываемой поверхности при помощи пружин. При суперфинишировании осуществляется три движения: вращение заготовки, продольное перемещение и колебательное движение брусков вдоль оси заготовки. Окружная скорость заготовки  $V = 3 \dots 40$  м/мин, число двойных ходов (колебаний) в минуту 400...1000, амплитуда колебаний брусков 2...6 мм. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости применяется соляр или смесь керосина с маслом. Толщина снимаемого слоя металла находится в пределах 0,005...0,020 мм, продолжительность обработки обычно 0,2...0,5 мин. Шероховатость поверхности достигается  $Ra=0,016 \dots 0,1$  мкм, однако точность размеров и правильность геометрической формы не обеспечивается. Поверхности, обработанные методом суперфиниширования, имеют минимальную износостойкость.

Для удобства пользования цилиндрические рукоятки, головки микрометрических винтов и круглые гайки делают не гладкими, а рифлеными. Рифленую поверхность получают **накатыванием**. Накатка бывает простой и перекрестной. Для накатывания в резцедержателе суппорта станка закрепляют державку 1 (рис. 56, а), в которой установлены один или два ролика 2 и 3. Для простой накатки применяют один (рис. 56, б), а для перекрестной – два ролика (рис. 56, в) из инструментальной закаленной стали с насеченными на них зубцами. Зубцы могут иметь различные размеры и разное направление, что позволяет получать накатку различных рисунков. При накатывании державку прижимают к вращающейся заготовке. В процессе накатки ролики вращаются и вдавливаются в поверхность заготовки, что и образует желаемый рисунок.

Наиболее простым и эффективным способом повышения

износостойкости и усталостной прочности валов является обработка их рабочих поверхностей **пластическим деформированием**. В процессе пластической деформации имеет место физическое упрочнение металла, называемое **наклепом**.

Одновременно изменяется структура поверхностных слоев металла, формируются благоприятные остаточные напряжения и уменьшается шероховатость поверхности.

В единичном производстве наиболее широко применяют обкатывание роликами или шариками, укрепленными на специальной оправке. В серийном и массовом применяют более производительные способы – центробежное наклепывание шариками, алмазное выглаживание, дробеструйная обработка и др.

Качество обработанной поверхности при обкатывании роликами или шариками в значительной степени зависит от режимов деформирования: силы обкатывания (давление на ролик или шарик), скорости, числа рабочих ходов. При обработке применяют обильную смазку. До обкатывания заготовки обрабатывают точением, шлифованием, обеспечивающими точность по 7...9 квалитетам и  $Ra=0,2...1,6$  мкм. В случае грубо обработанной поверхности вершины выступов вдавливаются во впадины и в дальнейшем при работе вала могут отслаиваться. Точность размеров наружных цилиндрических поверхностей после обкатывания находится в пределах  $IT7...10$ , шероховатость поверхности  $Ra=0,05...2,0$  мкм. Припуск на обработку рекомендуется выбирать в пределах 0,005...0,02 мм. Обработку производят, как правило, на токарных или револьверных станках.

Схема конструкции оправки для обкатки наружных цилиндрических поверхностей на токарных станках показана на рис. 57. Ролики оправки прижимаются за счет перемещения верхних салазок суппорта к обрабатываемой поверхности. Скорость обкатки составляет около 60...70

м/мин. Глубина упрочненного слоя достигает при этом 0,2...0,7 мм.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие основные методы обработки наружных поверхностей заготовок деталей типа тел вращения Вы знаете?
2. Каким образом и какими способами производят шлифование цилиндрических поверхностей заготовок?
3. Какое технологическое оборудование применяют для обработки заготовок деталей типа тел вращения?
4. Какими способами осуществляют поверхностное упрочнение валов?

## **5.2 Обработка отверстий**

Отверстия в деталях машин бывают цилиндрические гладкие и ступенчатые, фасонные. Под ступенчатыми понимают отверстия разных диаметров, расположенные на одной оси, последовательно одно за другим. Отверстия могут быть открытые с двух сторон или с одной стороны (глухие). Отверстия с соотношением длины к диаметру больше пяти считаются глубокими.

Обработка отверстий несколько сложнее, чем наружных поверхностей тел вращения. В связи с этим точность (калитет) на отверстия назначают на один порядок грубее и, как правило, не точнее 7-го квалитета.

Обработка отверстий может производиться со снятием и без снятия стружек. Обработка со снятием стружки осуществляется лезвийным и абразивным инструментом. К обработке лезвийным инструментом относятся сверление, зенкерование, развертывание, растачивание и протягивание. К абразивной обработке относится шлифование и хонингование.

Обработка отверстий без снятия стружки производится путем калибровки с помощью выглаживающих прошивок (дорнов) и шариков, а

также раскаткой.

Основным способом получения отверстий в сплошном материале является **сверление**. Обработка отверстий может производиться двумя основными способами: 1) вращается сверло, одновременно осуществляя подачу, а деталь неподвижна (обработка на сверлильных станках) и 2) вращается заготовка, при этом подача осуществляется перемещающимися в осевом направлении инструментом (обработка на токарных станках).

Сверлением можно получать отверстия с точностью 12...14 квалитетов. Применение при сверлении (особенно глубоких отверстий) кондукторных втулок уменьшает увод сверла и повышает точность обработки до 10...11 квалитетов.

По конструкции и назначению различают сверла нормальные, для глубокого сверления и специальные. К нормальным относятся сверла спиральные, перовые и центровочные. Для глубокого сверления точных отверстий (например, масляные каналы) применяют вращающиеся удлинённые *спиральные сверла* с увеличенным углом наклона спиральной канавки. Во время сверления таких отверстий деталь находится в ванне с эмульсией. Сверление заготовок из серого чугуна производится без охлаждения. Для изготовления глубоких отверстий диаметром до 30 мм применяют *специальные спиральные сверла*, имеющие внутренний канал для подвода охлаждающей жидкости. Однако работать таким сверлом трудно, так как его необходимо периодически выводить из отверстия для удаления стружки. Поэтому обработку таких отверстий в крупносерийном и массовом производстве производят на агрегатных станках с разделением глубины отверстия на участки.

При сверлении глубоких сквозных отверстий диаметром 80...200 мм и длиной до 500 мм обычно применяются *кольцевые сверла*. Они вырезают в заготовке лишь кольцо, а внутренняя часть в форме цилиндра может быть использована для изготовления других деталей.

Отверстия в сплошном металле рекомендуется сверлить спиральными сверлами по стали до 28 мм, а по чугуну до 32 мм за один переход на сверлильных станках. При обработке отверстий больших диаметров (до 80 мм) используют два и более перехода, обычно сверление и рассверливание. Операцию рассверливания делают для того, чтобы сохранить межцентровое расстояние, когда обработка отверстий одним сверлом большого диаметра может дать значительное отклонение оси отверстия. Для сверления отверстий диаметром свыше 80 мм применяют сверла или сверлильные головки специальных конструкций. Эту операцию, как правило, выполняют на расточных станках.

Для повышения точности отверстий после сверления и снижения шероховатости их поверхности применяют **зенкерование**. Зенкерованием могут обрабатываться также отверстия в отливках и штамповках. Зенкерование может быть предварительной обработкой под последующее развертывание, растачивание или протягивание. После черного зенкерования в заготовке обеспечивается точность 11...12 квалитетов и шероховатость поверхности  $Ra=20...10$  мкм. Чистовое зенкерование в зависимости от материала и конструкции зенкера позволяет получить точность 9...10 квалитета и шероховатость  $Ra=6,3...3,2$  мкм. Поэтому при обработке отверстий по 11...13 квалитетам зенкерование может быть окончательной операцией.

Припуск под зенкерование предварительно просверленных или расточенных отверстий составляет примерно  $1/8...1/10$  диаметра отверстия. Скорость резания для твердосплавного инструмента при обработке стали 25...120 м/мин, подача 0,4...0,5 мм/об. Для чугунных заготовок соответственно скорость резания составляет 50...150 м/мин и подача – 0,3...0,6 мм/об. Отверстия диаметром до 12 мм не зенкуют, а сразу развертывают черновой разверткой.

Режущим инструментом при зенкеровании является зенкер. В

зависимости от назначения зенкеры изготавливают цельными с числом зубьев 3...8, диаметром 3...40 мм; насадными – 30...100 мм; сборными регулируемые со вставными ножами диаметром 40...120 мм и комбинированными (рис. 58). Насадные зенкеры наиболее часто применяются при обработке нескольких отверстий диаметром более 30 мм, находящихся на одной оси.

Зенкерование является достаточно производительным методом, повышает точность предварительно обработанных отверстий, частично исправляет искривление оси после сверления. Применение направляющих кондукторных втулок позволяет значительно повысить точность обработки.

Для снятия фасок в отверстиях применяют зенковки (рис. 59, а). Цилиндрические углубления и торцевые поверхности под головки болтов и гаек выполняются цековками в виде насадных головок с четырьмя зубьями (рис. 59, б) или в виде специальных пластин (рис. 59, в). Цековки имеют направляющие цапфы, служащие для получения соосности с обработанной поверхностью.

В мелкосерийном производстве на сверлильных станках вместо зенкеров применяют резцы в оправках; они дешевле в изготовлении, но менее производительны, чем зенкеры.

Для придания отверстию более точных размеров в пределах до 7-го качества и шероховатости поверхности в пределах  $Ra = 2,5...0,63$  мкм применяется **развертывание**. Развертыванию обычно предшествует сверление, зенкерование или растачивание. Развертки рассчитаны на снятие небольшого припуска. Средняя величина припуска под развертывание составляет при чистовой обработке не более 0,15 мм на диаметр. Скорость резания для инструмента из быстрорежущих сталей принимается в пределах 2...15 м/мин. Подачу при развертывании принимают до 1,2 мм/об. Развертывание позволяет получить отверстие точностью Н6...Н7, а тонкое развертывание (после двукратного



развертывания) дает Н5.

Развертки отличаются от зенкеров большим числом (6...14) зубьев. Для получения отверстий повышенной точности, а также при обработке отверстий с продольными пазами применяют винтовые развертки.

Развертки бывают ручные и машинные и изготавливают их цельными и раздвижными. Ручные развертки имеют длинные зубья и длинную коническую заточенную часть, называемую режущей (или заборной) частью. Машинные цельные развертки применяют для обработки отверстий диаметром до 30 мм. В целях экономии инструментальных сталей для обработки отверстий диаметром более 30 мм применяют насадные развертки. Для обработки отверстий диаметром 35...150 мм применяют развертки со вставными ножами.

В крупносерийном и массовом производстве для повышения производительности труда при обработке отверстий применяют комбинированный инструмент: сверло-зенкер, сверло-развертка, сверло-зенкер-развертка и др. (рис. 60, а, б). Такой инструмент обрабатывает одновременно несколько поверхностей. Для быстрой смены режущих инструментов на сверлильных станках применяют быстросменяемые патроны (рис. 60, в).

Для обработки отверстия за несколько технологических переходов применяют многошпиндельные головки в сочетании с поворотным столом. Схема обработки отверстия трехшпиндельной головкой на сверлильном станке с позиционным столом приведена на рис. 61. Станок имеет четыре патрона, один из которых служит для смены заготовки во время обработки других заготовок в остальных трех. При таком построении операции вспомогательное время затрагивается только для поворота стола на  $90^\circ$  и на подвод и отвод шпинделей. В этом случае машинное время будет определяться продолжительностью одного перехода. Многошпиндельные головки в сочетании с поворотным столом целесообразно применять в

серийном производстве.

**Растачивание** отверстий можно производить на станках токарной группы или на расточных агрегатных и других станках. Инструментом для обработки на токарных станках служат расточные резцы, а на расточных – резцы, закрепленные в специальных державках (борштангах); расточные головки; блоки; расточные пластины. При этом обработка может производиться как при вращении детали (токарные станки), так и при вращении инструмента (станки расточной группы). В процессе растачивания исправляется направление оси отверстия, повышается его точность, класс шероховатости. В частности, отверстия могут быть расточены с точностью 6...12 квалитетов и с шероховатостью поверхности  $Ra=2,5...0,32$  мкм. Расточке обычно подвергаются отлитые, прошитые или просверленные отверстия сравнительно больших диаметров.

**Протягивание** отверстий производится специальным многолезвийным инструментом – протяжкой, у которой зубья расположены вдоль инструмента. Подготовка отверстий под протягивание осуществляется сверлением, зенкерованием или растачиванием. Протягиванием можно обрабатывать отверстия цилиндрические, шлицевые и других форм. Припуск на протягивание круглых отверстий составляет не более 1,0...1,2 мм. Рабочая скорость (скорость движения протяжки) обычно принимается 2...12 м/мин., скорость обратного хода в 2...3 раза больше рабочего хода. Протягивание рекомендуется производить с какой-либо смазочно-охлаждающей жидкостью (эмульсия, машинное масло и др.). Современные горизонтально – протяжные станки развивают тяговое усилие до 100 тыс. Н. При этом обеспечивается точность обработки 6...7 квалитетов и шероховатость поверхности  $Ra=0,63...0,32$  мкм.

Базой при протягивании служит торец детали. Установка детали для протягивания может производиться на жесткой (рис. 62, а) или

самоустанавливающейся (рис. 62, б) опоре. Установку детали на жесткой опоре применяют тогда, когда торец детали подрезан перпендикулярно оси отверстия. Одним из основных недостатков протягивания является сравнительно высокая стоимость протяжек.

Для обработки отверстий **абразивными инструментами** чаще всего применяют шлифование и хонингование.

**Шлифование** применяют главным образом для обработки отверстий у закаленных деталей с точностью 5...7 квалитетов и шероховатостью поверхности  $Ra=1,25...0,32$  мкм. Применяя тонкое шлифование можно получить шероховатость поверхности  $Ra=0,32...0,16$  мкм.

Припуски на шлифование отверстий зависят от диаметра отверстия и его длины, и рекомендуется выбирать в пределах 0,07...0,25 мм для диаметра до 30 мм и 0,18...0,75 мм для диаметра до 250 мм.

В зависимости от типа применяемых станков шлифование отверстий можно производить при вращающейся заготовке, закрепленной в патроне, на обычных внутришлифовальных станках; при неподвижной заготовке на планетарно – шлифовальных станках и при вращающейся незакрепленной детали на бесцентровых внутришлифовальных станках.

Наиболее распространенным является первый способ, применяемый главным образом для шлифования отверстий в небольших по размерам заготовках, большей частью представляющих собой тела вращения, например, отверстий в зубчатых колесах, в кольцах шарико- и роликоподшипников. При этом способе обрабатываемую заготовку закрепляют в самоцентрирующем патроне или в специальном приспособлении. Схема обработки отверстия на внутришлифовальном станке приведена на рис. 63. Деталь вращается со скоростью до 40...60 м/мин, скорость шлифовального круга около 35 м/с. Направления вращения круга и заготовки должны быть противоположны (т.е. встречны). Диаметр круга обычно принимают в пределах 0,8...0,9

диаметра отверстия. Вращающийся круг может подаваться в радиальном направлении на глубину шлифования, одновременно имея возможность перемещаться в продольном направлении относительно оси обрабатываемого отверстия. Поперечную подачу в зависимости от диаметра отверстия и требуемой точности назначают в пределах 0,003...0,015 мм; чем меньше диаметр отверстия и выше его требуемая точность, тем меньше должна быть подача. Продольная подача обычно выбирается в долях высоты круга; при черновом шлифовании она принимается в пределах 0,6...0,8, при чистовом – 0,2...0,3.

Планетарное шлифование применяется преимущественно для обработки крупногабаритных и тяжелых деталей сложной формы, закрепление которых во вращающихся шпинделях затруднено или практически невозможно. Особенностью этого способа шлифования является планетарное движение круга вокруг своей оси (рис. 63, б) со скоростью 25...50 м/с и вокруг оси обрабатываемой заготовки со скоростью 40...60 м/мин. Продольная подача и поперечное врезание на глубину также осуществляется кругом.

Планетарное шлифование применяют в условиях единичного и серийного производства.

**Хонингование** относится к отделочно-доводочным методам обработки отверстий. Предварительно развернутое, шлифованное или расточенное отверстие обрабатывают (хонингуют) специальной вращающейся хонинговальной головкой, называемой иногда хонем (рис. 64). На головке закрепляют мелкозернистые абразивные бруски (шесть и более). Раздвижение брусков в радиальном направлении осуществляется механическим, гидравлическим или пневматическим устройством. В результате хонингования получается гладкая и блестящая поверхность с точностью 4...6 квалитетов и шероховатостью поверхности  $Ra=0,32...0,02$  мкм. Достижимая точность формы составляет

0,01...0,02 мм для отверстий диаметром 100...120 мм.

Хонинговальная головка вращается со скоростью 60...75 м/мин при обработке стальных заготовок. Скорость возвратно-поступательного движения головки около 12...15 м/мин. Давление брусков на обрабатываемую поверхность составляет от 0,05 до 0,20 Мпа. Припуск на обработку 0,05...0,10 мм обычно снимается за 1...2 мин. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости обычно применяется керосин или легкий соляр. Для хонинговальных брусков используют преимущественно синтетические алмазы на металлической основе. Применяют хонингование, например, для обработки цилиндров двигателей внутреннего сгорания, цилиндров гидропередатчиков, плунжерных пар и др. Однако хонингованием невозможно устранить отклонения положения и направления оси отверстия.

**Обработка отверстий без снятия стружки** производится двумя методами: калиброванием с помощью выглаживающих прошивок (дорнов) и шариков и раскатыванием. Дорны не имеют режущих зубьев. Они уплотняют поверхностный слой отверстия, обеспечивая получение более точного диаметра. При этом понижается шероховатость поверхности и повышается ее твердость (за счет явления наклепа).

*Калибрование шариком* или с помощью выглаживающих прошивок, называемых *дорнами* (рис. 65), заключается в продавливании стального закаленного шарика или дорна на прессе через отверстие, которое было предварительно точно обработано. Диаметр шарика или дорна должен быть несколько больше требуемого диаметра отверстия, так как в этом случае имеется небольшое упругое последствие металла. Скорость калибрования для заготовок из вязких металлов составляет 2...6 м/мин. При этом повышается точность обработки, исправляются погрешности формы и снижается шероховатость.

*Раскатывание отверстий* производится стальными закаленными

роликами, имеющими бочкообразную форму, или шариками. Раскатывание производится за несколько двойных ходов вдоль отверстия при усиленной смазке. Скорость раскатывания – до 200м/мин, подача вдоль оси отверстия – до 5мм/об. Раскатыванием достигается точность размеров  $IT7...8$  и шероховатость поверхности  $Ra=0,32...0,08$  мкм, при этом твердость поверхностного слоя увеличивается примерно на 15...20%. Схема раскатки отверстия шариком показана на рис. 66.

### Вопросы для самопроверки

1. Назовите и поясните основные методы обработки отверстий.
2. Какими способами производят шлифование отверстий?
3. Назовите основной инструмент для обработки отверстий.
4. Какое технологическое оборудование применяют для обработки внутренних цилиндрических поверхностей?

## 5.3 Обработка резьбовых поверхностей

В машиностроении применяются цилиндрические (крепежные и ходовые) и конические резьбы. Для крепежных деталей основной является метрическая резьба треугольного профиля с углом при вершине  $60^\circ$ . По размеру шага эту резьбу делят на резьбу с крупным и мелким шагом. Одному и тому же номинальному (наружному) диаметру резьбы соответствует несколько шагов разной величины. Дюймовую резьбу с углом профиля  $55^\circ$  применяют только при изготовлении запчастей и для ремонта импортного оборудования. Применение дюймовой резьбы при проектировании новых изделий не разрешается.

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к точности резьбовых соединений, поля допусков болтов и гаек устанавливаются в трех классах точности: точном, среднем и грубом.

Кроме рассмотренных резьб используют также специальные цилиндрические резьбы. *Трубная резьба* представляет собой измельченную по шагу дюймовую резьбу с закругленными впадинами. *Трапецеидальную резьбу* применяют в резьбовых соединениях, передающих движение (ходовые и грузовые винты). *Упорную резьбу* применяют в тех случаях, когда необходимо передать значительные односторонние давления. Это, например, винтовые прессы, грузоподъемники, домкраты и др. *Часовую резьбу* применяют в точном приборостроении для резьбовых соединений диаметром менее 1 мм.

Ходовые резьбы нарезают прямоугольного и трапецеидального профиля, однозаходные или многозаходные. Резьба может быть наружная (на наружной поверхности детали) и внутренняя (на внутренней поверхности детали). Наружную резьбу можно получать различными инструментами: резцами, гребенками, плашками, дисковыми и групповыми фрезами, шлифовальными кругами, накатным инструментом. Для изготовления внутренней резьбы применяют резцы, метчики, групповые фрезы, накатные метчики. Тот или иной метод нарезания резьбы применяют в зависимости от профиля резьбы, материала изделия, объема производственной программы и требуемой точности.

Треугольную резьбу часто нарезают на токарно-винторезных станках резьбовыми резцами, заточенными под требуемым углом ( $60^\circ$  для метрической резьбы и  $55^\circ$  для дюймовой). Резец устанавливается строго перпендикулярно оси станка, а передняя поверхность резца должна быть расположена на высоте центров станка. При другом положении резца резьба будет нарезана неправильно, с большими отклонениями профиля. Для правильной установки резца часто пользуются установочным шаблоном. В зависимости от глубины резьбы нарезание осуществляется за несколько проходов. После каждого прохода резец отводится от заготовки и возвращается в исходное положение. Осуществляется это при

включенной маточной гайке с обратным вращением ходового винта. Затем перемещают резец на глубину резания для следующего прохода.

В процессе нарезания резьбы одним резцом режущая кромка его затупляется и теряет форму. Поэтому рекомендуется черновые проходы производить одним резцом с менее точным профилем, а последний, чистовой проход выполнять чистовым резцом.

При черновом проходе скорость резания находится в пределах 20...80 м/мин, при чистовом – 4...5 м/мин. Для резьб с небольшим шагом (менее 2 мм) величина поперечной подачи перед каждым черновым проходом устанавливается в пределах 0,15...0,25 мм, а при чистовых – 0,05...0,1 мм. Для более крупных резьб с шагом резьбы более 2 мм боковая подача устанавливается в пределах 0,3...0,5 мм на проход, а при чистовом нарезании поперечная подача не превышает 0,1 мм.

В крупносерийном и массовом производстве нарезание производится на резьбовых полуавтоматах, у которых подача на глубину, рабочий ход, отвод резца и обратный ускоренный ход осуществляются автоматически.

Нарезание прямоугольной и трапецеидальной резьб является более сложным процессом по сравнению с нарезанием треугольных резьб. Эти резьбы на ходовых винтах и червяках бывают однозаходными и многозаходными. При нарезании таких резьб для установки резцов по углу подъема винтовой линии наиболее часто применяют специальные державки. Схема нарезания трапецеидальной резьбы тремя резцами приведена на рис. 67, а, а схемы нарезания прямоугольной резьбы двумя и тремя резцами показаны на рис. 67, б, в.

Нарезание резьбы гребенками сокращает время обработки, что увеличивает производительность процесса. При этом способе работа резания распределяется между несколькими зубьями. Концы зубьев стачивают от одного края гребёнки к другому, так что глубина резания постепенно увеличивается. Наиболее экономично применять гребёнки при



изготовлении больших партий деталей в серийном производстве. Однако для точных резьб гребёнки не применяются, так как изготовить их с необходимой точностью достаточно трудно.

Наиболее распространенным методом получения треугольных резьб является **нарезание резьбы** метчиками, плашками и резьбонарезными головками. Внутренние резьбы с диаметром до 30мм нарезаются метчиками. Метчики бывают *ручные и машинные*. Ручные метчики применяют комплектом из двух или трёх штук. Ими обычно пользуются при слесарных ручных работах. Для нарезания внутренней резьбы на станках, главным образом револьверных и сверлильных, применяют машинные и гаечные метчики. Машинные метчики используют для нарезания как глухих, так и сквозных резьб, гаечные – только для нарезания сквозных резьб в гайках и кольцах. Для нарезания гаек в массовом производстве применяют специальные гайконарезные автоматы.

Наружную резьбу наиболее часто нарезают плашками различных конструкций. Круглыми плашками нарезают резьбы невысокой точности, так как профиль резьбовой нитки у этих плашек не шлифуют. Работа может выполняться как вручную, так и на станках. Скорость резания находится в пределах 2...5 м/мин. Недостатком нарезания резьб плашками является необходимость свинчивать плашки с нарезанной резьбы. Для повышения производительности на автоматах, револьверных и болторезных станках широко применяют самораскрывающиеся резьбонарезные головки. У этих головок в конце процесса нарезания режущий инструмент выходит из зацепления с резьбой без вывинчивания головки и быстро возвращается в исходное положение. Применение таких головок позволяет увеличить скорость резания до 15...20 м/мин, что, в конечном счете, увеличивает производительность резьбонарезания в 2-3 раза по сравнению с нарезанием резьбы плашками. В настоящее время наиболее распространенными типами самораскрывающихся

резьбонарезных головок для нарезания наружной резьбы является головка с радиальным расположением гребенок (рис. 68, а, б) и головка с плоскими гребенками, расположенными тангенциально (по касательной) к нарезаемой поверхности резьбы (рис. 68, в). В качестве смазочно-охлаждающей жидкости при нарезании резьбы стальных заготовках используют различные эмульсии.

В серийном и массовом производстве для нарезания треугольных и трапецеидальных резьб широко используется **резьбофрезерование**. При этом профиль фрезы должен соответствовать профилю нарезаемой резьбы. Нарезание производят обычно за один рабочий ход. Скорость фрезерования около 30...80 м/мин. Фрезерование наружных резьб производят чаще всего дисковыми фрезами (рис. 69). При этом инструмент устанавливают под углом, равным углу подъема нитки нарезной резьбы. В процессе нарезания резьбы фреза вращается и поступательно перемещается вдоль оси заготовки на один шаг за один оборот заготовки. Вращение заготовки создает круговую подачу. Круговая подача (скорость вращения заготовки) выбирается из такого расчета, чтобы обеспечить подачу на зуб фрезы в пределах 0,03...0,08 мм.

Крепежные наружные резьбы производятся в основном **накатыванием** в холодном состоянии. Резьба, полученная таким способом, имеет ровный и чистый профиль с уплотненной поверхностью, что значительно увеличивает ее прочность. Накатывание производится накатными плашками и накатными роликами. На качество резьбы в значительной степени влияет материал заготовки. Наиболее качественные резьбы получают на заготовках из пластичных металлов, например из низкоуглеродистых сталей.

Схема накатывания резьбы плоскими плашками приведены на рис. 70. Заготовка 1 прокатывается между двумя закаленными плашками 2 и 3, на рабочих поверхностях которых под углом подъема резьбы нарезаны нитки

(канавки). Вершины ниток подвижной плашки 3 совпадают с впадинами резьбового профиля неподвижной плашки 2. Подвижная плашка совершает возвратно-поступательные движения со скоростью 60...70 м/мин. На цилиндрической заготовке в результате перемещения подвижной плашки из первоначального положения в конечное и вследствие пластической деформации металла накатывается резьба. Плашки имеют заборную часть для захвата заготовки, калибрующую часть и сбег, обеспечивающий плавный выход заготовки из плашек. Формирование резьбы происходит за один ход подвижной плашки.

Для накатывания резьбы плашками используются специальные резьбонакатные автоматы с загрузочным устройством. На этих станках можно накатывать резьбу диаметром от 2 до 26 мм и длиной до 125 мм.

Резьбу накатывают также роликами – двумя и тремя. Резьбы диаметром от 5 до 26 мм накатывают одним роликом (рис. 71, а) на токарных или токарно-револьверных станках. Заготовку 1 зажимают в патроне станка, а накатный ролик 2 – в державке 3, установленной в суппорте. На 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 его резьбы должны быть кратны тем же параметрам накатываемой резьбы. Накатывание резьбы одним роликом может вызвать деформацию изгиба из-за односторонней радиальной силы.

Для уменьшения радиальной силы (а, следовательно, и прогиба заготовки) применяют накатывание резьбы двумя роликами с постоянным межцентровым расстоянием (рис 71, б). Наибольшее распространение получил способ накатывания резьбы двумя роликами (рис. 71, в), осуществляемый на резьбонакатных станках. Оба ролика вращаются в одну сторону, причем один из них получает радиальное перемещение (по стрелке А) со скоростью до 0,3 мм за один оборот заготовки.

При накатывании длинных резьб (длина резьбы не ограничена) широко используются резьбонакатные станки с продольной подачей заготовки (рис 71, г). Ролики снабжены заборными частями при постоянном межцентровом расстоянии. Оси роликов относительно накатываемой заготовки наклонены под углом подъема резьбы, что обеспечивает самозатягивание заготовки. Однако точность резьбы получается ниже, чем при обычном накатывании роликами.

При изготовлении резьбонарезного инструмента, резьбовых калибров, роликов для накатывания резьбы, точных винтов и других деталей с точной резьбой применяют **шлифование** резьбы. Шлифуют резьбу обычно после термической обработки вследствие возможного искажения элементов резьбы. Процесс шлифования осуществляется одно- и многониточными кругами. Многониточные круги применяют преимущественно при обработке коротких резьб. При этом ширина круга должна превышать длину шлифуемой резьбы на 2...4 шага. Шлифование производится по методу врезания при продольном перемещении заготовки на 2...4 шага за 2...4 оборота. Процесс шлифования резьбы однониточным кругом показан на рис. 71, д.

Основные параметры процесса: скорость шлифовального круга  $V=30...35$  м/с, глубина резания  $t=0,04...0,1$  мм, шероховатость обработанной поверхности  $Ra=1,25$  мкм. Припуск в зависимости от шага и диаметра резьбы составляет 0,15...0,35 мм на диаметр.

Резьбы с мелким шагом (до 1,5 мм) образуются вышлифовыванием непосредственно на гладкой закаленной заготовке без предварительной прорезки лезвийным инструментом. Более крупные резьбы шлифуют после предварительного нарезания и термической обработки.

Шлифование однониточными кругами обеспечивает более высокую точность резьбы, а шлифование многониточными кругами приводит к искажению профиля резьбы, однако более производительно. Зернистость и

твердость кругов выбирают в зависимости от шага шлифуемой резьбы.

Резьбошлифование производится на резьбошлифовальных станках, чаще всего в условиях серийного и массового производства.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие основные методы применяют для нарезания наружной и внутренней резьб лезвийным инструментом?
2. Какое технологическое оборудование используют для получения резьб обработкой резанием?
3. Какие режущие инструменты используют для обработки наружных и внутренних резьб?
4. Каковы преимущества накатывания резьб по сравнению с обработкой резанием резьб?

## **5.4 Обработка плоских поверхностей**

В большинстве случаев плоские поверхности выполняют роль баз. Технические требования на их обработку определяются назначением этих поверхностей. Наиболее широкое применение при обработке плоских поверхностей получили строгание, фрезерование и шлифование.

**Строгание** производят на продольно-строгальных и поперечно-строгальных станках. Эти станки имеют широкое применение как в единичном, так и в серийном производстве. При работе на этих станках не требуется сложных приспособлений и инструментов. Кроме того, строгальные станки просты по устройству, имеют достаточную точность обработки и более низкую себестоимость по сравнению с обработкой на фрезерных станках. Однако обработка на строгальных станках имеет сравнительно невысокую производительность вследствие значительных потерь времени на обратные холостые ходы режущего инструмента. Схема строгания плоскости представлена на рис. 72.

Скорость резания при строгании сравнительно невелика, так как возвратно-поступательные движения с большими скоростями вызывают значительные инерционные нагрузки деталей станка в момент остановок инструмента в крайних положениях. Так, например, при строгании заготовок из чугуна для черновой обработки скорость резания не превышает 15...20 м/мин, а для чистовой – 4...12 м/мин.

При строгании поверхностей на продольно-строгальных станках стол с закрепленной на нем деталью совершает возвратно-поступательное движение. После каждого рабочего хода осуществляется подача резцового суппорта с резцом в поперечном направлении. Обрато стол возвращается со скоростью в 2...3 раза большей, чем скорость рабочего хода.

На поперечно-строгальных станках возвратно-поступательные движения осуществляет резец, закрепляемый в суппорте ползуна. Заготовка, которая крепится на столе станка, осуществляет вместе со столом поперечную подачу после каждого рабочего хода. На этих станках обрабатывают заготовки сравнительно небольших размеров. При обработке наклонных поверхностей суппорт поворачивается. Привод станка осуществляется от механизма с качающейся кулисой, позволяющего регулировать длину хода ползуна. Прерывистая подача стола производится специальным храповым механизмом. Кроме кулисного механизма для движения ползуна поперечно-строгальных станков применяют также гидравлический привод. Эти станки выпускают с наибольшим ходом ползуна от 200 до 2400 мм.

Строгание, как и точение разделяют на черновое и чистовое. При черновом строгании на продольно-строгальных станках глубина резания может достигать 20 мм и более, скорость резания 10...20 м/мин. Чистовую обработку вследствие тихоходности строгальных станков производят с малой подачей или резцами с широкой режущей кромкой (шириной 20...40 мм) при большой подаче (10...25 мм/дв.ход). Режимы обработки

назначают в зависимости от требуемой точности и шероховатости обрабатываемой поверхности. Точность обработки во многом зависит от квалификации и опыта рабочего, а также от типа и состояния станка. В обычных условиях погрешность обработки на строгальных станках находится в пределах 0,1...0,2 мм на 1 м длины. На современных продольно-строгальных станках, имеющих плавные и равномерные движения стола, при чистовом строгании получают точность 8...9 квалитетов, шероховатость поверхности  $Ra=2,5...1,25$  мкм.

К классу строгальных относятся и долбежные станки. На этих станках долбяк с закрепленным в нем резцом совершает возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости. Стол станка, на котором закрепляют заготовку, имеет движение подачи в горизонтальной плоскости в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Долбежные станки применяют в единичном и мелкосерийном производстве для получения шпоночных канавок, а также для обработки сквозных и несквозных отверстий квадратных, прямоугольных и других форм. Для обработки несквозных отверстий долбление можно считать основным методом, так как более производительные протяжные станки в этом случае применять нельзя.

Вследствие низкой производительности строгальных станков процесс строгания по возможности заменяют фрезерованием. В настоящее время **фрезерование** является наиболее распространенным и производительным методом обработки плоских поверхностей. Фрезерование плоскостей осуществляется цилиндрическими и торцовыми фрезами. Фрезерование торцовыми фрезами более производительно, чем цилиндрическими. Это объясняется тем, что в первом случае обработка металла производится одновременно несколькими зубьями, а при фрезеровании цилиндрическими фрезами лишь двумя-тремя зубьями. Кроме того, можно использовать торцовые фрезы больших диаметров (до

800мм), с большим числом зубьев с закрепленными режущими пластинами из твердых сплавов. Торцовые фрезы закрепляют на оправках, которые устанавливаются в шпиндель станка, что обеспечивает значительную жесткость и благоприятно сказывается на условиях работы инструмента. На современных предприятиях предпочтительное применение находят конструкции торцевых фрез с облегченным, но прочным корпусом и зубьями из многогранных неперетачиваемых пластин. Все это позволяет осуществлять процесс обработки с высокими скоростями резания.

Различные способы обработки на фрезерных станках приведены на рис. 73.

Обработку цилиндрическими фрезами производят двумя видами – *встречным* (рис. 74, а) и *попутным* (рис. 74, б) фрезерованием. В первом случае вращение фрезы направлено против подачи, т.е. направление подачи противоположно направлению вращения фрезы. Во втором случае направление подачи совпадает с направлением вращения фрезы.

При *встречном фрезеровании* толщина стружки постепенно увеличивается при резании каждым зубом, достигая величины  $a_{max}$ . При этом в начале резания происходит небольшое проскальзывание режущей кромки зуба по поверхности заготовки, что приводит к наклепу обрабатываемой поверхности и затуплению зубьев фрезы. При *фрезеровании с попутной подачей* толщина стружки постепенно уменьшается. При этом виде обработки обеспечивается более высокая производительность и более высокое качество обработанной поверхности. Однако в этом случае зуб фрезы захватывает металл сразу на полную глубину резания, поэтому процесс резания происходит неравномерно, с ударами.

В процессе обработки при встречном фрезеровании фреза стремится оторвать заготовку от поверхности стола, а при попутном наоборот, прижимает. Поэтому при использовании современного оборудования и



инструмента предпочтение отдается попутному фрезерованию. Однако при черновой обработке заготовок попутное фрезерование применять не следует, так как при врезании зуба фрезы в твердую корку происходит преждевременное изнашивание фрезы и выход ее из строя.

Точность фрезерования зависит от типа станка, инструмента, режимов резания и других факторов. При фрезеровании плоскостей торцовыми фрезами точность обработки составляет по 8...11-му квалитетам, а шероховатость поверхности  $Ra=2,5...1,25$  мкм. При скорости резания 200...300 м/мин с подачей 0,03...0,20 мм на зуб фрезы можно получить точность до 7-го квалитета, а шероховатость поверхности  $Ra=0,63...0,16$  мкм.

Фрезерование плоскости торцовыми фрезами осуществляется главным образом на вертикально-фрезерных станках. В крупносерийном и массовом производстве преимущественное применение имеют специализированные многошпиндельные продольно-фрезерные станки, барабанно-фрезерные, карусельно-фрезерные и многоцелевые станки.

В одношпиндельном *горизонтально-фрезерном* станке шпиндель расположен горизонтально; в вертикально-фрезерном станке – вертикально, в остальном устройство станка принципиально не отличается от горизонтально-фрезерного.

На горизонтально- и вертикально-фрезерных станках обработку производят при установке на стол станка нескольких заготовок рядами, обрабатывая их одновременно параллельно или последовательно (рис. 75). Одновременное фрезерование нескольких заготовок можно производить торцовой фрезой (рис. 75, а), если ее диаметр больше общей ширины поверхностей заготовок, установленных на столе станка или в приспособлении.

Параллельную обработку нескольких заготовок можно производить, набором дисковых или цилиндрических фрез (рис. 75, б). Последовательным

фрезерованием обрабатывают заготовки, установленные одна за другой (рис. 75, в) по направлению подачи стола. Применяют также параллельно-последовательное фрезерование (рис. 75, г).

*Продольно-фрезерные* станки являются наиболее характерными для группы специализированных фрезерных станков. Такие станки выпускают с одним или несколькими вертикальными и горизонтальными шпинделями. В последнем случае заготовку можно обрабатывать одновременно с нескольких сторон. Общий вид четырехшпиндельного продольно-фрезерного станка показан на рис. 76. Стол 2, на котором закрепляют заготовки, перемещается по направляющим станины 1. Фрезы установлены в шпинделях, находящихся в шпиндельных бабках 3, 5, 6 и 7. Поскольку стол неподвижен, то для получения требуемых размеров при обработке инструмент устанавливают выдвижением шпинделей вдоль их оси и перемещением шпиндельных бабок 5 и 6 по направляющим поперечины 4.

Эти станки предназначены для обработки плоскостей достаточно крупных заготовок. Наиболее распространенным видом обработки является работа с продольной подачей стола при неподвижных шпиндельных бабках. При этом заготовки можно обрабатывать одновременно с трех сторон. Шпиндели станка имеют индивидуальные приводы.

Рабочее место фрезеровщика показано на рис. 77.

**Шлифование** плоских поверхностей применяется как для черновой, так и для чистовой обработки. Припуск на черновое шлифование принимается значительно ниже, чем для фрезерования. Черновое шлифование плоских поверхностей экономически целесообразно применять в тех случаях, когда высокая твердость материала затрудняет использование процесса фрезерования.

Шлифованием можно получать детали более высокой точности и с более высоким качеством поверхности, чем при фрезеровании.

Плоскости можно шлифовать периферией или торцом круга на плоско-шлифовальных станках с прямоугольным или круглым столом. Различные схемы шлифования поверхностей приведены на рис. 78.

Периферией круга обрабатывают при возвратно-поступательном движении стола станка с закреплёнными на нём заготовками (рис. 78, а). Шлифование при этом производят с поперечной подачей на каждый двойной ход стола. Радиальная подача осуществляется перемещением круга на глубину резания.

Шлифование периферией круга можно производить также при закреплении обрабатываемой заготовки на круглом вращающемся столе (рис. 78, б). В этом случае шлифовальный круг совершает вращательное и одновременно возвратно-поступательное движение параллельно обрабатываемой поверхности. Шлифовальный круг вращается с окружной скоростью 25...50 м/с. Поперечная подача выражается в долях высоты круга (0,2...0,3 высоты круга) и продолжается до тех пор, пока не будет перекрыта вся ширина обрабатываемой поверхности, после чего круг подаётся на глубину резания. При чистовых проходах глубина резания не превышает 0,01 мм.

Шлифование плоскостей торцовой частью круга выполняют как при поступательном движении обрабатываемой заготовки (рис. 78, в), так и при ее вращении (рис. 78, г). При шлифовании торцом круга применяют круги чашечной или тарельчатой формы. Шлифование торцом круга более производительное, чем шлифование периферией, так как обычно диаметр круга больше, чем ширина обрабатываемой поверхности, вследствие чего она вся подвергается обработке. Шлифование периферией круга менее производительное, поскольку его производят с поперечной подачей, однако в этом случае достигается более высокая точность, чем при шлифовании торцом круга.

Основной способ закрепления обрабатываемых стальных заготовок

на плоскошлифовальных станках – с помощью магнитного стола или магнитной плиты. Заготовки из немагнитных материалов закрепляют с помощью универсальных или специальных приспособлений.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие основные методы обработки плоских поверхностей Вы знаете?
2. Какое технологическое оборудование применяют для обработки заготовок, имеющих плоские поверхности?
3. Какие режущие инструменты используют при обработке плоских поверхностей?
4. Каковы пути снижения трудоемкости обработки заготовок, имеющих плоские поверхности?

## **5.5 Нарезание венца цилиндрических зубчатых колёс**

Цилиндрические зубчатые колёса изготавливают с прямыми и косыми зубьями, реже – с шевронными.

В качестве заготовок для стальных зубчатых колёс используются в основном поковки и круглый прокат. Цилиндрические колёса с наружным диаметром выше 50 мм изготавливают обычно из поковок, полученных на ковочно-штамповочных прессах. Коэффициент использования металла таких заготовок составляет 0,6...0,7. В ряде случаев, заготовки, полученные из круглого сортового проката горячей высадкой на горизонтально – ковочных машинах, имеют более высокий коэффициент использования металла, чем у штампованных на кривошипных прессах.

Технологической базой при нарезании зубчатого колеса является отверстие в заготовке и торец. В зависимости от способа образования зубьев различают два метода зубонарезания – метод копирования и метод обкатывания.

Нарезание зубьев **методом копирования** производится на вертикальных и горизонтальных фрезерных станках. В этом случае зубчатые колёса нарезаются модульными пальцевыми (рис. 79, а) или модульными дисковыми (рис. 79, б) фрезами. В процессе обработки фреза прорезает в заготовке впадину такой же формы, какую имеет профиль инструмента, образуя поверхности двух смежных зубьев. После фрезерования каждой впадины заготовку при помощи делительной головки поворачивают для обработки следующих двух зубьев.

Однако при таком способе зубчатые колёса нарезаются медленно, так как каждый зуб нарезается отдельно и требуется время на деление заготовки и возврат инструмента. Кроме того, при нарезании на фрезерных станках требуется большое количество модульных фрез, так как для каждого модуля необходимо иметь не менее восьми фрез различного профиля в зависимости от числа зубьев нарезаемого колеса.

Преимуществом этого метода является применение стандартного инструмента и технологического оборудования.

Применяют нарезание зубчатых колёс методом копирования в мелкосерийном и опытном производстве. При этом обеспечивается точность зубчатого колеса в пределах 9...11-й степени.

Нарезание зубьев **методом обкатывания** имеет преимущественное применение. При этом одним инструментом данного модуля можно нарезать колёса с любым числом зубьев. В качестве инструмента используют червячные фрезы, а обработку ведут на специальных зубофрезерных станках (рис. 79, в).

При нарезании зубчатых колёс по методу обкатывания режущий инструмент и заготовка нарезаемого колеса имеют такие движения, какие они имели бы, находясь в действительном зацеплении, при этом происходит резание и образование профиля зубьев. Этот метод обеспечивает более высокую производительность вследствие

автоматического цикла работы станка и возможности многостаночного обслуживания. Получаемая точность колеса достигает 8-й степени и выше.

Изготавливают червячные фрезы обычно из специальных быстрорежущих инструментальных сталей, скорость резания при этом достигает до 120 м/мин. Применение червячных фрез из твёрдых сплавов позволяет производить обработку со скоростью 150...200 м/мин и подачами 3...4 мм на оборот заготовки, что увеличивает производительность обработки в 10...15 раз.

Методом обкатки зубчатые колёса нарезают обычно в крупносерийном и массовом производстве.

Для устранения некоторых погрешностей формы и повышения качества поверхности осуществляют отделочную обработку зубьев колёс методами шлифования, хонингования, притирки, приработки и др.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Назовите основные методы обработки резанием зубьев цилиндрических зубчатых колес.
2. Какое технологическое оборудование применяют для нарезания зубьев цилиндрических зубчатых колес?
3. Какие режущие инструменты применяют для нарезания цилиндрических зубчатых колес?

## **5.6 Выбор исходных заготовок деталей машин**

### **5.6.1 Основные требования к заготовкам**

При разработке технологического процесса изготовления детали одной из первых решается задача выбора заготовки и определение ее размеров.

Выбор вида заготовки зависит от конструктивных форм детали, ее назначения, условий работы в собранной машине, испытываемых нагрузок, а также от объема производства, точности размеров и других факторов.

Вид заготовки, ее форма, размеры, способ получения, свойства материала в большинстве случаев оказывают существенное влияние на характер технологического процесса ее последующей обработки. От степени совершенства способа получения заготовки в значительной степени зависит расход материала, количество технологических операций и их трудоемкость, сложность технологической оснастки и оборудования, что в конечном итоге определяет себестоимость изготовления детали и машины в целом.

Стоимость заготовок в значительной степени определяется способом их производства. Наиболее рациональный способ получения заготовки применительно к конкретным производственным условиям снижает трудоемкость последующих операций механической обработки и определяет степень механизации и автоматизации производства. Снижение трудоемкости механической обработки позволяет обеспечить рост объема производства без существенного увеличения технологического оборудования и оснастки.

Правильный выбор заготовки, если по техническим условиям применимы различные ее виды, можно осуществить лишь в результате технико-экономических расчетов. При этом сравнивают два или более возможных вариантов ее получения и последующей обработки и выбирают наиболее экономичный для данных условий производства, при котором обеспечивается наименьшая себестоимость полученной готовой детали. Количество одновременно изготавливаемых заготовок и периодичность их выпуска в значительной степени предопределяют затраты на производство и уровень его технологического оснащения.

Одним из показателей, характеризующих экономичность выбранной заготовки, является **коэффициент использования материала  $K_m$** . Его определяют как *отношение массы детали  $q$  к массе заготовки  $Q$* :

$$K_m = q/Q$$

Для рациональных форм и вида выбранной заготовки характерны значения этого коэффициента, близкие к единице, что обуславливает более низкую себестоимость последующей механической обработки, меньший расход материала, энергии, инструмента и т.п.

В среднем по машиностроению коэффициент использования металла сравнительно невысок и составляет  $K_m=0,7\ldots 0,75$ , в крупносерийном и массовом производстве  $K_m=0,85\ldots 0,9$ , а в единичном  $K_m=0,5\ldots 0,6$ .

Известно, что в себестоимости машиностроительной продукции наибольшую долю составляют затраты на материалы. Для их снижения стремятся в максимальной степени приблизить размеры и форму заготовок к габаритам и форме готовых деталей. Поэтому в современном производстве одним из основных направлений развития технологии механической обработки является использование заготовок с экономичными конструктивными формами, обеспечивающими обработку с наибольшей производительностью и наименьшими отходами материалов.

Использование более точных и сложных заготовок является в машиностроении одним из основных путей экономии материалов, создания безотходной и малоотходной технологии и интенсификации технологических процессов. Эта прогрессивная тенденция обусловила появление и развитие многих современных способов получения точных заготовок.

Однако некоторые из этих способов (например, литье под давлением, литье в кокиль, литье по выплавляемым моделям) требуют, как правило, применения дорогого технологического оборудования и оснастки, что увеличивает затраты на изготовление самой заготовки. Поэтому использование таких заготовок оправдывается лишь в условиях достаточно больших объемов производства.

При низкой точности размеров заготовок, больших колебаниях твердости материала, плохом состоянии необработанных баз нарушается



работа приспособлений, ухудшаются условия работы инструментов, снижается точность обработки, возрастают простои оборудования.

Детали машин отличаются большим разнообразием конструкций, форм, размеров, ролью в машине, нагруженностью, условиями работы, массой и т.п. Тем не менее при выборе заготовки для их изготовления можно руководствоваться некоторыми общими соображениями.

Фасонные детали, не подвергающиеся ударным нагрузкам, а также растяжению и изгибу (например, корпуса подшипников, крышки, шкивы и др.) целесообразно изготавливать из **чугунных отливок**; для фасонных деталей машин, работающих в тяжелых условиях больших знакопеременных нагрузок вместо чугунных целесообразно применять **стальные отливки**. Однако крупные отливки из стали обычно не отливают ввиду сравнительной трудности получения таких отливок.

Из чугуна отливают также достаточно крупные заготовки, например рамы, станины, плиты, коробки, картеры, маховики и др.

Заготовки в виде **поковок** и **штамповок** применяются обычно для деталей, работающих преимущественно на изгиб, растяжение, кручение. Такие заготовки чаще всего имеют существенную разницу в поперечных сечениях в разных своих частях (например, различные рычаги, коленчатые валы, шатуны, зубчатые колеса и др.) При изготовлении поковок можно максимально приблизить конфигурацию заготовки по форме и размерам к готовой детали.

Следует отметить, что заготовки в виде штамповок целесообразно применять лишь в крупносерийном и массовом производстве, так как для получения таких заготовок необходимо изготавливать дорогостоящую технологическую оснастку – штампы. В этом случае стоимость штампов переносится затем на большое количество заготовок, полученных в этих штампах.

Заготовки, полученные **свободной ковкой** на молотах или прессах,

применяются преимущественно в единичном и мелкосерийном производстве для получения как достаточно крупных, так и мелких деталей. При этом себестоимость кованных заготовок значительно выше, чем штампованных.

Для получения деталей непосредственно на металлорежущих станках в качестве заготовок широко используется **сортовой прокат** различных профилей. При этом заготовки из проката применяют обычно для деталей, приближающихся по конфигурации к какому-либо профилю проката – круглому, квадратному, шестигранному и к другим формам сечений. Желательно, чтобы изготавливаемые детали не имели значительной разницы в поперечных сечениях. В этом случае при обработке заготовки количество снимаемого металла будет минимальным. Следует отметить, что изготавливаемые из проката детали (за исключением валов) имеют сравнительно небольшие размеры.

*Горячекатаный сортовой прокат* широко используется также для получения поковок и штамповок.

На токарных автоматах и полуавтоматах в качестве заготовок применяются *калиброванные холодноотянутые прутки*. Для нормальной работы зажимных цанг колебание диаметров прутков не должно превышать 0,3...0,4 мм. Во многих случаях калиброванные прутки не подвергаются обработке лезвийным инструментом, а непосредственно шлифуются. При работе на revolverных станках с зажимом в кулачках может применяться горячекатаный прокат.

В различных отраслях промышленности в качестве заготовок широко используется **листовой прокат**. В частности, заготовки из листового проката применяют для изготовления деталей обшивки автомобилей, автобусов, вагонов, тракторов, химических аппаратов, морских судов и др.

В настоящее время имеет место тенденция изготовления *гнуемых профилей* из тонколистовой стали (рис. 80). Длина таких заготовок может

достигать нескольких метров. Форма гнутых профилей может быть приближена к форме отдельных элементов конструкции. Применение гнутых профилей взамен прокатных позволяет во многих случаях значительно экономить металл и снижать массу конструкции, так как гнутые профили тоньше и легче прокатных. Путем комбинирования таких заготовок можно получать более сложные профили достаточной жесткости и прочности.

### 5.6.2 Предварительная обработка заготовок

Заготовки, поступающие на обработку, должны соответствовать техническим требованиям и проходить **входной контроль**. Это позволяет выявить различные дефекты в заготовках и исключить обнаружение их на последующих операциях технологического процесса изготовления деталей.

Перед разработкой конструкции заготовки необходимо предусмотреть доступность любого ее места для осуществления контроля.

Некоторые дефекты отливок и поковок выявляют наружным осмотром необработанных поверхностей. Наличие формовочной земли, пригаров, окалины и некоторых других дефектов устраняют различными способами очистки поверхностей. Наиболее часто для этих целей используют проволочные вращающиеся щетки, абразивные круги с гибким валом и дробеструйные камеры. Мелкие заготовки очищают во вращающихся барабанах. Литники, прибыли, заливы на крупных заготовках удаляют с помощью пневматических зубил, дисковых пил и зачищают переносными шлифовальными машинками.

Кроме визуального выявления дефектов могут также использоваться различные методы неразрушающего контроля, например магнитная дефектоскопия, ультразвуковой и радиационный контроль, рентгеновские

излучения и др.

Иногда возникает необходимость в разрушающем контроле качества заготовок. В этом случае производят частичное или полное разрушение заготовки из партии.

Обнаруженные на отливках раковины, трещины, неровности чаще всего заделывают мастиками на основе термореактивных смол или заваривают.

В отдельных случаях проводятся металлографические исследования структуры, ликвации, химического состава, а также механические испытания заготовок.

Способы и виды контроля заготовок указываются в технических условиях.

Поковки и штамповки из высокоуглеродистых сталей, а также чугуны и стальные отливки могут подвергаться **термической обработке** (отжигу или нормализации) с целью улучшения их структуры и обрабатываемости на металлорежущих станках.

Основным дефектом сортового проката является искривление оси в результате неравномерности остывания после изготовления. Могут быть также дефекты процесса изготовления (прокатки, отрезки, механической обработки) и транспортировки.

Для устранения искривления заготовок применяют **правку** проката в горячем или холодном состоянии. Для этой цели используют *гидравлические* и *ручные винтовые* прессы, правильно-калибровочные станки и другое оборудование. Наиболее производительной является правка прутков на специальных правильных станках (рис. 81). Схема такого станка показана на рис. 81, б. Правка осуществляется с помощью трех пар роликов 1, 2 и 3, расположенных в барабане 5. Ролики имеют форму гиперболоида вращения. В первой паре 1 ролики расположены друг над другом. Эта пара подает выпрямляемый пруток 4. В парах 2 и 3 ролики

несколько смещены друг относительно друга. Все шесть роликов расположены под углом  $\alpha = 70^\circ$  к оси барабана, который вращается вокруг прутка. При вращении барабана ролики обкатываются вокруг прутка и осуществляют его правку. Скорость поступательного перемещения прутка находится в пределах от 5 до 30 м/мин в зависимости от скорости вращения барабана. Перед поступлением в барабан прутки закрепляются в специальных стойках 6, передвигающихся на роликах 7. Для полной правки иногда необходимо до 5...6 проходов прутка.

Погрешность правки оценивают кривизной, остающейся после правки, отнесенной к 1 м длины заготовки. Так, например, для прутков и заготовок диаметром до 30 мм погрешность составляет около 0,1...0,2 мм.

Правка проката предшествует его резке на мерные заготовки, которые в некоторых случаях также подвергают правке. Правка позволяет уменьшить припуск на последующую механическую обработку заготовки и устранить поломки зажимных механизмов револьверных станков и автоматов. Однако в процессе холодной правки в материале стальной заготовки вследствие наклепа возникают остаточные напряжения, поэтому ее не применяют при изготовлении особо ответственных деталей машин.

Сортовой прокат, поступающий на производство в виде прутков, разрезают на *приводных ножовках*, дисковых или *ленточных пилах*, а также на *токарно-отрезных* и *абразивно-отрезных станках*. В механических цехах разрезание иногда производят на *фрезерных станках* прорезными фрезами.

Резка прутков и труб из высокотвердых, закаленных сталей наиболее эффективна на абразивно-отрезных станках, оснащенных тонкими, толщиной 3...6 мм абразивными кругами на бакелитовой или вулканитовой связках. Благодаря высокой скорости вращения, достигающей до 80 м/с, круги быстро разрезают прутки, образуя ровный срез с шероховатостью  $Ra=3,2...6,3$  мкм. Во избежание пережога торцов

зона резания обильно поливается охлаждающей жидкостью.

Листовой холоднокатаный прокат поступает на производство в *пачках* или *рулонах*. Масса рулонов составляет от 15 до 45 т. Холоднокатаные листы толщиной 0,35...0,50 мм имеют ширину 750...1000 мм и длину 1500...2000 мм.

Перед запуском в производство листы и полосы режут на отдельные куски, называемые раскройными картами. Размеры карт согласуются с размерами готовых деталей.

Разрезку листовой и полосовой стали толщиной до 25мм производят обычно на *гильотинных* и дисковых ножницах, тонкий лист можно разрезать *вибрационными ножницами*. Для разрезания заготовок до 100 мм и выше используют обычно *газовую* или *плазменную резку*.

С целью экономии металла при вырубке заготовок из стального листа на картах раскроя указывают наиболее рациональное их расположение. При этом предусматривается размещение конфигураций заготовок таким образом, чтобы перемычки между ними были по возможности минимальными.

Некоторые примеры раскроя металла для вырубки заготовок на прессах приведены на рис. 82.

В тех случаях, когда к заготовкам особых требований по точности не предъявляют, вырубка может происходить без перемычек. Однако для получения более чистого среза, а также для уменьшения заусенец и коробления полученных заготовок, вырубку рекомендуется вести с перемычками *A* (рис. 82). Ширину перемычек принимают обычно не менее двух толщин исходного металла.

Обработка и контроль деталей типа тел вращения (валов, осей) происходит обычно с использованием в качестве технологических баз центровых отверстий. Поэтому перед обработкой таких заготовок важно выбрать форму и расположение центровых отверстий, существенно

влияющих на точность последующей механической обработки на металлорежущих станках. Наличие центровых отверстий в таких режущих инструментах, как сверла, зенкеры, развертки, метчики и т.п., позволяет не только изготавливать эти инструменты, но и производить их заточку и переточку в период использования.

Следует заметить, что для снижения затрат на изготовление заготовок и повышение производительности труда создаются отдельные цехи или предприятия по централизованному изготовлению и снабжению заготовками машиностроительных предприятий. Это позволяет организовать технологическую специализацию производства и выпускать заготовки широкой номенклатуры высокого качества.

Перед отправкой заготовок потребителям в качестве товарной продукции их грунтуют с целью защиты от коррозии. Для ответственных деталей заготовки сопровождаются сертификатом качества, удостоверяющим соответствие их требованиям действующих стандартов или технических условий.

На некоторых машиностроительных предприятиях во избежание смешивания заготовок в цехах и на складах их маркируют, например, красками различных цветов, буквенным или цифровым обозначением. Это позволяет более упорядоченно хранить заготовки и более быстро подавать их к рабочим местам.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Назовите основные виды заготовок.
2. Назовите основные способы получения отливок, их сущность.
3. Сравните заготовки, полученные различными способами литья.
4. Поясните сущность получения заготовок горячей и холодной штамповкой.
5. Назовите основные виды пластмасс, используемых для получения заготовок и готовых деталей.
6. Назовите основные требования, предъявляемые к заготовкам деталей машин.
7. По каким критериям можно оценить правильность выбора заготовок деталей

машин?

8. Назовите основные дефекты заготовок деталей машин и способы их устранения.

### 5.7 Припуски на механическую обработку

Всякая заготовка изготавливается с припуском на последующую механическую обработку. По ГОСТ 3.1109-82 **припуском** называют слой материала, удаляемый в процессе механической обработки заготовки в целях достижения требуемой точности и качества обрабатываемой поверхности. Припуски измеряются по нормали к обработанной поверхности.

При разработке технологических процессов изготовления детали припуски устанавливают оптимальными, которые обеспечили бы заданную точность и качество обрабатываемой поверхности. Поверхности детали, не подвергающиеся обработке, припусков не имеют.

Установление оптимальных припусков играет важную роль в технологическом процессе изготовления детали. Завышенные припуски снижают экономическую эффективность технологического процесса изготовления детали за счет потерь металла, переводимого в стружку, а также за счет увеличения трудоемкости механической обработки, поскольку удаление лишних слоев металла требует введения дополнительных технологических переходов. Кроме того, увеличивается расход энергии и режущего инструмента, повышаются затраты на обслуживание и ремонт оборудования и, как следствие, увеличивается себестоимость обработки. При увеличенных припусках в некоторых случаях удаляется наиболее износостойкий поверхностный слой обрабатываемой детали (наклеп), что нежелательно, поскольку способствует снижению работоспособности детали.



Достаточно точные заготовки с минимальными припусками позволяют значительно сократить объем механической обработки или ограничить ее в ряде случаев чистовыми или отделочными операциями.

Однако слишком заниженные припуски также нежелательны. Они не обеспечивают возможности удаления дефектных поверхностных слоев металла, включающих в себя вмятины, трещины, раковины, погрешности формы и размеров. Поэтому чрезмерно малые припуски требуют повышения точности заготовок, что затрудняет их разметку и выверку на станках и способствует появлению брака.

В отдельных случаях уменьшение припуска может существенно ухудшить условия работы режущего инструмента, поскольку в зоне резания может оказаться поверхностный дефектный слой с твердой литейной коркой или окалиной.

Различают припуски общие и межоперационные.

*Общий* припуск снимается в течение всего процесса обработки данной поверхности – от размера заготовки до окончательного размера готовой детали. *Межоперационный* припуск удаляют при выполнении одной технологической операции. Общий припуск на обработку равен сумме межоперационных припусков по всему технологическому маршруту механической обработки данной поверхности. Припуск, удаляемый при выполнении одного технологического перехода, называют *промежуточным*. При обозначении припусков используют индекс  $(i-1)$  для обозначения предшествующего перехода и индекс  $i$  для выполняемого перехода. При этом промежуточные припуски для наружных и внутренних поверхностей (рис. 83) рассчитываются по следующим формулам:

$$Z_i = d_{i-1} - d_i, \quad Z_i = d_1 - d_{i-1}.$$

Общий припуск определяется как разность размеров исходной заготовки и готовой детали. От правильного расчета и выбора величины этого припуска зависит себестоимость обработки, расход материала,

качество поверхности и работоспособность детали. Величина задаваемого общего припуска на обработку зависит в основном от точности изготавливаемой детали, масштабов производства, материала обрабатываемой заготовки, способа ее получения, а также от выбранного технологического процесса обработки.

Различают односторонние припуски на обработку, снимаемые с одной стороны детали, и двусторонние, снимаемые с двух сторон.

В свою очередь двусторонние припуски делят на симметричные и асимметричные. Симметричные припуски имеют место при обработке наружных и внутренних поверхностей деталей типа тела вращения (рис. 83), а также при одновременной обработке противоположных плоских поверхностей. Асимметричными считаются припуски противоположных поверхностей, обрабатываемых независимо одна от другой. Асимметричным считается также односторонний припуск, снимаемый при обработке одной поверхности детали, при этом противоположная сторона не обрабатывается.

На величину припуска устанавливают допуск, который является разностью между наибольшим и наименьшим значениями припуска.

Следует отметить, что припуски желательно иметь равномерными, поскольку при значительных колебаниях припусков и при большой разнице в размерах заготовок возникает необходимость в частом переналаживании технологического оборудования на размеры заготовок, что ухудшает условия работы приспособлений и понижает точность обработки.

Различают расчетный припуск (устанавливаемый расчетом) и действительный припуск, фактически удаляемый при обработке заготовки.

Припуски, установленные с учетом правки заготовки до механической обработки, а также рихтовки после каждого вида обработки нежестких или деформируемых деталей, называют **номинальными**.

Номинальные припуски берутся за основу при расчете режимов обработки, сил резания, требуемой мощности станка, трудоемкости обработки, а также силы закрепления заготовки в приспособлениях.

Расчетной величиной является минимальный припуск на обработку, достаточный для устранения на выполняемом переходе погрешностей обработки и дефектов поверхностного слоя, полученных на предшествующем переходе, и компенсации погрешностей, возникающих на выполняемом переходе.

При выполнении каждого технологического перехода возникают погрешности формы и размеров, величина которых зависит от способа обработки, режимов резания, материалов инструмента и обрабатываемой заготовки и других факторов. Поэтому в целях достижения необходимого качества обработки при каждом технологическом переходе необходимо предусматривать припуск, компенсирующий погрешность предыдущего перехода.

В машиностроении применяют два основных метода определения припусков на механическую обработку: опытно-статистический и расчетно-аналитический.

При использовании **опытно-статистического метода** величина припусков назначается по стандартам и справочным таблицам, составленным на основании обобщения и систематизации производственной деятельности многих металлообрабатывающих предприятий. Рекомендуемые в таблицах припуски даны в зависимости от массы и размеров деталей, их конструктивных форм, заданных точности и качества обрабатываемой поверхности.

Многие машиностроительные предприятия и проектные организации имеют свои нормативные таблицы припусков, разработанные ими на основании длительного опыта разработки новых конструкций машин применительно к характеру своего производства.

Основным преимуществом опытно-статистического метода является экономия времени на установление припусков. Однако табличные припуски назначаются без учета конкретных условий построения технологических процессов. Поэтому величины припусков получаются, как правило, завышенными, поскольку выбираются в предположении наихудших условий для каждой из обрабатываемых поверхностей. В условиях производства такие припуски обычно не ориентируют технологов и конструкторов на изыскание путей их уменьшения и на снижение потерь металла в стружку. Поэтому в условиях серийного и массового производства целесообразно пользоваться расчетно-аналитическим методом.

**Расчетно-аналитический метод** определения припусков разработан профессором Кованом В.М. и учитывает конкретные условия выполнения технологического процесса обработки. На основании этого метода общая величина припуска устанавливается путем расчета по его составным элементам. При этом предусматривается, что при каждом технологическом переходе должны быть устранены погрешности предшествующего перехода. В этом случае промежуточный припуск должен быть таким, чтобы при его снятии устранялись погрешности обработки и дефекты поверхностного слоя, полученные на предшествующих технологических переходах, а также погрешности установки обрабатываемой заготовки, возникающие на выполняемом переходе.

В соответствии с этим методом наименьший промежуточный припуск  $Z_{i\min}$  рассчитывается по формуле:

$$Z_{i\min} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + (\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_i),$$

где  $Rz$  – средняя высота микронеровностей;  $h$  – глубина дефектного поверхностного слоя;  $\bar{\rho}$  – суммарное значение пространственных отклонений расположения обрабатываемой поверхности относительно баз заготовки;  $\bar{\varepsilon}$  – погрешность установки заготовки.

Рассмотрим влияние особенностей технологического процесса и служебного назначения детали на выбор перечисленных параметров.

Например, у отливок из серого чугуна поверхностный слой состоит из перлитной корки, наружная зона которого достаточно часто содержит следы формовочной смеси. Этот слой должен быть полностью удален на первом технологическом переходе, что обеспечит последующую нормальную работу инструмента.

Распределительные валы автомобильных двигателей и другие детали отливают с отбеленным поверхностным слоем, имеющим повышенную твердость. В этом случае при дальнейшей обработке этот слой желательно сохранить для повышения износостойкости деталей.

У стальных поковок и штампованных заготовок поверхностный слой характеризуется обезуглероженной зоной, который должен быть полностью удален, поскольку он снижает предел выносливости детали.

Глубина дефектного поверхностного слоя зависит от способа получения заготовки. У поковок, например, дефектный слой составляет от 1,5 до 3 мм, у штамповок и горячекатаного проката – 0,5...1,5 мм, у чугунных и стальных отливок – 1...3 мм.

У деталей, прошедших поверхностное упрочнение, желательно сохранить упрочненный слой в максимальной степени.

Влияние пространственных отклонений на массу металла, снятую в виде припуска, зависит от принятой схемы базирования заготовки. Примерами пространственных отклонений могут служить отклонение от соосности растачиваемого отверстия заготовок втулок, дисков, гильз относительно наружной (базовой) поверхности; отклонение от соосности протачиваемых ступеней базовым шейкам или линии центровых гнезд заготовок ступенчатых валов; отклонение от перпендикулярности торцевой поверхности оси базовой цилиндрической поверхности заготовки; отклонение от параллельности обрабатываемой и базовой

поверхностей заготовок корпусных деталей.

При обработке партии заготовок на предварительно настроенном станке из-за наличия погрешности установки обрабатываемая поверхность занимает различное положение. Нестабильность положения обрабатываемой поверхности должна быть компенсирована дополнительной составляющей  $\varepsilon_i$ , включающей погрешности базирования, закрепления и положения.

При односторонней обработке векторы  $\rho_{i-1}$  и  $\varepsilon_i$  параллельны, следовательно, при несимметричной обработке плоскостей формула для расчета припуска имеет вид

$$Z_{i \min} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i.$$

При обработке наружных и внутренних поверхностей тел вращения векторы  $\rho_{i-1}$  и  $\varepsilon_i$  могут принимать любое направление (любое угловое положение), поэтому их сумма определяется как

$$(\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_i) = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}.$$

Следовательно, для тел вращения формула для расчета припуска принимает вид

$$2Z_{i \min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}).$$

При точении цилиндрической поверхности заготовки, установленной в центрах, погрешность  $\varepsilon_i$  может быть принята равной нулю. Тогда величина припуска может быть определена по условию

$$2Z_{i \min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1}).$$

При шлифовании заготовок после поверхностного упрочнения поверхностный слой по возможности необходимо сохранить, следовательно, слагаемые  $h_{i-1}$  нужно из расчетной формулы исключить. Тогда

$$Z_{i \min} = Rz_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i,$$

$$2Z_{i \min} = 2(Rz_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}).$$

При отделочно-доводочных методах обработки (суперфинишировании и полировании) цилиндрической поверхности, когда уменьшается лишь шероховатость поверхности, припуск определяется только высотой микронеровностей обрабатываемой поверхности, т.е.

$$2Z_{i \min} = 2Rz_{i-1}.$$

Расчет межоперационных припусков и предельных размеров обрабатываемых поверхностей по операциям ведут в определенной последовательности: вначале определяют базовые поверхности и порядок выполнения технологических операций, затем значения  $Rz$ ,  $h$ ,  $\rho$  и  $\varepsilon$ , после чего рассчитывают размеры припусков по всем операциям.

Для наглядности расположение операционных припусков и допусков при обработке наружных и внутренних цилиндрических поверхностей удобно изображать графически в виде схем, показанных на рис. 84 и 85.

Положительная часть допуска на заготовку для вала и отрицательная для отверстия в общий суммарный припуск не входят, но должны приниматься во внимание при определении режимов резания при обдирке.

Следует отметить, что расчетно-аналитические методы определения припусков ввиду их сравнительной сложности и необходимости использования различных коэффициентов, принимаемых на основании опыта, в практике конструирования широкого применения не находят.

Справочные данные для определения припусков обычно разрабатывают по отраслям машиностроения в виде нормативных таблиц с учетом способов обработки, вида заготовок, требуемой точности и других производственных и технологических факторов. Эти нормативы периодически пересматривают по мере развития техники и повышения уровня технологии производства.

### Вопросы для самопроверки

1. Дать определение припуска на обработку.
2. Пояснить технико-экономическое значение величины припуска.
3. Пояснить сущность расчетно-аналитического метода определения припуска на обработку.
4. По каким общим формулам определяют минимальный припуск на обработку?
5. Какие способы получения заготовок позволяют снизить объем обработки резанием?

## **Раздел 6 Технологические процессы сборки**

### **6.1 Классификация сборочных работ**

**Общие сведения о сборке.** Сборка является завершающей стадией изготовления машин и механизмов, во многом определяющей эксплуатационную надежность и долговечность изделия. Именно в процессе сборки сходятся результаты труда конструкторов и технологов по созданию новой машины. Объем сборочных работ на нынешнем уровне машиностроительного производства значителен и составляет в общей трудоемкости изготовления изделия: в массовом и крупносерийном производствах 20...25%, в серийном – 25...35%, в единичном и мелкосерийном – 40...50%.

В различных отраслях машиностроения доля сборочных работ различна. Например, в тяжелом машиностроении трудоемкость сборки составляет 30...35% от общей трудоемкости изготовления изделия, в станкостроении – 25...30%, в автомобилестроении – 18...20%, в приборостроении – до 45%.

Следует отметить, что основную часть сборочных работ (до 50...80%) составляют ручные слесарно-сборочные работы, требующие иногда больших затрат физического труда и высокой квалификации



исполнителей. Поэтому экономические показатели предприятия во многих случаях зависят от трудоемкости сборочного производства, а проблема повышения качества и производительности сборки является одной из важнейших проблем научно-технического прогресса современного машиностроения.

Машина состоит из отдельных самостоятельных сборочных единиц, называемых иногда узлами. Под *узлом* при этом понимают часть машины, состоящую из нескольких деталей, которую можно собрать самостоятельно, отдельно от других элементов машины. Узел может быть составлен из нескольких простых подузлов, связанных между собой посредством крепежных деталей. Узловая конструкция машины позволяет сократить продолжительность ее общей сборки благодаря параллельному изготовлению всех или большинства сборочных единиц.

*Сборочная единица* в зависимости от конструкции может состоять либо из отдельных деталей, либо включать сборочные единицы более высоких порядков и детали. В связи с этим различают сборочные единицы первого, второго и более высоких порядков. Сборочная единица первого порядка входит непосредственно в изделие. Она состоит либо из отдельных деталей, либо из одной или нескольких сборочных единиц второго порядка и деталей. Сборочная единица второго порядка расчленяется на детали или сборочные единицы третьего порядка и детали и т.д. Сборочная единица наивысшего порядка расчленяется только на детали. Рассмотренное деление изделия на составные части производится по технологическому признаку.

Иногда изделие расчленяется на составные части по функциональному признаку. В двигателе внутреннего сгорания, например, выделяют механизм газораспределения, систему смазки, систему охлаждения. Эти составные части двигателя не являются сборочными с технологической точки зрения, так как их невозможно обособленно и

полностью собрать отдельно от других элементов изделия. Деление изделия на составные части и оформление чертежей и других технических документов в машиностроении дано в ГОСТ 2.101-68.

*Технологический процесс сборки* – это часть производственного процесса, непосредственно связанная с соединением деталей в определенной технологически и экономически целесообразной последовательности для получения сборочных единиц и изделий, полностью удовлетворяющих установленным для них требованиям.

Процесс сборки складывается из ряда операций по соединению сопряженных деталей в узлы, а узлов в машину. При этом под *сборочной операцией* понимают часть технологического процесса сборки, выполняемую на одном рабочем месте, одним рабочим или бригадой над одной сборочной единицей.

Часть операции, выполняемая определенным видом соединения при неизменном инструменте называется переходом; часть операции, выполняемая при неизменном положении приспособления – позицией.

К технологическому процессу сборки относятся также операции, связанные с проверкой правильности действия сборочных единиц и деталей, последовательности включения отдельных механизмов, правильности работы смазочной системы и др.

Следует отметить, что высокая надежность и долговечность машины не всегда зависят от того, насколько удачной является ее конструкция, как полно использованы для изготовления деталей новые конструкционные материалы, насколько правильно выполнены расчеты деталей на прочность и др. Не могут однозначно гарантировать эксплуатационные показатели машины высокое качество и точность изготовления ее деталей.

При соблюдении отмеченных выше условий достижение заданных эксплуатационных показателей машины можно лишь при условии высококачественной сборки и регулировки как машины в целом, так и

отдельных ее узлов. Это объясняется тем, что в процессе сборки вполне годных деталей и узлов могут возникать различные погрешности их взаимного расположения, существенно снижающие точность и служебные характеристики собираемого изделия.

Основными причинами, которые могут вызвать возникновение погрешностей при сборке, могут быть: образование задиров на сопрягаемых поверхностях деталей; деформации деталей при их установке и закреплении; неправильная установка калибров и измерительных средств, применяемых при сборке, а также собственные погрешности измерительных средств; попадание грязи и стружки между сопрягаемыми поверхностями; нарушение правильной последовательности затяжки болтовых соединений; непостоянство усилий затяжки и др.

**Размерные цепи.** В процессе сборки детали должны располагаться друг относительно друга с определенной точностью. Точность сборки во многом определяет качество изготавливаемых отдельных сборочных единиц и машины в целом.

Основные требования к технологическому процессу сборки можно свести, как правило, к соблюдению точности взаимного положения деталей и узлов, к обеспечению заданных видов перемещений деталей относительно друг друга и к соблюдению других требований точностных характеристик (например, уравновешенности вращающихся деталей, соосности, перпендикулярности поверхностей и осей и др.).

Качество изготовления и сборки деталей во многом зависит от правильной постановки размеров на рабочих и сборочных чертежах. Размеры деталей в собранном изделии находятся в определенной взаимосвязи. Изменение одного из размеров этой взаимосвязанной группы оказывает влияние на один или несколько других размеров.

Положение деталей и сборочных единиц относительно друг друга определяется главным образом выбором допусков и посадок. Точность

взаимного расположения отдельных деталей в машине и рациональная величина допусков на размеры достигается расчетом размерных цепей.

**Размерной цепью** называют замкнутую цепь взаимно связанных размеров, расположенных в определенной последовательности, определяющих взаимное положение поверхностей и осей двух или нескольких деталей. Все размеры деталей, образующих размерную цепь, называются *звеньями*. Звеньями размерной цепи обычно являются расстояния между поверхностями или осями, длины шеек или диаметры. Все звенья размерной цепи подразделяют на замыкающие и составляющие.

*Замыкающим* называют такое звено, по номинальному размеру и допуску которого рассчитывают величины номинальных размеров и допуски всех остальных звеньев цепи. Замыкающее звено получается последним при обработке или сборке. Оно накапливает все погрешности обработки размеров, входящих в размерную цепь.

Звенья размерной цепи, изменение которых вызывает изменение замыкающего звена, называются *составляющими*. По размерам составляющих звеньев определяют замыкающее звено. Составляющие звенья подразделяют на увеличивающие, с возрастанием которых увеличивается замыкающее звено и уменьшающие, с возрастанием которых замыкающее звено уменьшается.

Все звенья одной размерной цепи обозначают прописными буквами русского алфавита с цифровым индексом, показывающим порядковый номер звена, например  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  и т.д. Замыкающее звено в отличие от других звеньев обозначается индексом  $\Delta$  с соответствующей буквой, например  $A_\Delta$ .

В качестве простейшего примера рассмотрим работу ролика, изображенного на рис. 86, а. Для нормальной работы ролика необходимо обеспечить зазор  $A_\Delta$ . На величину этого зазора влияют размеры  $A_1$  и  $A_2$ . Номинальный размер замыкающего звена размерной цепи должен быть

равен алгебраической сумме номинальных размеров всех остальных составляющих звеньев данной цепи. При этом номинальные размеры увеличивающих звеньев берутся со знаком «плюс», а уменьшающих – со знаком «минус». Для рассматриваемого примера замыкающим звеном будет зазор  $A_{\Delta}$ :

$$A_{\Delta} = A_1 - A_2,$$

где  $A_1$  и  $A_2$  – номинальные размеры составляющих размерную цепь звеньев.

Для наглядности и упрощения размерные цепи иногда изображают в виде схемы (рис. 86, б). Линию  $ОО$  принимают за базу (начало отсчета). При построении размерных цепей имеющиеся в конструкции зазоры рассматривают как самостоятельные звенья цепи.

Допуск замыкающего звена размерной цепи равен сумме допусков всех составляющих звеньев.

Требуемая точность замыкающего звена размерной цепи при сборке машины может быть достигнута различными методами, изложенными ниже.

**Методы сборки машин.** В зависимости от типа производства, конструкции изделия, условий производства в машиностроении используются следующие методы сборки, позволяющие достичь требуемой точности замыкающего звена: сборка с полной, неполной и групповой взаимозаменяемостью деталей, сборка с пригонкой деталей по месту и с регулированием отдельных соединений, составляющих сборочную единицу.

*Метод полной взаимозаменяемости* предусматривает сборку изделий без какой-либо дополнительной обработки и подгонки деталей в процессе сборки. Основными факторами, обуславливающими использование этого метода, является необходимость обработки большого количества деталей с заданной степенью точности, т.е. в пределах заданных допусков на обработку. Такая обработка предполагает использование сложной и дорогостоящей технологической оснастки и контрольно-измерительных

инструментов, что экономически оправдано лишь в крупносерийном и массовом производстве.

При сборке с *неполной взаимозаменяемостью* на размеры деталей, составляющих размерную цепь, преднамеренно устанавливаются несколько большие допуски, чем при расчете на полную взаимозаменяемость. При этом изготовление деталей будет более экономично. В основе метода лежит положение теории вероятности, согласно которому крайние значения погрешностей, составляющих звеньев размерной цепи встречаются значительно реже, чем средние значения. Такая сборка целесообразна в серийном и массовом производствах при многозвенных цепях. При этом процент сборочных единиц, которые возможно не будут отвечать техническим требованиям, может быть установлен заранее при расчете допусков на детали.

*Метод групповой взаимозаменяемости* предусматривает сортировку деталей, изготовленных с более широким полем допуска, на несколько групп. Тогда определенная группа допуска охватывающей поверхности собирается с той же группой охватываемой. В этом случае при сборке обеспечивается заданная степень подвижности сочленения без дополнительной пригонки. Такую сборку называют иногда *селективной*.

Метод групповой взаимозаменяемости применяют при сборке соединений высокой точности, когда точность сборки практически недостижима методом полной взаимозаменяемости (например, шарикоподшипники) или другими методами. При этом обеспечиваются одинаковые зазоры или натяги и необходимая точность соединения, определяемая эксплуатационными требованиями. Применяют этот метод сборки в крупносерийном и массовом производстве.

Недостатками данной сборки являются: дополнительные затраты на сортировку деталей по группам в зависимости от их размеров и на организацию хранения и учета деталей. Кроме того, усложняется работа

планово-диспетчерской службы, поскольку требуется четкая организация сортировки деталей и их доставка к местам сборки. Усложняется также ремонт машин в связи с возрастанием номенклатуры запасных частей пропорционально числу размерных групп.

В серийном производстве детали сортируют на размерные группы с помощью калибров, а в массовом производстве – с помощью сортировочных автоматов.

*Метод сборки с пригонкой деталей* по месту состоит в том, что на одной из сопрягаемых деталей допуск выходит за пределы установленных величин, а требуемый зазор в сопряжении достигается за счет индивидуальной пригонки этой детали путем снятия излишнего слоя металла, например, шабрением, опиловкой, притиркой и др. К недостаткам сборки с пригонкой следует отнести сравнительно высокую трудоемкость пригоночных работ, достигающую иногда до 40...50%, а в тяжелом машиностроении до 85% общей трудоемкости сборки машины, что обуславливает значительную потребность предприятия в слесарях-сборщиках высокой квалификации. Кроме того, имеют место трудности в определении реальной трудоемкости пригоночных работ, что усложняет планирование производства и установление технически обоснованных норм выработки на сборочные работы. Применяют этот метод сборки в единичном и мелкосерийном производствах.

Сборка с *регулированием* применяется в тех случаях, когда определенное положение (зазор, размер и т.п.) требуется сохранить в процессе эксплуатации. При этом требуемая точность сборки обеспечивается установкой дополнительных деталей – так называемых компенсаторов (регулировочных прокладок, винтов, колец, втулок и т.п.). Преимущество этого метода заключается в возможности восстановления первоначальной работоспособности изношенных сочленений, что осуществляется обычно в период плановых технических обслуживаний и ремонтов.

**Характеристика соединений деталей машин.** При сборке машин основным видом работ является выполнение различных соединений деталей. Собранные соединения деталей машин могут быть *подвижными и неподвижными*. В первом случае собранное соединение допускает возможность одной детали перемещаться относительно другой. В неподвижном соединении взаимное положение деталей сохраняется неизменным.

В свою очередь как подвижные, так и неподвижные соединения выполняют разъемными и неразъемными. Разъемными называют соединения, которые в случае необходимости могут быть разобраны без повреждения сопряженных или крепежных деталей. Разборка неразъемных соединений деталей в период эксплуатации не предусматривается, так как разъединение деталей может привести к их повреждению или полному разрушению. К неподвижным разъемным соединениям относят резьбовые, шпоночные, шлицевые и конические соединения. Неподвижные неразъемные соединения выполняют с гарантированным натягом или же сваркой, пайкой, клепкой и склеиванием.

К подвижным разъемным соединениям относят соединения с подвижными посадками, а к подвижным неразъемным – подшипники качения, втулочно-роликовые клепаные цепи, запорные краны и др.

Вместо цилиндрических часто применяют неподвижные конические соединения, поскольку они обеспечивают более точное центрирование. В этом случае плотность соединения обеспечивается чаще всего затяжкой охватывающей детали на конус вала.

Резьбовые соединения осуществляются с помощью болтов, винтов и шпилек. Трудоемкость сборки резьбовых соединений в массовом производстве составляет 25...40% общей трудоемкости сборочных работ.

**Организационные формы сборки.** По виду производственного процесса сборка может быть поточной и непоточной, каждую из которых



разделяют на подвижную и стационарную. Выбор организации сборочного процесса зависит от его трудоемкости, производственной программы, типа производства и конструктивных особенностей собираемого изделия.

*Поточную подвижную* сборку осуществляют с периодическим и непрерывным движением собираемого объекта. При большом числе подлежащих изготовлению изделий или их сборочных единиц необходимо выяснить экономичность использования поточной сборки. Подвижную сборку с непрерывным перемещением собираемого изделия применяют при достаточной жесткости и сравнительно небольшой массы базирующей детали.

При *непоточной стационарной* сборке все сборочные операции выполняются на одном рабочем месте, называемом рабочим постом. В зависимости от конструкции машины сборку можно производить на необорудованной площадке, на специальных сборочных стендах, на фундаментах и пр. Стационарная сборка может быть осуществлена без расчленения сборочных работ (по принципу концентрации) и с расчленением (по принципу дифференциации). В первом случае изделие полностью от начала и до конца собирается на одном рабочем месте, одним рабочим. По принципу расчленения операций изделия собирают параллельно на нескольких рабочих местах бригадой рабочих, при этом отдельные члены бригады специализируются на выполнении определенных сборочных операций.

При непоточной стационарной сборке, особенно в случае значительной программы выпуска, увеличивается продолжительность цикла сборки изделия, так как рабочие в большинстве случаев вынуждены работать последовательно, необходимы большие производственные площади для организации сборочного участка, требуется много инструментов и приспособлений, а сборочные работы должны выполнять рабочие высокой квалификации. Кроме того, ввиду особенностей этого

метода (наличие большого объема пригоночных работ) затруднено планирование производства. Применяют этот метод сборки в опытном производстве, при сборке уникальных машин и приборов, в тяжелом машиностроении.

Неподвижность объекта позволяет свести к минимуму влияние на точность изделия упругих деформаций при недостаточной жесткости базирующей детали.

Для облегчения труда рабочие места или стенды обычно оборудуют универсальными приспособлениями и подъемно-транспортными средствами. Трудности организации ритмичной работы при работе бригадой обусловлены изменениями трудоемкости, цикла сборки, что порождает неравномерность ритма выпуска изделий. С увеличением числа собираемых объектов целесообразно использовать непоточную подвижную сборку.

При *непоточной подвижной* сборке собираемое изделие последовательно перемещается от одного рабочего места к другому, на каждом из которых выполняют определенную операцию, т.е. имеет место максимальное расчленение сборочного процесса. Сборочные операции на каждом рабочем месте выполняют рабочий или бригада рабочих. Объект сборки перемещается самим исполнителем работы, например, по рольгангу, на сборочных тележках, на подвесных монорельсовых путях и т.п. При такой сборке значительно изменяется продолжительность операции, в связи с чем предусматривают межоперационные заделы.

Рабочие места оборудуют верстаками, стеллажами для сборочных единиц и деталей, монтажно-сборочными и контрольно-измерительными инструментами, транспортными средствами. Этот вид сборки экономично использовать в серийном производстве.

*Поточная стационарная* сборка характеризуется тем, что собираемые изделия остаются на рабочих местах, а рабочие одновременно

переходят от одних собираемых изделий к другим через определенные промежутки времени. При этом каждый рабочий выполняет определенную операцию.

Основным преимуществом поточной стационарной сборки является работа с установленным тактом выпуска, что позволяет достигнуть высокого ритма выпуска изделий, короткого цикла сборки, высокой производительности труда. Применяют этот вид сборки при производстве изделий, отличающихся недостаточной жесткостью базирующихся деталей, большими размерами и массой (например, автобусы, тяжелые станки и т.п.).

*Поточная подвижная сборка* характеризуется тем, что собираемый объект перемещается непрерывно или периодически через равные промежутки времени. Сборочные операции, закрепленные за каждым рабочим местом, должны иметь примерно одинаковую трудоемкость, а скорость движения конвейера должна согласовываться со временем, которое отводится рабочему для выполнения его операций. В этом случае длительность любой сборочной операции на конвейере будет примерно равна такту выпуска.

Преимуществами поточной подвижной сборки по сравнению с другими являются более высокая производительность труда, более рациональное использование производственных площадей, более высокий уровень качества выпускаемой продукции. Кроме того, точно рассчитанный и заданный скоростью движения конвейера такт сборки может быть положен в основу планирования не только сборочного, но и других цехов предприятия, что значительно упрощает планирование производства в целом, учет и управление.

К преимуществам этого вида сборки следует отнести и то, что максимально расчлененный сборочный процесс не требует высококвалифицированных рабочих, так как закрепление за исполнителем

одной или небольшого количества операций позволяет ему в сравнительно короткие сроки приобрести необходимые навыки и умения.

Рабочие места, участвующие в сборке узла или машины и расположенные вдоль конвейера в соответствии с последовательностью операций технологического процесса сборки называют поточной линией. Собираемое изделие при этом передвигается от одного рабочего места к другому механическим транспортным средством. Скорость движения сборочных конвейеров непрерывного действия от 1 до 5 м/мин, а конвейеры с периодическим движением перемещают изделие к следующему рабочему месту со скоростью 5...6 м/мин.

В случае сборки с непрерывным перемещением собираемого объекта рабочий проводит сборку, перемещаясь со скоростью движения конвейера на длину сборочной позиции, а затем возвращается в исходное положение. В связи с этим скорость движения конвейера лимитируется физиологическими возможностями человека.

Главным условием организации поточной сборки является обеспечение полной взаимозаменяемости собираемых узлов и отдельных деталей, входящих в поточную сборку. Пригоночные работы, если они необходимы, должны выполняться вне общей сборки на операциях предварительной сборки.

Одной из сложных проблем организации поточной подвижной сборки является проблема операционного контроля качества сборки и обеспечение исправления обнаруженных дефектов без нарушения установленного ритма сборки.

Поточную подвижную сборку используют в крупносерийном и массовом производстве.

Конструкция собираемого на потоке изделия должна быть достаточно технологичной. При этом технологичным с точки зрения сборки считается изделие, которое можно собирать из отдельных сборочных единиц.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Дать определение технологическому процессу сборки. Пояснить структуру процесса сборки.
2. Пояснить причины, вызывающие возникновение погрешностей при сборке.
3. Пояснить каким образом достигается требуемая точность сборки с помощью анализа размерных цепей.
4. Пояснить технологические методы сборки машин.
5. Дать характеристику соединений деталей машин.
6. Пояснить основные организационные формы сборки машин. Дать им сравнительную характеристику.

## **6.2 Сборка типовых соединений и передач**

### **6.2.1 Сборка неподвижных разъемных соединений**

**Резьбовые соединения.** Качество сборки резьбовых соединений зависит от многих факторов, основными из которых являются точность и качество изготовления резьбы, правильность затяжки болтов и гаек, марка материала крепежных деталей, а также правильность конструкции резьбового соединения. Ось болта должна быть обязательно перпендикулярна торцевым поверхностям соединяемых деталей, в противном случае перекос оси может привести к обрыву болта или срыву резьбы у гайки.

В зависимости от условий нагружения различают соединения без предварительной затяжки и с предварительной затяжкой. Большинство резьбовых соединений собирают с предварительной затяжкой. В этом случае процесс сборки состоит из операций установки резьбовых деталей и их наживления, навинчивания (ввертывание) на основную часть длины резьбового элемента, предварительной затяжки, окончательной затяжки, проверки затяжки и стопорения резьбовых деталей (если предусмотрено

конструкцией).

Наживление производят от руки на одну-две нитки. Для лучшего направления на резьбовых деталях выполняют фаски, заточки и выточки. Навинчивание в зависимости от диаметра и плотности резьбы производят от руки или с использованием ручных инструментов. Важным этапом сборки является затяжка резьбового соединения, от качества которой зависит надежность работы соединения. Для выполнения затяжки используют различные ручные инструменты, предельные (тарированные) и динамометрические ключи. Предельные ключи выключаются при достижении заданного момента затяжки. Динамометрические ключи указывают величину прикладываемого момента затяжки на специальной шкале. Конструкция динамометрического ключа показана на рис. 87. Эти ключи работают по принципу изгиба консольно закрепленного упругого стержня, прогиб конца которого пропорционален величине прикладываемого к рукоятке усилия (закон Гука).

По сравнению с предельными динамометрические ключи обеспечивают более высокую точность затяжки. В диапазоне больших моментов точность затяжки составляет  $\pm 5\%$ . С уменьшением момента точность снижается.

К простейшим ручным инструментам относятся отвертки, обычные и накидные гаечные ключи. Эти ключи пригодны для открытых доступных мест, но малопроизводительны. Длина рукоятки гаечного ключа принимается не более 15 диаметров резьбы. Такая длина обеспечивает нормальную затяжку и исключает возможность срыва резьбы. Торцовые ключи с воротковой рукояткой (рис. 88, а) пригодны для крепежных деталей, расположенных в углублениях или окруженных выступающими элементами. По сравнению с обычными ключами использование торцовых ключей повышает производительность в 3...5 раз. Торцовые ключи коловоротного типа (рис. 88, б) позволяют завертывать крепежные детали

непрерывно (без перехвата рукоятки), что повышает производительность завертывания в 5...10 раз. Для труднодоступных мест применяются шарнирные торцовые ключи (рис. 88, в), а также торцовые трещеточные ключи (рис. 88, г). Завертывание крепежных деталей трещеточным ключом производят качательными движениями рукоятки ключа.

Завертывание шпилек производят специальными ключами с захватом за гладкую или резьбовую часть. В единичном или серийном производстве применяют специальные ручные приспособления (ключи). На рис. 89, а показан ключ, наворачиваемый на резьбовой конец шпильки. Для свертывания ключа с затянутой шпильки угол наклона спиральных прорезей 1 должен быть больше угла подъема резьбы шпильки. Ключ с захватом шпильки за гладкую поверхность показан на рис. 89, б. В этом случае захват происходит за счет роликов 1, которые заклиниваются в спиральных канавках корпуса 2. В массовом производстве применяют электро- или пневмошпильковерты с самораскрывающимися головками (рис. 89, в).

Затяжку болтов и резьбовых шпилек большого диаметра часто производят термическим способом. В этом случае стержень болта нагревают до определенной температуры, используя газовые горелки или электрические нагреватели. После этого гайку затягивают ручным ключом, прилагая небольшой момент. При охлаждении стержень болта сокращается, обеспечивая необходимую силу затяжки. Температуру нагрева и величину необходимого удлинения болта, которые указываются в технических условиях или определяются по заданной силе затяжки соединения, легко рассчитать по коэффициенту линейного расширения материала болта.

Затяжку резьбового соединения рекомендуется производить в определенной последовательности (рис. 90) постепенно в два-три приема. Сначала следует затянуть все гайки на одну треть, затем на две трети и, наконец, на полную величину момента. При прямоугольной форме

соединяемых деталей затягивание винтов и гаек следует начинать с середины. Гайки, расположенные по окружности, следует затягивать крест-накрест. Затяжка в произвольном порядке может вызвать коробление или перекос закрепляемой детали.

В технических условиях на выполнение сборочных работ указывают силу или момент затяжки резьбовых соединений (резьбовых, винтовых, шпилечных), последовательность затяжки крепежных деталей в групповом соединении, плотность и герметичность соединения, а также метод стопорения крепежных деталей.

Для обеспечения герметичности более тщательно обрабатывают резьбу и торцевые поверхности, а также используют прокладки из сравнительно мягкого материала (отожженной меди, паронита и др.). Резьбу заглушек при необходимости уплотняют какой-нибудь краской.

Во время работы машины резьбовые соединения могут самопроизвольно ослабляться. Для предохранения гаек от самоотвинчивания их стопорят различными методами. При стопорении контргайкой (рис. 91, а) ее затягивают до плотного соприкосновения с торцом основной гайки. Стопорение резьбовых деталей ответственного назначения, а также деталей, расположенных внутри закрытых картеров и корпусов, предпочтительно производить шплинтами или проволоочной обвязкой (рис. 91, б, в, г). После достижения заданного момента затяжки необходимое совмещение прорези в корончатой гайке с отверстием под шплинт обеспечивают только дальнейшим доворотом гайки. При стопорении проволокой ее вводят в отверстие головок винтов так, чтобы после стягивания создавалось усилие в направлении завинчивания резьбы.

Надежное стопорение наружных крепежных деталей достигают подкладыванием под гайки и головки винтов упругих (пружинных) разрезных шайб (рис. 91, д). Развод концов этих шайб в осевом направлении должен быть в свободном состоянии не менее полуторной их



толщины.

Винты, соединяющие детали из мягкого металла или незакаленных сталей, стопорятся накерниванием (рис. 91, е).

Для стопорения винтов в глухих отверстиях рекомендуется в отверстие вставлять пружину (рис. 91, ж), которая после затягивания винта, сжимаясь, создает натяг, препятствующий самоотвинчиванию.

Надежное стопорение и герметизацию соединений обеспечивают использованием резьбообразующих винтов (саморезов). Эти винты применяют в соединениях деталей из тонколистового металла. Ввертыванием винта в гладкое отверстие получают плотное резьбовое соединение, хорошо работающее в условиях вибраций.

Контроль качества сборки резьбовых соединений производят обычно в процессе сборки путем проверки осевой силы или момента затяжки. Визуально проверяют наличие крепежных деталей в собранном соединении, выявляют возможность их повреждения, а также контролируют последовательность затяжки резьбовых деталей в групповом соединении по ходу его сборки. Наиболее точный метод контроля осевой силы затяжки заключается в измерении удлинения болта (или резьбовой шпильки) посредством микрометрических скоб, микрометров или индикаторных устройств. Измерения производят с точностью до 0,01 мм. Применяют этот метод контроля для ответственных резьбовых соединений при отношении длины болта к его диаметру более 10.

**Шпоночные и шлицевые соединения.** В *шпоночных соединениях* используют клиновые, призматические и сегментные шпонки. Требуемая точность сборки шпоночных соединений обеспечивается изготовлением их элементов с допусками. Вследствие того, что посадки в пазах вала и охватывающей детали различны, размеры шпонок выполняют в системе вала. При сборке шпоночного соединения с клиновой шпонкой ось охватывающей детали смещается относительно оси вала на величину

посадочного зазора, что вызывает ее радиальное биение. В соединениях с призматическими или сегментными шпонками сборку шпонки с валом осуществляют с натягом, применяя мягкие и протектированные молотки, струбцины или прессы. Между верхней плоскостью шпонки и дном паза охватывающей детали должен быть зазор, в этом случае она будет центрироваться по шейке вала.

Шпонку в паз охватывающей детали устанавливают плотно в тех случаях, когда охватывающая деталь, передавая крутящий момент, должна свободно перемещаться вдоль оси вала.

Возможны следующие погрешности установки шпонки: неодинаковая высота выступающей части шпонки по ее длине, несимметричное расположение и перекося оси шпонки по отношению к оси вала и ненормальная высота шпонки.

После сборки шпоночное соединение можно контролировать путем покачивания охватывающей детали на валу, перемещением ее вдоль вала, а также проверкой биения охватывающей детали.

*Шлицевые соединения* обеспечивают более точное центрирование, повышенную прочность при тех же габаритах, что и соединения со шпонкой. Шлицы на валу фрезеруются, а пазы отверстия протягиваются. По форме профиля различают соединения с прямоугольным, эвольвентным и треугольным профилем шлицев. В соединениях с прямоугольным профилем центрирование может происходить по боковым граням шлицев, по наружным или внутренним поверхностям вала. Более высокая точность достигается при центрировании по внутренним поверхностям вала. Однако при центрировании по боковым граням происходит более равномерное распределение нагрузки по шлицам. Поэтому его следует применять при передаче значительных крутящих моментов.

В зависимости от посадки центрирующих поверхностей шлицевые соединения бывают подвижные, легкоразъемные и тугоразъемные. В

подвижных легкоразъемных соединениях охватывающие детали устанавливают на место небольшими усилиями или от руки. Так как в таких соединениях имеются небольшие зазоры, то после сборки охватывающие детали проверяют покачиванием. В правильно собранном соединении покачивание или относительное смещение охватывающей и охватываемой детали под действием ручных усилий недопустимы.

Неподвижные *конические соединения* часто применяют взамен цилиндрических, так как они обеспечивают хорошее центрирование. Плотность посадки и необходимый натяг в коническом соединении осуществляют в результате напрессовки охватывающего конуса на охватываемый. Сборку конусного соединения начинают с подбора охватывающей детали по конусу вала. Конусность соединения находится в пределах 1:15.

При сборке конических соединений, затягиваемых гайкой, применяют предельные и динамометрические ключи или контролируют глубину запрессовки.

### **6.2.2 Сборка неподвижных неразъемных соединений**

К неразъемным относятся соединения, выполняемые с гарантированным натягом, развальцовкой и отбортовкой.

**Соединения с гарантированным натягом.** Эти соединения осуществляют ударами ручника (запрессовка штифтов, заглушек, небольших втулок), на различных прессах или путем теплового воздействия на сопрягаемые детали. Надежность прессовых соединений зависит главным образом от величины натяга. С повышением шероховатости посадочных поверхностей сопрягаемых деталей прочность соединений возрастает. Однако при большой высоте микронеровностей часть их при запрессовке сминается и фактически получаемый натяг

уменьшается. Поэтому шероховатость сопрягаемых поверхностей назначают в пределах 6...8-го класса.

С помощью сравнительно небольших механических усилий собирают соединения с небольшим натягом (до 0,001d). Для облегчения сборки и уменьшения сминания (шабровки) неровностей контактных поверхностей рекомендуется конец вала и край отверстия слегка закруглять.

Для предупреждения задиров поверхностей и уменьшения сил запрессовки применяют различные минеральные масла и твердые смазки (например, дисульфит молибдена или графит). Скорость запрессовки не превышает 5...7 м/с. Наибольшая прочность достигается при малых скоростях (до 3 м/с). В случае разборки соединений с гарантированным натягом применяют различные съемники; в конструкциях деталей для облегчения демонтажа предусматривают соответствующие элементы.

В качестве оборудования для запрессовки и распрессовки наиболее часто применяют механические, гидравлические и пневматические прессы. Мощность прессов выбирают по силе распрессовки с коэффициентом запаса 1,5...2,0.

Качество соединений с гарантированным натягом контролируют по величине силы запрессовки. При сборке ответственных соединений (например, колесных пар подвижного состава) снимают диаграмму изменения силы запрессовки, которая является паспортом этого соединения. Для проверки качества соединения может быть применен ультразвуковой метод контроля. С помощью этого метода можно обнаружить места с заниженным удельным давлением или с зазорами.

Сборку с помощью температурных деформаций осуществляют нагревом охватывающей детали или охлаждением охватываемой. Нагрев деталей осуществляют в кипящей воде, в масляных ваннах (110...130°C), индукционным методом или с помощью газовых горелок. Более равномерный нагрев достигается в жидкой среде.

Нагрев крупногабаритных деталей затруднен; в этих случаях сборку соединений осуществляют охлаждением охватываемых деталей. Сборка с охлаждением имеет ряд преимуществ перед сборкой с нагревом. При охлаждении не изменяется исходная структура и свойства металла.

Температура охлаждения охватываемой детали может колебаться от нескольких десятков градусов до температуры жидкого азота ( $-196^{\circ}\text{C}$ ). На практике в качестве охлаждающих сред используют твердую углекислоту (температура испарения  $-79^{\circ}\text{C}$ ), жидкий азот (температура испарения  $-96^{\circ}\text{C}$ ), а также твердую углекислоту со спиртом (температура испарения около  $-100^{\circ}\text{C}$ ).

**Соединения развальцовыванием и отбортовкой.** Эти соединения основаны на пластическом деформировании одной их сопрягаемых деталей, поэтому свойства металла имеют существенное значение для получения качественного соединения. Развальцовыванием и отбортовкой получают плотные и герметичные соединения, способные передавать осевую нагрузку и крутящий момент.

Развальцовывание осуществляется на сверлильных и специальных станках, а также вручную. В качестве инструмента применяют пуансоны различных форм, роликовые и шариковые вальцовки. При развальцовывании цилиндрических поверхностей труб и кольцевых углублений применяют вальцовки с радиальной подачей роликов (рис. 92) или шариков (рис. 93). Скорость развальцовывания 15...20 м/мин.

Отбортовку выполняют вальцовками (рис. 94), различными пуансонами и обжимками. Качество соединения в значительной степени зависит от подготовки сопрягаемых поверхностей, которые должны быть чисто и точно обработаны. Шероховатость сопрягаемых поверхностей должны быть не ниже 5-го класса. Собранные соединения проверяют гидравлическим давлением на герметичность и плотность, а также приложением внешней нагрузки для выявления передаваемой осевой силы

и крутящего момента.

**Сварные соединения.** Сборочные работы при сварке предусматривают правильное взаимное положение соединяемых деталей и их временное скрепление. Правильность соединения обеспечивают предварительной разметкой, тщательной выверкой по контрольным отверстиям или по упорам, а также установкой в сборочных и сборочно-сварочных приспособлениях.

Технологические условия сварки обеспечивают возможность ведения этого процесса на поточных линиях механической обработки и сварки.

Качество сварки собранного соединения определяют внешним осмотром, испытанием на плотность и прочность, а также с помощью различных методов неразрушающего контроля (просвечиваем рентгеновскими лучами, ультразвуковым контролем, магнитной дефектоскопией и др.).

**Паяные соединения.** Пайка применяется для получения прочных и герметичных соединений из тонколистового металла (оцинкованной жести, латуни, меди и т.п.). Температура плавления припоя должна быть ниже температуры плавления соединяемых материалов.

Пайка выполняется при температурах, превышающих на 50...100°C температуру плавления припоев. В зависимости от температуры плавления и прочности применяемых припоев различают низко- и высокотемпературную пайку.

При низкотемпературной пайке применяют мягкие припои с температурой плавления до 350...400°C. Образующиеся при этом соединения имеют сравнительно невысокие значения прочности, не превышающие 50...70 МПа. Для этих целей используют в основном припои на основе олова или свинца марок ПОС 30, ПОС 40 и др. Температура плавления этих припоев находится в пределах 180...300°C.

Низкотемпературные мягкие припои поставляются в виде прутков, проволоки, ленты или трубок, заполненных флюсом.

Высокотемпературная пайка осуществляется твердыми припоями, имеющими температуру плавления выше  $500^{\circ}\text{C}$  и предел прочности до 500 МПа. В качестве припоев при этом наиболее часто используют чистую медь, а также сплавы на основе меди, серебра, цинка и никеля. Медь применяется обычно для пайки деталей из углеродистых и высоколегированных сталей.

Качественная пайка может быть осуществлена лишь при условии тщательной подготовки соединяемых поверхностей. Подготовительные работы в значительной степени определяют надежность соединения. Соединяемые поверхности тщательно подгоняют друг к другу, обезжиривают и очищают от оксидов и посторонних частиц.

Механическую очистку обычно производят стальными щетками или абразивным полотном. Обезжиривание – горячими щелочными растворами или органическими растворителями. Оксиды удаляют травлением в минеральных кислотах с последующей промывкой и сушкой.

Для удаления с поверхностей соединяемых деталей оксидных пленок и лучшего смачивания их используют различные флюсы в виде порошков, паст и жидкостей.

При пайке меди и ее сплавов применяют обычно канифольные флюсы, не вызывающие коррозии паяных соединений. В некоторых случаях (для пайки стальных деталей) в качестве флюса используют хлористый цинк. Его получают растворением кусочков цинка в соляной кислоте. Для высокотемпературной пайки медными и медно-цинковыми припоями в качестве флюсов применяют буру, смесь буры с борной кислотой, фтористый кальций или их смеси. Флюсы насыпают или намазывают на место пайки. Остаток флюса после пайки удаляют промывкой горячей водой или пескоструйной обработкой, так как он способен вызвать

коррозию соединенных деталей, особенно из алюминиевых сплавов.

Прочность соединения в значительной степени зависит от толщины слоя припоя. С уменьшением зазора между деталями, а, следовательно, с уменьшением толщины слоя припоя сопротивление разрушению спаянного соединения увеличивается. При пайке стальных деталей твердыми припоями рекомендуется выдерживать зазор в соединении в пределах 0,03...0,05 мм, мягкими припоями в пределах 0,05...0,20 мм. При пайке меди и медных сплавов зазор принимают около 0,08...0,35 мм.

Чаще всего для нагрева металла используют электрические паяльники. Температура нагрева паяльника около 400°C. Паяльники изготавливаются из брусков качественной меди, обладающей высокой теплопроводностью. Перед работой сердечник паяльника опиливается и затем облуживается (покрывается слоем олова). С этой целью паяльник погружают в хлористый цинк, затем захватывают им припой и натирают рабочей частью о кусок нашатыря. При работе таким паяльником припой хорошо удерживается и растекается ровным слоем, что обуславливает получение качественного шва.

Контроль качества паяных соединений осуществляют обычно различными неразрушающими методами контроля (аналогично сварным соединениям).

**Клепаные соединения.** Соединение деталей при помощи заклепок применяется в тех случаях, когда невозможно или сложно осуществить сварку. В большинстве случаев оно применяется для соединения листов и фасонных прокатных профилей. Соединение образуется расклепыванием стержня заклепки, вставленной в отверстие деталей. При этом силы, вызванные упругими деформациями деталей и стержня заклепки, стягивают детали. Отверстия под заклепки сверлят или продавливают на клепальной машине.

Клепка может производиться без нагрева заклепок и с нагревом



(горячая клепка). Стальные заклепки малого диаметра (до 12 мм) и заклепки из цветных металлов ставятся холодным способом (холодная клепка). Нагрев заклепок производится до температуры 1000...1100°С, образование замыкающей головки заканчивается при температуре 400...450°С. Усилие клепки составляет 65...80 кН на 1 см<sup>2</sup> сечения стержня заклепки. Клепка (осаживание стержня) производится преимущественно машинным способом с помощью пневматических молотков, клепальных прессов, пневматических скоб и других механизмов.

Нагрев заклепок перед постановкой облегчает процесс клепки и повышает качество соединения (достигается лучшее заполнение отверстия и повышенный натяг в стыке деталей). Машинная клепка обеспечивает однородность посадки заклепок, повышает натяг в стыке деталей, что улучшает качество соединения.

Диаметр отверстия под заклепку подбирают в зависимости от диаметра стержня заклепки и точности сборки. Для выравнивания смещенных отверстий их обрабатывают совместно. Номинальный диаметр отверстия в соединенных деталях принимают равным наибольшему предельному размеру диаметра стержня заклепки. Длина выступающей части стержня заклепки для образования замыкающей головки должна составлять 1,3...1,6, а для потайных – 0,9 диаметра стержня.

Для фиксации склепываемых деталей применяют центрирующие вставки, штифты или специальные приспособления.

При горячей клепке каждую заклепку выдерживают под давлением рабочего инструмента для предупреждения ее вытяжки. Постановку заклепок для уменьшения смещения отверстий и выпучивания соединяемых листов следует вести вразброс. При работе на прессах заклепки вставляют вручную щипцами или специальными вилками. В клепальных автоматах пробивка отверстий, вставка заклепок и обжатие замыкающих головок выполняются автоматически.

Качество клепки проверяют внешним осмотром соединения и простукиванием заклепок. Внешним осмотром можно выявить дефекты замыкающих головок, выпучивание или подсечку листов. Простукиванием можно определить слабо затянутые заклепки. Маломерные, плохо оформленные и сбитые на сторону головки обнаруживают шаблонами. Плохое прилегание головок проверяют щупами. Дефектные заклепки высверливаются, а вместо них ставят новые.

Герметичность соединения проверяют воздушным или гидравлическим давлением. Неплотность соединения обнаруживают по воздушным пузырькам после смачивания поверхности мыльной пеной. При гидравлических испытаниях неплотность обнаруживают падением давления по манометру или же по выступанию капелек влаги на наружной поверхности соединения. Величину пробного давления обычно указывают в технических условиях.

**Клеевые соединения.** Склеивание применяют для сопряжений по цилиндрическим поверхностям (посадка втулок в корпусные детали, постановка заглушек и пр.), а также для соединений по плоскостям. Клеевые соединения хорошо работают на сдвиг, но хуже на отрыв. С помощью склеивания можно соединять разнородные материалы – металлы, керамику, пластмассы, стекло. Большинство клеев имеют органическую полимерную основу. Наибольшее практическое применение получили синтетические клеи на основе эпоксидных, фенольных и полиуретановых смол. Обычный температурный диапазон использования этих клеев до 100°С. При более высоких температурах их прочность резко снижается.

Качество и работоспособность клеевого соединения зависит главным образом от того, насколько правильно выбран клей, какие он имеет свойства и насколько правильно выбрана и выдержана технология склеивания.

Технология выполнения клеевых соединений предусматривает подготовку поверхности деталей, приготовление и нанесение клея, сборку деталей с приложением прижимных сил и последующую выдержку узла для отверждения клея.

В большинстве случаев подготовка поверхностей заключается в очистке их от загрязнений, обезжиривания и придания им необходимой шероховатости. Оптимальные параметры шероховатости  $R_z = 20 \dots 63$  мкм. Для подготовки поверхностей применяют обезжиривание органическими растворителями, пескоструйную и дробеструйную обработку, зачистку шкуркой или напильником, химическое или электрическое травление. Идеальной можно считать такую подготовку поверхности, при которой наблюдается когезионное (по клею) разрушение клеевых соединений.

Качество клеевого шва в значительной степени зависит от приемов нанесения клея. При нанесении клея на поверхность необходимо следить, чтобы слой клея был равномерным и строго определенной толщины. Оптимальной следует считать толщину 0,1...0,2 мм. При увеличении клеевой прослойки до 0,5 мм прочность соединения снижается в 1,5...2,0 раза. Выбор способа нанесения клея определяется его вязкостью. Для нанесения пастообразных клеев чаще всего используют шпатели, низковязких – кисти и щетки. Низковязкие клеи можно наносить и валиком. Хорошие результаты получаются при нанесении клея с помощью пульверизатора.

Для достижения заданной прочности клеевых соединений практически для всех типов клеев необходимо отверждение. Технология склеивания предусматривает также стадию выдержки после нанесения клея с целью удаления летучих компонентов. Параметрами отверждения являются давление склеивания, температура и продолжительность. Температура отверждения для различных клеев колеблется в очень широких пределах: от комнатной до 300°C. С повышением этой

температуры сокращается продолжительность отверждения, увеличивается прочность клеевых соединений, однако одновременно снижается эластичность клеевой прослойки.

Для нагрева соединяемых деталей при склеивании применяют обычные электрические печи, обдув теплым воздухом, комнатные и рефлекторные электронагреватели, токи высокой частоты, инфракрасные лучи и др. При выборе способа отверждения необходимо учитывать экономическую целесообразность применения каждого конкретного способа нагрева.

Важным параметром технологического процесса склеивания является давление. При использовании пленочных клеев, например, давление должно быть в пределах от 0,3...1,4 МПа. Для обеспечения давления в процессе формирования клеевых соединений используют различные грузы, гидравлические прессы, гидравлические и вакуумные мешки и другие способы.

При выборе типа клея необходимо учитывать природу склеиваемых материалов, условия работы клеевых конструкций (продолжительность эксплуатации, рабочая температура, характер нагрузки и др.), стоимость клея, санитарно-гигиенические условия его применения, горючесть и т.п.

Необходимо иметь в виду и тот факт, что в любом случае при эксплуатации клеевых соединений происходит постепенное ухудшение их свойств и разрушение адгезионных связей в результате температурных и атмосферных воздействий, нагрузки, влаги и других факторов. Поэтому для оценки работоспособности клеевых конструкций необходимы их испытания с учетом воздействия всех эксплуатационных факторов.

### **6.2.3 Сборка подшипниковых узлов**

Все современные машины и механизмы содержат различные подшипники качения и скольжения. Работоспособность узлов с такими подшипниками может быть обеспечена лишь при условии строгого

соблюдения правил их сборки.

**Сборка узлов с подшипниками качения.** Перед сборкой узла подшипники должны быть тщательно промыты. После промывки их проверяют на легкость вращения и шум. Для этого шариковый подшипник удерживают за внутреннее кольцо в горизонтальном положении и вращают наружное кольцо.

Неправильно выбранные посадки, перекосы при монтаже, повреждения и загрязнения при сборке могут вызвать интенсивный износ подшипниковых узлов.

Внутреннее (вращающееся) кольцо шарикового подшипника, сопряженное с шейкой вала, должно иметь посадку с натягом, а наружное – с небольшим зазором. При таких посадках наружное кольцо имеет возможность незначительно проворачиваться во время работы, что обеспечивает его более равномерный износ.

Поверхности валов и корпусов, сопрягаемые с подшипником, не должны иметь царапин, забоин, следов коррозии, а также погрешностей формы. Упорные буртики должны быть перпендикулярны посадочным поверхностям. Высота заплечиков валов и отверстий в корпусах должна быть достаточной для надежной фиксации подшипника в осевом направлении. В то же время эта высота должна обеспечивать возможность съема подшипника при демонтаже узла.

Радиус галтели у заплечиков вала и корпуса должны быть меньше радиуса галтели подшипника, что обеспечит полноту касания торца кольца подшипника и упорного буртика. Особое внимание следует обращать на соосность отверстий в корпусах и посадочных шеек валов. Несоосность этих поверхностей может возникнуть вследствие коробления деталей. Поэтому корпусные детали, особенно для монтажа подшипников повышенной точности, необходимо подвергать старению.

При посадке подшипника усилие запрессовки следует прикладывать

к тому кольцу подшипника, которое устанавливается с натягом. При этом во избежание перекосов прикладываемое усилие должно быть равномерно распределено по всей боковой поверхности кольца. Подшипник может одновременно напрессовываться на вал и входить в корпус. В этом случае усилие напрессовки передается на оба кольца одновременно.

При установке в узле двух или более шариковых подшипников необходимо обеспечить самоцентрирование неподвижных колец в радиальном и осевом направлениях. Это позволит компенсировать возможные неточности обработки, сборки и температурных деформаций базовых деталей. Несоблюдение этого правила может привести к перекосу колец, заклиниванию шариков и преждевременному выходу подшипника из строя.

При запрессовке используют специальные оправки, показанные на рис. 95. Запрессовку обычно выполняют ударами молотка (рис. 95, а) или на ручном прессе (рис. 95, б).

Установку подшипников на валы, имеющие на конце резьбу, целесообразно осуществлять с помощью винтового приспособления, показанного на рис. 96.

Для облегчения сборки подшипник иногда нагревают до температуры 80...100°C. С этой целью его на 10...15 мин. погружают в нагретую масляную ванну и с небольшим усилием устанавливают на вал. Если нагрев подшипника не компенсирует натяг, то дополнительно охлаждают вал.

Температура нагрева подшипника не должна превышать 100°C, так как при более высоких температурах возможно ухудшение механических свойств подшипниковой стали.

В случае монтажа крупногабаритных подшипников в разъемные корпуса обычно проверяют по краске полноту прилегания наружного кольца к посадочной поверхности. В случае неполного прилегания (менее

75% общей площади поверхности) посадочные места пришабровывают.

При узловой сборке конических роликовых подшипников необходимо предусмотреть возможность регулирования радиального зазора между кольцами и роликами. Регулирование этого зазора является ответственной сборочной операцией. Неправильно установленный зазор может быть причиной преждевременного износа подшипника. Для регулирования зазора в конструкции узла предусматривают возможность смещения наружного или внутреннего кольца в осевом направлении. Некоторые примеры смещения наружного кольца подшипника показаны на рис. 97. Требуемый зазор в коническом подшипнике можно установить с помощью изменения количества тонких регулировочных прокладок 1 между крышкой подшипника 2 и корпусом (рис. 97, а), с помощью регулировочной гайки 3 (рис. 97, б), или же с помощью регулировочного болта 4 и шайбы 5 (рис. 97, в).

Срок службы подшипников качения в значительной мере зависит от степени их защиты от грязи и пыли. Поэтому перед установкой или после сборки подшипники смазывают и устанавливают прокладки, задерживающие смазку и защищающие рабочую зону от попадания пыли и влаги.

При снятии с валов или выпрессовки из корпусов подшипников, годных для дальнейшей эксплуатации, усилие следует прикладывать только к тому кольцу, которое посажено с натягом. Демонтаж подшипников обычно осуществляют с помощью различных съемников. Некоторые из них показаны на рис. 98. Для демонтажа подшипниковых узлов следует предусматривать технологические элементы, значительно упрощающие разборку.

**Сборка узлов с подшипниками скольжения.** Узловая сборка подшипников скольжения заключается в установке подшипников, укладке вала и регулирования опор. Подшипники скольжения применяют цельные, в виде втулок, и разъемные. Цельные подшипники обычно запрессовывают

в корпус и закрепляют от проворачивания. Регулирование положения вала в некоторых случаях производят шабрением подшипника.

В зависимости от размеров втулки и натяга в сопряжении запрессовка может быть выполнена в холодном состоянии, с нагревом отверстия корпуса или же с охлаждением самой втулки. При запрессовке с большими натягами сопрягаемые поверхности деталей во избежание задиров необходимо смазывать каким-либо маслом. Закрепление втулок от проворачивания выполняют с помощью стопорных винтов или штифтов. Для закрепления в осевом направлении кромки втулок развальцовывают.

Необходимый зазор при сборке разъемных подшипников достигается изменением набора тонких латунных прокладок, которые укладываются между стыками вкладышей.

Прилегание вкладышей к шейкам валов обычно проверяют по краске. С этой целью на закрепленные нижние вкладыши укладывают вал с нанесенным на шейки тонким слоем красителя и проворачивают вал на два-три оборота. Пятна краски должны равномерно покрывать большую часть (75...85%) поверхности вкладыша. Хорошее качество прилегания достигают пришабриванием вкладыша, для чего его закрепляют в каком-либо приспособлении. Тонкостенные вкладыши могут обрабатываться непосредственно в гнездах постелей корпуса.

Вкладыши должны равномерно прилегать к постелям, что обеспечивает более высокую жесткость подшипника и более интенсивный отвод тепла от вкладыша.

При многоопорном вале важное значение имеет соосность подшипников, которую проверяют специальным калибром или оправкой (рис. 99, а). В случае полного совпадения осей всех отверстий калибр вводится в них свободно. При перекосе или смещении осей калибр ввести в отверстия трудно или невозможно. Проверку соосности разъемных подшипников, особенно при значительном расстоянии между крайними



подшипниками, целесообразно производить линейкой (рис. 99, б) или стальной струной (рис. 99, в).

Подшипники скольжения изготавливают из различных антифрикционных материалов. Выбор материала зависит от условий работы подшипника и режима смазки. Чаще всего в качестве антифрикционных подшипниковых материалов используют баббиты, бронзы, латуни, некоторые сплавы алюминия, серые чугуны, графит, а также композиционные материалы на основе полимеров и древесины.

#### 6.2.4 Сборка зубчатых передач

Одной из ответственных сборочных операций является сборка зубчатых передач. Правильность зацепления зубчатых колес зависит от положения ведущего и ведомого валов в корпусе.

Для обеспечения правильности зацепления важно обеспечить параллельность осей валов при точном расстоянии между ними. Необходимо также, чтобы оси валов находились в одной плоскости.

Сборка **цилиндрических зубчатых передач** включает установку и закрепление колес на валу, установку валов с колесами в корпусе передачи, проверку и регулировку зацепления. При установке зубчатого колеса с натягом чаще всего производят нагрев колеса или охлаждение шейки вала. Установленные колеса контролируют на биение по диаметру начальной окружности и по торцу колеса. Для этого обычно вал устанавливают в контрольном приспособлении с индикаторами в центрах или на призмах (рис. 100).

Для эвольвентных зубчатых передач увеличение межцентрового расстояния  $A$  (рис. 101, а) в пределах установленных допусков не нарушает правильности зацепления. Однако это увеличение сопровождается ростом зазоров  $C$  (рис. 101, б) в зацеплении зубьев, в связи с чем в быстроходных

передачах возникают удары и создаются дополнительные нагрузки на зубья. Эти погрешности зацепления обуславливают более интенсивный износ передачи. При уменьшении расстояния между осями зазор в зацеплении уменьшается, что может вызвать заедание и заклинивание зубьев.

Величину зазора  $C$  между зубьями передачи проверяют щупом (при открытых торцах зубчатых колес) или же прокатыванием между зубьями свинцовой проволоки. Сплюснутую часть проволоки затем замеряют штангенциркулем или микрометром.

Качество зацепления зубчатых колес проверяют также по пятну контакта поверхностей зубьев, определяемому с помощью краски (рис. 102). При вращении меньшего колеса, покрытого тонким слоем лазури, на сопряженном колесе пятна краски должны покрывать среднюю часть боковой поверхности зубьев по высоте и длине (рис. 102, а). При неправильном контакте пятна краски смещаются (рис. 102, б, в, г). При неудовлетворительном зацеплении подбирают другие зубчатые колеса.

При сборке **конических зубчатых передач** (рис. 22, а) требуемый зазор между зубьями устанавливают путем регулирования зацепления, то есть путем перемещения колес в осевых направлениях. При этом перемещают либо оба колеса, либо одно из них. Регулирование осуществляют обычно набором латунных или стальных прокладок или же с помощью регулировочных гаек. Наибольшую суммарную толщину прокладок определяют путем расчета соответствующих размерных цепей.

Зазоры в передачах с коническими колесами проверяют так же, как и в передачах с цилиндрическими колесами. При этом для ненагруженной передачи пятно контакта на втором колесе должно быть смещено ближе к тонкому концу зуба. В процессе работы под нагрузкой тонкая сторона зуба скорее прирабатывается и за счет некоторой деформации пятно контакта перемещается к середине зуба.

Величины допустимых зазоров для конических колес принимают такими же, как и для цилиндрических.

### Вопросы для самопроверки

1. Назовите способы сборки резьбовых соединений.
2. Назовите основной инструмент для сборки резьбовых соединений.
3. Назовите основные методы предохранения гаек от самоотвинчивания. Как производится контроль качества сборки резьбовых соединений?
4. Поясните особенности сборки шпоночных и шлицевых соединений.
5. Назовите основные виды неразъемных соединений и предъявляемые к ним требования.
6. Поясните особенности сборки соединений с гарантированным натягом.
7. Поясните особенности сборки с помощью пайки.
8. Поясните соединение деталей при помощи заклепок.
9. Поясните сущность и технологию сборки деталей при помощи клеевых соединений.
10. Поясните особенности сборки узлов с подшипниками качения и скольжения.
11. Поясните особенности сборки цилиндрических и конических зубчатых передач.

### 6.3 Балансировка и досборочная обработка деталей

**Балансировка деталей и сборочных единиц.** При изготовлении вращающихся деталей (например, валов, маховиков, зубчатых колес, шкивов, дисков турбин и др.) вследствие неоднородности материала, неточности обработки или монтажа возможно несовпадение центра масс деталей или сборочных единиц с их осью вращения или же смещение этой оси относительно геометрической оси вращающейся детали.

В первом случае, когда центр масс детали не лежит на ее оси вращения, имеет место *статическая неуравновешенность*, а во втором случае, когда ось вращения не совпадает с одной из главных центральных

осей инерции, имеет место *динамическая неуравновешенность*.

Из курса теоретической механики известно, что в результате движения деталей с переменными скоростями на них действуют силы инерции (второй закон Ньютона), вызывающие появление дополнительных динамических нагрузок на элементы соединений и на подшипниковые опоры. Эти нагрузки являются источником дополнительных напряжений, обуславливающих повышенный износ отдельных деталей и сборочных единиц, их колебания и вибрации. Если амплитуда этих колебаний достаточно велика, что имеет место в области, близкой к резонансу, то возникающие при этом напряжения могут вызвать разрушение некоторых наиболее нагруженных деталей и фундамента, на котором установлена машина.

Неуравновешенные в механизме силы инерции через фундамент передаются грунту или промышленному зданию и воздействуют на работающее рядом технологическое оборудование. Вследствие этого может нарушиться технологический процесс и точность его работы. Поэтому все вращающиеся детали, особенно быстроходных машин, в процессе сборки необходимо подвергать уравниванию.

Устранение неуравновешенности, возникающей в результате неточностей изготовления, неоднородности материала и нарушения симметричности при сборке деталей на валу, называется **балансировкой** вращающихся масс. Балансировка является одной из ответственных технологических операций сборки.

В случае статической неуравновешенности (рис. 103, а) при вращении детали с угловой скоростью  $\omega$  возникает центробежная сила инерции

$$P_u = ma = m\omega^2 r,$$

где  $m$  – масса детали,

$a$  – нормальное ускорение,

$r$  – смещение центра масс  $C$  детали с оси вращения.

Сила инерции  $P_u$  направлена по радиусу от оси вращения. При вращении детали она непрерывно изменяет свое направление и тем самым вызывает колебания и вибрации как самой детали, так и всей машины. Произведение  $mr$  является мерой статической неуравновешенности вращающейся детали и называется *статическим дисбалансом*.

Для статического уравнивания достаточно поместить в плоскости, перпендикулярной оси вращения детали, противовес массой  $m_p$  на расстоянии  $r_p$ , который вызовет уравнивающую силу инерции  $P_p$ , равную по величине  $P_u$  и противоположно ей направленную, т.е. условием уравнивания в данном случае будет  $mr = m_p r_p$ .

*Статическая балансировка*, в результате которой смещенный при обработке детали центр масс возвращается на ось вращения, может быть произведена при помощи достаточно простых устройств.

Если деталь, подлежащую балансировке, положить цапфами на две параллельные горизонтальные стальные призмы (рис. 103, б) и предоставить самой себе, то она будет перекачиваться по этим призмам до тех пор, пока центр масс не займет наиболее низкое положение, т.е. будет расположен внизу на вертикали, проходящей через ее ось вращения. Длина призм берется такой, чтобы деталь свободно могла делать не менее двух свободных оборотов. Прикрепляя в верхней части детали пробный груз (противовес), можно добиться ее безразличного углового положения на призмах. Противовес затем крепят на определенном при балансировке радиусе. Часто вместо установки противовесов с противоположной стороны удаляют часть металла детали (например, высверливают отверстия). В качестве противовесов иногда используют свинец, который заливают в специально высверленные отверстия. Устранение неуравновешенности путем высверливания отверстий используется, например, при балансировке коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания.

Наиболее часто для статической балансировки применяют

приспособление (рис. 103, в), в котором вместо стальных призм применены две пары закаленных стальных роликов, свободно вращающихся в шарикоподшипниках. Процесс балансировки деталей на роликовых приспособлениях осуществляется так же, как и на призмах.

В массовом производстве, например в автотракторной промышленности, для статической балансировки маховиков и шкивов применяют специальные станки, позволяющие определить массу металла и место на детали, откуда этот металл необходимо удалить. На станке имеется сверлильное устройство, позволяющее удалять «лишний» металл в процессе балансировки.

В случае динамической неуравновешенности возникает момент от сил инерции  $M_u = P_u h$  (рис. 104, а), при этом центр масс детали  $C$  может находиться на оси вращения. Неуравновешенный момент от сил инерции  $M_u$  вызывает в опорах дополнительные реакции  $R_1$  и  $R_2$ . С уменьшением расстояния  $h$  величина этого момента уменьшается. Поэтому для сравнительно тонких быстровращающихся деталей, длина которых не превышает 2...3 диаметров (маховики, диски, зубчатые колеса и т.п.) применяют лишь статическую балансировку.

Динамическая неуравновешенность не может быть установлена при нахождении детали в состоянии покоя. *Динамическую балансировку* осуществляют на специальных балансировочных станках, в которых используются колебания неуравновешенных деталей при быстром их вращении. Схема балансировочного станка с упругими опорами показана на рис. 104, б.

Балансируемая деталь устанавливается на упругие опоры 2 и 12, связанные с индукционными катушками 6 и 11, расположенными в магнитном поле постоянных магнитов 7 и 10. В обмотках катушек при их движении возникают электрические токи, величина которых пропорциональна амплитудам колебаний опор. Токи из катушек через

трансформатор 9 подаются на прибор 8, градуированный в единицах дисбаланса. Вместе с балансируемой деталью через зубчатые колеса 3 и 4 вращается ротор генератора 5, статор которого имеет возможность поворачиваться с фиксацией угла поворота по лимбу. Поворотом статора генератора 5 можно добиться нулевого показания прибора, т.е. отсутствия дисбаланса. При помощи шкалы колеса 3 определяют положение дисбаланса детали. Современные балансировочные станки высокопроизводительны и позволяют балансировать до 60 деталей в час. После балансировки какие-либо виды обработки детали не допускаются.

Многие современные машины работают при очень высоких скоростях. Например, обороты коленчатого вала двигателей внутреннего сгорания находятся в пределах 2000...5000 об/мин, роторы асинхронных электродвигателей имеют обороты до 3000 об /мин, а скорость вращения валов некоторых центрифуг достигает до 20...30 тыс. об/мин. У таких машин даже незначительные смещения центра масс с оси вращения могут вызвать многократные увеличения нагрузок на подшипники. Рассмотрим пример. Пусть неуравновешенный диск массой 1 кг вращается с частотой вращения  $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$ , смещение центра масс с оси вращения составляет 1 мм, т.е.  $r = 0,001 \text{ м}$ . В этом случае угловая скорость  $\omega = \pi n / 30 = \pi \times 3000 / 30 = 314 \text{ сек}^{-1}$ , а сила инерции  $P_u = m\omega^2 r = 1 \times 314^2 \times 0,001 = 98 \text{ Н}$ , т.е. превышает силу тяжести диска (9,8Н) в 10 раз.

Поэтому балансировку вращающихся деталей, особенно быстроходных машин, следует считать одной из основных технологических операций сборки, поскольку даже незначительная неуравновешенность таких деталей недопустима.

**Досборочная обработка деталей.** В зависимости от типа производства и конструктивных особенностей изделия перед сборочными операциями детали подвергают различным подготовительным и слесарно-пригоночным операциям.

Основными подготовительными операциями, предшествующими сборке, являются **очистка** деталей и сборочных единиц от следов охлаждающей жидкости, антикоррозионной смазки, стружки и других посторонних частиц. Очистка производится в промывочных баках или в ваннах с комплектом кистей или щеток. Иногда используются механизированные баки с конвейерными устройствами для загрузки и выгрузки деталей. В качестве моющего средства обычно используют водный раствор кальцинированной соды (20 г/л) с добавками мыла (3...10 г/л). После промывки детали просушивают или обдувают сжатым воздухом.

В серийном и массовом производстве применяют специальные моющие машины. В таких машинах детали или сборочные единицы перемещаются с помощью цепного конвейера. Моющие машины бывают одно-, двух- и трехкамерные. В однокамерных машинах детали только промываются. При этом моющие растворы подаются насосом под значительным давлением и интенсивно обмывают детали со всех сторон. Раствор стекает в отстойник и, пройдя через фильтр, снова насосом подается в моющую камеру машины. Температура моющего раствора 60...70°C, поэтому детали, выйдя из машины, достаточно быстро просушиваются. В двухкамерных машинах в первой камере производится мойка, а во второй – ополаскивание деталей для удаления остатков моющего раствора. Трехкамерные моющие машины снабжаются сушильными камерами.

Мелкие детали, а также детали сложной конфигурации очищают с использованием *ультразвука*. С этой целью их помещают в резервуар с моющей жидкостью, в которой возбуждают ультразвуковые колебания с частотой около 20 кГц. В качестве моющей жидкости применяют обычно органические растворители (трихлорэтилен или керосин). Для обезжиривания стальных деталей используются водные растворы



тринатрийфосфата (30 г/л) с добавками каких-либо поверхностно-активных веществ (мыло, асидол) в количестве около 3 г/л. Температура раствора при очистке: от масла 50°C, от полировальной пасты 70...80°C. Продолжительность очистки от 3 до 50 с. Ультразвуком очищают не только открытые участки, но и труднодоступные места (впадины, глубокие отверстия). Источником ультразвуковых колебаний служат специальные установки, работающие на использовании принципа магнитострикционного эффекта. Интенсивность ультразвукового излучения 2...5 Вт/см<sup>2</sup>.

Внутренние поверхности корпусных деталей перед сборкой очищают от остатков формовочных материалов ручными или приводными стальными щетками или пескоструйной обработкой с последующей обдувкой сжатым воздухом из специальных наконечников. Обдувка сжатым воздухом эффективна для удаления посторонних частиц из труднодоступных мест (глухие отверстия, полости водяных рубашек) и обеспечивает быстрое просушивание деталей после мойки.

Перед сборкой некоторые детали комплектуют по размерным группам и по массе (например, поршни двигателей внутреннего сгорания).

В индивидуальном и мелкосерийном производстве иногда возникает необходимость выполнения различных **слесарно-пригоночных** работ. Эти работы могут быть предусмотрены технологическим процессом сборки или же возникнуть в процессе сборки из-за «несобираемости» машины. Слесарно-пригоночными работами обеспечивают требуемое качество сопряжений при сборке, если использование других методов нецелесообразно. Этими работами устраняют иногда погрешности механической обработки или же заменяют часть станочных операций, выполнение которых по тем или иным причинам затруднительно.

Основными слесарно-пригоночными операциями являются шабрение, опилование и зачистка, притирка и полирование.

**Шабрение** применяют для точного сопряжения и плотного прилегания

деталей, а также для обеспечения герметичности соединения. Достаточно часто шабрением добиваются более полного прилегания поверхностей в подшипниках скольжения (для увеличения площади фактического контакта поверхностей). Иногда применяется декоративное шабрение для улучшения внешнего вида изделия. Этот процесс достаточно малопроизводителен и трудоемок, поэтому по возможности его заменяют шлифованием и тонким растачиванием. В качестве инструмента применяются ручные шаберы или специальные головки с приводом от гибкого вала.

**Опиливание и зачистку** производят в основном для пригонки сопрягаемых поверхностей деталей, снятия заусенцев и неровностей, устранения неточности форм, размеров и относительного расположения поверхностей соединяемых деталей. Точность опилования 0,01...0,05 мм, снимаемый припуск 0,1...0,5 мм. Для больших открытых поверхностей в качестве средств механизации используют переносные машины с абразивным кругом, для небольших деталей наиболее часто применяются установки с гибким валом, работающие напильником или абразивным кругом.

**Притирку** применяют для получения плотного или герметичного соединения сопрягаемых деталей. Притирку производят вручную или на специальных притирочных станках. Притирают, например, клапаны двигателей внутреннего сгорания, плунжерные пары топливной аппаратуры и др. Между притираемыми поверхностями помещают какую-либо абразивную пасту или абразивный порошок в масле. Припуск на притирку составляет 0,01...0,02 мм.

**Полирование** при слесарно-пригоночных работах устраняет царапины и следы от предшествующей обработки, уменьшает шероховатость поверхности. Для полирования используются специальные станки, работающие мягкими полировальными кругами (обычно войлочными) с применением различных полировальных паст. Иногда используют

деревянные или металлические жимки, в которые закладывают сукно, кожу или замшу, предварительно смазанные тонкими полирующими порошками.

В некоторых случаях после сборки и выверки положения сопряженных деталей возникает необходимость **сверления** отверстий по месту в нескольких деталях, например, отверстий под контрольные штифты. Иногда отверстия сверлят в труднодоступных местах, а также для устранения выявленных дефектов путем установки пробок или заглушек. Для получения более точных отверстий полученные после сверления отверстия развертывают по месту. Иногда производят развертывание отверстий во втулках после их запрессовки, а также развертывание в линию для обеспечения соосности у нескольких собранных деталей.

При необходимости производят **нарезание внутренней резьбы** в отверстиях, просверленных при сборке по месту, а также в отверстиях для установки пробок при закрытии мест дефектов.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Пояснить причины неуравновешенности деталей машин.
2. В чем сущность статической и динамической неуравновешенности?
3. Пояснить сущность статической и динамической балансировки вращающихся масс.
4. Назовите и поясните основные операции досборочной обработки деталей.

## **6.4 Составление схемы сборки**

Качество сборочных работ, в значительной степени определяющих надежность и долговечность изделия, во многом зависит от схемы его сборки. Для экономичного изготовления изделия важно разработать

наиболее простую и рациональную технологическую схему его общей и узловой сборки. Такая схема отражает структуру и последовательность комплектования изделия и его составных частей.

Для разработки технологического процесса сборки машины необходимо иметь следующие исходные данные: сборочные чертежи узлов и машины в целом; спецификацию деталей и узлов, поступающих на сборку; производственную программу выпуска, а также технические условия на приемку и испытание отдельных узлов и изделия в целом.

Кроме базовой необходимо располагать также различной справочной и нормативной информацией. В частности, необходимо иметь каталоги и паспорта по сборочному оборудованию и технологической оснастке, альбомы сборочных приспособлений и инструмента, нормативы времени на слесарно-сборочные работы. В серийном и массовом производстве необходимо также располагать образцом собираемого изделия и сведениями о производстве, на котором предполагается его изготавливать.

В технических условиях на сборку должны быть указаны сведения о точности сборки, о моментах затяжки резьбовых соединений, плотности и герметичности сопряжений, данные о балансировке вращающихся частей (валов, зубчатых колес, маховиков и др.), а также могут быть указаны методы промежуточного и окончательного контроля изделия.

В спецификации деталей и узлов, поступающих на сборку, указывают их наименование, номер, количество на одно изделие, а также цех, откуда они поступают на сборку.

Технологический процесс сборки обычно разрабатывают поэтапно.

Вначале с учетом сложности машины и заданной программы выпуска устанавливают целесообразную организационную форму сборки и определяют ее такт и ритм.

Далее производят размерный анализ конструкций собираемых изделий, выполняют расчеты размерных цепей и устанавливают наиболее

рациональные методы достижения заданной точности сборки (полная, неполная или групповая взаимозаменяемость, регулировка и пригонка).

Определяют целесообразную в данных условиях степень дифференциации или концентрации сборочных операций и распределение видов работ для каждого рабочего места.

Устанавливают последовательность соединения всех сборочных единиц и деталей изделия и составляют технологические схемы узловой и общей сборки.

Выбирают наиболее производительные и технически обоснованные способы сборки, способы контроля и испытаний.

Разрабатывают (или выбирают) необходимое технологическое оборудование и оснастку: приспособления, режущий, монтажный и контрольно-измерительный инструмент.

Производят техническое нормирование сборочных работ и определяют ориентировочную трудоемкость сборки машины.

В завершение всех работ разрабатывают технологическую планировку сборочного производства и оформляют технологическую документацию на сборку.

При расчленении изделия на составные элементы необходимо учитывать следующее. Конструкция сборочной единицы должна обеспечивать возможность компоновки из стандартных и унифицированных частей. Сборочную единицу не следует расчленять в процессе сборки, транспортирования и монтажа. Сборочная единица должна состоять из небольшого числа деталей и сопряжений, что упрощает организацию сборочных работ. Компоновка сборочной единицы должна обеспечивать общую сборку без промежуточной разборки и повторных сборок составных частей. Компоновка сборочной единицы должна обеспечивать удобный доступ к местам, требующим контроля, регулировки и проведения других работ в период эксплуатации и

технического обслуживания. Изделие на составные части следует расчленять так, чтобы его конструкция позволяла осуществлять сборку с наибольшим числом сборочных единиц.

Передача на общую сборку отдельных деталей нежелательна, за исключением базовых деталей и крепежа. Поэтому на общую сборку должны подаваться в возможно большем количестве предварительно скомплектованные сборочные единицы и в возможно меньшем количестве отдельные детали. Общая сборка должна быть максимально освобождена от выполнения мелких сборочных операций и различных вспомогательных работ.

Следует заметить, что общих правил расчленения различных машин на отдельные составные части не существует, так как это расчленение зависит от конструкции машины. Поэтому такое расчленение всегда условно и применимо только для данного конкретного типа машины.

Таким образом, последовательность сборки в основном определяется конструкцией изделия, компоновкой деталей и методами достижения требуемой точности. При этом в процессе сборки предшествующие операции не должны затруднять выполнение последующих. После операций, содержащих регулировочные или пригоночные работы, необходимо предусмотреть контрольные операции. В каждой размерной цепи сборку необходимо завершать установкой тех элементов соединения, которые образуют ее замыкающее звено. Если изделие имеет несколько размерных цепей, то сборку начинают с наиболее сложной и ответственной цепи. Для поточной сборки разбивка процесса на операции должна осуществляться с учетом такта сборки.

Для наглядного представления, удобства планирования и выполнения последовательности сборки обычно составляют технологические схемы общей и узловой сборки. При наличии образца изделия составление технологических схем сборки существенно

упрощается. В этом случае последовательность сборки может быть установлена в процессе его пробной разборки и последующей сборки.

Рассмотрим составление технологической схемы процесса сборки на примере сборочной единицы–вала с червячным колесом (рис. 105).

На технологических схемах каждая деталь или сборочная единица обозначается прямоугольником, разделенным на три части. В верхней части прямоугольника указывают наименование детали или сборочной единицы, в левой нижней части – номер, присвоенный детали или сборочной единице на сборочных чертежах изделия. В правой нижней части прямоугольника указывают число собираемых элементов. Сборочные единицы обозначаются буквами «Сб» (сборка). Каждой сборочной единице присваивается номер ее базовой детали. При этом базовыми считаются детали или сборочные единицы, с которых начинается сборка. Например, «Сб4» означает сборочную единицу с базовой деталью 4 (ступица колеса).

Технологическую схему сборки строят в следующей последовательности.

На схеме процесс сборки изображается горизонтальной линией, которая проводится от базовой детали или базовой сборочной единицы к собираемому изделию в сборе. Выше этой линии в порядке последовательности сборки прямоугольниками обозначают все детали, входящие непосредственно в изделие, а ниже – сборочные единицы.

Схемы сборки сборочных единиц могут строиться как отдельно, так и непосредственно на общей схеме, развивая ее в нижней части схемы (под линией).

Технологические схемы сборки сопровождаются надписями-сносками, поясняющими характер сборочных соединений и выполняемый при сборке вид контроля (например, «запрессовать», «сварить», «расклепать», «проверить на биение» и т.п.).

Следует заметить, что технологические схемы сборки одного и того же изделия можно разрабатывать в нескольких вариантах, отличающихся как по структуре, так и по последовательности выполнения сборочных операций. Число вариантов тем больше, чем сложнее собираемое изделие.

Содержание и объем сборочной операции устанавливают так, чтобы на каждом рабочем месте выполнялась однородная по своему характеру и технологически законченная работа. Это способствует более высокой специализации сборщиков, повышению производительности их труда и лучшему использованию технологического оборудования и оснастки.

В поточном производстве содержание операции должно быть таким, чтобы ее длительность была примерно равна или кратна такту сборки. При этом на данном этапе длительность операции определяется укрупнено по нормативам с последующей корректировкой и уточнением.

Наиболее оптимальный вариант технологической схемы сборки выбирают с учетом трудоемкости и себестоимости сборки, требуемого количества слесарей-сборщиков, производительности процесса при заданном масштабе выпуска изделий, с учетом коэффициента загрузки рабочего места и с учетом других экономических показателей.

Составление технологических схем сборки целесообразно при разработке сборочных процессов для любого типа производства, поскольку такие схемы значительно упрощают процессы сборки и облегчают оценку конструкции изделия на технологичность.

Параллельно с разработкой технологического процесса сборки проектируют необходимое технологическое оборудование и оснастку: сборочные и испытательные стенды, приспособления, специальный рабочий и контрольно-измерительный инструмент, подъемно-транспортное оборудование и др.

Технологическая документация сборочных процессов включает сборочные чертежи и технологические схемы узловой и общей сборки. В



сборочной маршрутной карте приводится перечень сборочных операций с указанием данных об оборудовании и оснастке, норм времени, разряда работы и расчетных норм времени по технологическим переходам.

### **Вопросы для самопроверки**

1. В какой последовательности разрабатывают технологический процесс сборки?
2. Поясните общие правила компоновки сборочной единицы
3. Поясните составление технологических схем общей и узловой сборки

## **6.5 Контроль качества сборки**

Контроль сборки изделий определяется главным образом полнотой конструкторско-технологической документации, состоянием оборудования, приспособлений, инструментов, степенью готовности деталей, сборочных единиц и комплектующих изделий, а также исполнением и уровнем контроля качества сборки отдельных узлов и машины в целом.

Технический контроль сборочных процессов производится с целью обеспечить надлежащее качество соединений деталей и узлов в собираемом изделии и проверить соответствие относительного положения и перемещения их исполнительных поверхностей установленным нормам. Эффективность всякого контроля тем выше, чем ближе результаты измерений контролируемых параметров к их действительным значениям.

Перед сборкой все элементы изделия необходимо тщательно очистить от грязи, металлической стружки, пыли, а также обеспечить чистоту и правильную организацию рабочих мест. Особое внимание при подготовке к сборке необходимо обратить на точность сопрягаемых размеров и состояние поверхностей соединяемых деталей. Даже незначительные царапины, задиры, заусенцы, остатки абразивной пыли и

металлических опилок на сопрягаемых поверхностях могут привести к резкому ухудшению работы механизма и машины.

Наиболее важным качественным показателем выполнения сборочных операций является состояние зазоров и натягов в соединениях собранных деталей и сборочных единиц изделия. При этом процесс сборки необходимо обеспечить с незначительным объемом пригоночных работ или без них.

Главным требованием при сборке соединений механизмов и машин является обеспечение во всех подвижных соединениях заданного зазора по всей площади сопрягаемых поверхностей, а в неподвижных соединениях – необходимого натяга, обеспечивающего равномерное распределение напряжений в охватывающей и охватываемой деталях.

Требуемый зазор обеспечивается точностью изготовления деталей и обычно контролируется при сборке с помощью щупов или свинцовой проволоки. Свинцовую проволоку диаметром 0,2...0,3 мм укладывают между соединяемыми деталями, а после разборки собранных деталей по толщине смятой проволоки судят о величине зазора в любом месте соединения.

Степень натяга запрессованных деталей определяется разностью диаметров обработанных с заданной степенью точности вала и отверстия. Запрессовку можно проверить испытанием ее на герметичность под общим давлением. Качество запрессовки деталей можно определить также ультразвуковым методом.

Контроль качества сборки всех наиболее сложных и ответственных соединений считается обязательным. Менее ответственные соединения подвергаются выборочному контролю. В процессе контроля отдельных соединений и узлов широко используются различные приспособления, которые упрощают выполнение контрольных операций, повышают точность проверки и уменьшают время, необходимое на контроль.

Качество сборки изделия характеризуется главным образом

качеством сборки его составных частей: неподвижных разъемных и неразъемных соединений, типовых сборочных единиц машин и механизмов.

Контроль качества неподвижных разъемных соединений предусматривает обеспечение надежного закрепления деталей резьбовых соединений, шпонок, шлицев и штифтов. Затяжку резьбовых соединений проверяют предельными и динамометрическими ключами. В шпоночных соединениях щупом проверяют зазор между шпонкой и ступицей в радиальном направлении. В шлицевых соединениях контролируют соосность соединяемых деталей и зазор между зубьями. В штифтовых соединениях проверяют соосность отверстий под штифт в соединяемых деталях и их диаметр.

Сборку неподвижных неразъемных соединений производят прессованием, сваркой, пайкой, клепкой и склеиванием. Качество клепаных соединений проверяют осмотром или простукиванием заклепок. Плотные соединения подвергают гидравлическим испытаниям. Наиболее ответственные клепаные соединения проверяют рентгеновскими лучами.

Контроль качества сборки типовых сборочных единиц машин и механизмов определяется конструктивными особенностями соединений и технологией их сборки. Для правильного выбора методов и средств контроля качества сборки типовых сборочных единиц необходимы знания преимуществ и недостатков различных видов соединений.

При сборке сборочных единиц типа цилиндр-поршень щупом проверяют зазоры между поршнем и гильзой. При нормальном зазоре усилие, требуемое для введения щупа, устанавливают опытным путем. На световом приборе иногда проверяют плотность прилегания колец к стенкам цилиндра.

Качество сборки трубопроводов проверяют сжатым воздухом и мыльной пеной, а также жидкостями под давлением.

После проверки правильности соединений деталей собранные узлы, механизмы и машины подлежат регулированию и испытанию. Регулированием устанавливают надлежащее взаимодействие частей и согласованность работы отдельных механизмов. Целью испытания машины является проверка правильности работы и взаимодействия всех механизмов машины, проверка ее мощности, производительности и точности. Таким образом, испытания машины являются проверкой качества машины, полученного в результате всего производственного процесса ее изготовления.

Следует отметить, что испытание не относится к сборочному процессу, однако в процессе испытаний можно установить основные эксплуатационные характеристики собранной и отрегулированной машины.

В зависимости от вида и назначения машины, а также масштабов выпуска испытания проводят на холостом ходу и под нагрузкой. Испытания на холостом ходу проводят с целью приработки трущихся поверхностей деталей и проверки правильности взаимодействия движущихся частей машины.

Для испытаний сборочные единицы устанавливают в соответствующие приспособления, а механизмы (агрегаты) и машины – на испытательные стенды. В ходе испытаний наблюдают за состоянием узлов трения (подшипников качения и скольжения, направляющих, зубчатых зацеплений и т.п.), за согласованностью действий частей и механизмов. При этом выявляют эксплуатационные характеристики машины и проверяют разогрев подшипников и зубчатых передач, шум, вибрацию и др. Испытания под нагрузкой проводят на различных режимах. В ходе испытаний под нагрузкой выявляют качество работы машины в производственных условиях, поэтому для машины создают условия, близкие к условиям эксплуатации.

Результаты испытаний заносят в журнал. При обнаружении каких-

либо неисправностей или дефектов их исправляют и изделие подвергают повторным испытаниям.

На основании результатов испытаний делают заключение о качестве изготовленной машины, пригодности новых материалов, использованных при ее создании, надежности и безотказности работы отдельных деталей и узлов.

Достаточно часто предприятие организует наблюдение за работой изготовленных машин в процессе эксплуатации. При этом производится анализ конструктивных и технологических недоработок, выявленных на основании учета брака и рекламаций, поступающих от потребителей. Систематический анализ этих сведений позволяет принимать технически обоснованные решения по совершенствованию конструкции машины, технологии ее сборки и контроля.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Поясните назначение контроля качества сборки
2. Поясните контроль качества сборки подвижных и неподвижных соединений
3. Поясните назначение и сущность регулирования и испытания собранных механизмов и машин

### **Литература**

- 1 Вороненко В.П. Машиностроительное производство: Учебник для спец. сред. уч. завед.; Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высшая школа, 2001. – 304с.
- 2 Данилевский В.В. Технология машиностроения: Учебник для техникумов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1984. – 416с.
- 3 Егоров М.Е., Дементьев В.И., Дмитриев В.Л. Технология машиностроения:

- Учебник для втузов. – Изд. 2-е, доп. М.: Высшая школа, 1976. – 534с.
- 4 Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. – 2 изд. испр. – М.: Высшая школа, 1999. – 591с.
  - 5 Марков Н.Н., Осипов В.В. Нормирование точности в машиностроении. – 2 изд. перераб. – М.: Академия, 2001. – 335с.
  - 6 Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отд-ние, 1985. – 512с.
  - 7 Махаринский Е.И., Горохов В.А. Основы технологии машиностроения: Учебник. – Мн.: Выш. шк., 1997. – 423с.
  - 8 Мельников Н.Ф., Бристолю Б.Н., Дементьев В.И. Технология машиностроения: Учебник для машиностр. техникумов. – 2 изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 328с.
  - 9 Мостальгин Г.П., Толмачевский Н.Н. Технология машиностроения. – М.: Машиностроение, 1990. – 288с.
  - 10 Проектирование технологических процессов сборки машин: Уч. пособие для вузов / А.А. Жолобов, В.А. Лукашенко и др. Под общ. ред. А.А. Жолобова. – Мн.: Новое знание, 2005. – 410с.
  - 11 Специальные способы литья: Справочник / Под общ. ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 430с.
  - 12 Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. – 912с.
  - 13 Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. – 905с.
  - 14 Технологичность конструкции изделия: Справочник / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков и др.; Под ред. Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1990. – 786с.
  - 15 Технология машиностроения. В 2-х т. Т.1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; Под ред. А.М. Дальского. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. Изд. 2-е, перераб. и доп., 2001. – 564с.
  - 16 Технология машиностроения. В 2-х т. Т.2. Производство машин: Учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, О.М. Деев и др.; Под ред. Г.Н. Мельникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. Изд. 2-е, перераб. и доп., 2001. – 640с.
  - 17 Филиппов Г.И. Литые заготовки и способы их получения. – Л.: Машиностроение, 1985. – 86с.