

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Г.П. МОСТАЛЫГИН

О С Н О В Ы ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением по образованию в области
производственного менеджмента в качестве учебного пособия для
студентов, обучающихся по специальности 060800 (080502) Экономика и
управление на предприятии машиностроения

Курган 2005

Р е ц е н з е н т ы

Заслуженный деятель науки РФ, *доктор экономических наук, профессор*, директор Курганского филиала Института экономики Уральского отделения РАН В.И. Ефименков; *доктор технических наук, профессор* Курганской сельскохозяйственной академии им. Т.С.Мальцева П.Н. Лапшин; *главный технолог* ОАО “Курганмашзавод” Р.Г.Пиратинский.

*Печатается по решению методического совета
Курганского государственного университета*

Научный редактор – канд. техн. наук, профессор В.Н. Орлов

М 84 Мосталыгин Г.П. Основы технологии машиностроения: Учебное пособие. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2005. – 109 с.

В учебном пособии изложены основополагающие положения, необходимые для решения различных задач в технологии машиностроения. Рассмотрены принципиальные вопросы, связанные с проектированием технологических процессов изготовления машин.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Экономика и управление на предприятии машиностроения». Может быть использовано студентами машиностроительных специальностей вузов, а также инженерно-техническими работниками предприятий.

Рис. – 110, библиограф. – 34 назв., табл. – 8.

ISBN 5-86328-633-4

© Курганский государственный
университет, 2005

© Мосталыгин Г.П., 2005

ВВЕДЕНИЕ

Машиностроение является важнейшей отраслью народного хозяйства, определяющей уровень и темпы развития всех других отраслей промышленности, сельского хозяйства, энергетики, транспорта и др. В связи с этим его развитию всегда придавалось и придается первостепенное значение.

Успешное развитие машиностроительного производства было бы невозможно без научного разрешения вопросов, связанных с изготовлением машин, что привело к возникновению науки о технологии машиностроения.

Технология машиностроения – это наука об изготовлении машин требуемого качества, в установленном производственной программой количестве и в заданные сроки, при наименьших затратах живого и овеществленного труда, то есть при наименьшей себестоимости / 9 /.

Процесс создания машины четко подразделяют на **два этапа: проектирование и изготовление**. Первый этап завершается разработкой конструкции машины и представлением ее в чертежах, второй – реализацией конструкции с помощью производственного процесса.

Построение и осуществление второго этапа составляет основную задачу технологии машиностроения.

В изготовлении машины можно выделить три стадии:

- получение заготовок,
- механическая обработка заготовок и изготовление деталей,
- сборка машин.

Поэтому к технологии машиностроения относятся технология методов заготовительного производства, технология механической обработки, технология сборки машин.

Однако под технологией машиностроения обычно понимают научную дисциплину, изучающую, преимущественно, процессы механической обработки заготовок и сборки машин, и попутно затрагивающие вопросы выбора заготовок и методов их изготовления. Это обстоятельство объясняется тем, что в машиностроении заданное конструктивное качество детали достигается, в основном, механической обработкой.

Наиболее **значительное развитие в России металлообрабатывающая промышленность** получила во времена **Петра I** (1672-1725). Ремесленные мастерские превращались в фабрики и заводы, оборудованные машинами.

Большой вклад в развитие отечественного машиностроения внес гениальный механик, создатель многих станков и машин А.К.Нартов (1693-1756). По результатам научного творчества А.К.Нартовым была написана книга “Ясное зрелище машин”, в которой он обобщил опыт того периода в конструировании и технологии изготовления инструментов, станков и других машин.

Начало изучения технологических процессов относится к первым годам XIX века.

В 1804 г. академик В.М.Севергин сформулировал первые положения о технологии и определил, что технология – наука о ремеслах и заводах.

В 1817 г. профессор Московского университета И.А.Двигубский издал книгу “Начальные основания технологии, как краткое описание работ на заводах и фабриках производимых”.

Первым капитальным трудом, посвященным технологии металлообработки, явился трехтомный труд профессора И.А. Тиме “Основы машиностроения. Организация машиностроительных фабрик в технологическом и экономическом отношении и производство в них работ” (1885). Теоретические основы технологии и металлообработки были изложены в труде профессора А.П.Гавриленко “Технология металлов”.

Из зарубежных ученых-технологов отмеченного периода следует выделить К.Кармарша, который опубликовал труды “Введение в механическое учение технологии”, “Основы механической технологии”, “Справочник по механической технологии”. Американец Ф.У.Тейлор в работе “Искусство обработки металлов”, изданной в 1900 г., определил ряд важных положений по механической обработке резанием.

Формирование технологии машиностроения как науки относится к началу 30-х годов прошлого столетия. Первыми трудами по технологии машиностроения стали работы А.П.Соколовского, вышедшие в 1930-1932 гг.

Обобщением опыта автотракторной промышленности были “Основы проектирования технологических процессов” А.И.Каширина в 1933 г. и “Технология автотракторостроения” В.М.Кована в 1935 г.

В 1933 г. Б.С.Балакшин провел теоретические исследования по технологии машиностроения, основные положения и выводы которых дали возможность решать технологические задачи, обеспечивающие повышение точности изготовления машин.

Технология машиностроения создана главным образом трудами отечественных ученых: Б.С.Балакшина, А.Н.Бородачева, П.Е.Дьяченко, Ф.С.Демьянюка, М.Е.Егорова, А.И.Исаева, А.И.Каширина, М.В.Кована, И.М.Колесова, В.С.Корсакова, А.А.Маталина, С.П.Митрофанова, Э.В.Рыжова, М.П.Новикова, А.П.Соколовского, Э.А.Сателя, Ю.М.Соломенцева, А.Г.Суслова, П.И.Ящерицына и др.

Впервые подготовка инженеров по специальности “Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты” в нашей стране была организована в 30-е годы прошлого столетия. Учитывая огромную потребность промышленных предприятий в инженерах по этой специальности, подготовка таких специалистов осуществлялась во многих высших технических учебных заведениях СССР и России.

Вопросы технологии машиностроения детально изучаются также студентами экономических специальностей, связанных с предприятиями машиностроения.

Отмеченное обстоятельство объясняется тем, что освоение этих вопросов позволит квалифицированно решать многие проблемы, продиктованные реальными условиями производства.

В соответствии с примерной программой, утвержденной Учебно-методическим объединением по образованию в области производственного менеджмента, дисциплина “Технология машиностроения” содержит пять разделов. Второй раздел – основы технологии машиностроения – посвящен теоретическим вопросам технологии машиностроения.

В настоящем учебном пособии включены темы второго раздела с учетом рекомендаций указанной выше примерной программы.

ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОНЯТИЯ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

1.1. Изделие и его разновидности

Производственный процесс машиностроительного завода обеспечивает выпуск готового изделия установленного качества.

Изделием называют любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Изделиями являются различные машины, механизмы, агрегаты и отдельные детали. Например, для станкостроительного завода изделием является станок, для электромеханического – электродвигатель, для подшипникового – подшипник, для инструментального – калибр и т.д.

Изделия, изготовленные для поставки (реализации), относятся к изделиям основного производства.

Если предприятия изготовляют изделия только для собственных нужд, то последние являются изделиями вспомогательного производства. Изделиями основного производства считают также такие изделия, которые предназначены для поставки (реализации) и одновременно используются и для собственных нужд предприятия-изготовителя.

Перечисленные выше примеры являются примерами изделий основного производства, в том числе и калибр, изготовленный на инструментальном заводе для других предприятий или для контроля своих изделий. Калибр же, изготовленный в инструментальном цехе машиностроительного завода для нужд одного из цехов этого завода относится к изделию вспомогательного производства.

Изделия, в зависимости от наличия или отсутствия в них составных частей, подразделяются на:

- *неспецифицированные* (детали), не имеющие составных частей;
- *специфицированные* (сборочные единицы, комплексы, комплекты), состоящие из двух и более частей.

Установлены следующие **виды изделий**:

1. **Детали** – изделия, изготовленные из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций. *Например*: валик из одного куска металла, литой корпус, маховичок из пластмассы (без арматуры) и т.п.

2. **Сборочные единицы** – изделия, составные части которых подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, склеиванием и т.п.). *Например*: автомобиль, станок, редуктор, сварной корпус, маховичок из пластмассы с металлической арматурой.

3. **Комплексы** – два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. *Например*: цех-автомат, бурильная установка.

4. **Комплекты** – два и более изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера. *Например*: комплект запасных частей, комплект инструмента и принадлежностей и т.п.

Стандартом ИСО 8402-94 определены понятия **“продукция”** и **“процесс”**.

“Продукция” – результат деятельности или процессов.

“Процесс” – совокупность взаимосвязанных ресурсов и деятельности, которые преобразуют входящие элементы (в случае продукции – сырье, материалы, комплектующие) в выходящие (готовую продукцию).

Изделие является частным случаем единицы промышленной продукции.

Узел – *сборочная единица*, которая может собираться отдельно от других составных частей изделия или изделия в целом и выполнять определенную функцию в изделиях одного назначения только совместно с другими составными частями.

Агрегат – *сборочная единица*, обладающая полной взаимозаменяемостью, возможностью сборки отдельно от других составных частей изделия или изделия в целом и способностью выполнять определенную функцию в изделии или самостоятельно.

Полуфабрикат – *предмет труда*, подлежащий дополнительной обработке или сборке на предприятии-потребителе.

Заготовка – *предмет труда*, из которого изменением формы, размеров, свойств поверхности и (или) материала изготовляют детали или неразъемную сборочную единицу.

Распространенным видом изделия машиностроительного завода является машина.

1.2. Машина как объект производства

Механизм представляет собой совокупность подвижно соединенных тел (звеньев), совершающих под действием приложенных сил определенные целесообразные движения.

Машина – это **механизм** или сочетание механизмов и других устройств, осуществляющих целесообразные движения **для преобразования энергии, материалов** или производства работ, а также **для сбора, передачи, хранения, обработки и использования информации**.

В зависимости от выполняемых функций различают: *энергетические машины* (электродвигатели, электрогенераторы, двигатели внутреннего сгорания, турбины, паровые машины и др.); *рабочие машины* (технологические или машины-орудия, транспортные, транспортирующие и др.); *электронно-вычислительные машины*.

Основное назначение машины – частичная или полная замена производственных функций человека с целью облегчения труда и повышения производительности.

Каждая машина предназначена для выполнения

своего служебного назначения. Под служебным назначением машины понимают четко сформулированную конкретную задачу, для решения которой предназначена машина.

Формулировка служебного назначения машины должна содержать подробные сведения, конкретизирующие общую задачу, и уточняющие условия, при которых эта задача может быть решена / 7 /. Служебное назначение машины описывают не только словесно, но и системой количественных показателей, определяющих ее конкретные функции, условия работы и ряд дополнительных моментов в соответствии с задачей, которую предстоит решать с помощью создаваемой машины.

Для дальнейшего рассмотрения материала настоящей главы целесообразно представить стадии жизненного цикла продукции (рис. 1.1), / 16 / и жизненного цикла машиностроительного изделия (рис. 1.2), / 29 /.



Рис. 1.1 Стадии жизненного цикла продукции

Можно выделить шесть стадий (рис. 1.1): маркетинг – проектирование – производство – обращение – эксплуатация – потребление – утилизация. Отдельные стадии могут разделяться на этапы и процессы. Эту модель раньше называли петлей качества (спирального качества), а в последней версии ИСО 900 – “типичные этапы жизненного цикла продукции” / 16 /.

В жизненном цикле машиностроительного изделия выделяются стадии: 1 – изучение рынка; 2 – научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы; 3 – техническая подготовка производства; 4 – производство изделия; 5 – эксплуатация и утилизация изделия.

Особое место в этом цикле принадлежит технологии машиностроения. Причем, чем раньше в этом цикле будут задействованы технологи, тем выше эффективность и конкурентоспособность изделий машиностроения / 29 /.

Следует выделить важную роль технической подготовки производства, которая включает в себя следующее / 29 /:

1. *Конструкторскую подготовку* производства – разработку конструкции изделия и создание его сборочных чертежей; рабочих чертежей деталей, запускаемых в производство, с оформлением соответствующих спецификаций и другой конструкторской документации.



Рис. 1.2. Жизненный цикл машиностроительного изделия

2. *Технологическую подготовку* производства (ТПП) – совокупность мероприятий, обеспечивающих технологическую готовность производства к выпуску изделий заданного уровня качества при установленных сроках, объеме выпуска и затратах. К ТПП относятся обеспечение технологичности конструкции изделия, выбор и подготовка заготовок, разработка технологических процессов, проектирование и изготовление средств технологического оснащения, контроль и управление технологическим процессом.

3. *Календарное планирование* производственного процесса изготовления изделий в установленные сроки при заданных объемах выпуска и затратах.

1.3. Производственный и технологический процессы

Готовые изделия получают из материалов и полуфабрикатов в результате осуществления отдельных процессов, совокупность которых составляет производственный процесс. **Производственный процесс** определяется как **совокупность всех действий людей и орудий труда**, необходимых на данном предприятии **для изготовления или ремонта продукции** (ГОСТ 14.004-83).

Сложность производственного процесса можно охарактеризовать простым перечнем его составляющих:

- получение заготовок, различные методы обработки – механическая, электрофизическая, электрохимическая, термическая, слесарная, сварка, сборка и другие;
- подготовка производства и организация рабочих мест;
- изготовление приспособлений и инструмента;

- транспортировка материалов, заготовок, деталей, узлов и изделий и их хранение;
- технический контроль и испытание;
- упаковка готовых изделий и другие различного рода действия, которые связаны с изготовлением выпускаемых изделий.

Производственный процесс осуществляется на машиностроительном предприятии, которое характеризуется преимущественным применением методов технологии машиностроения при выпуске изделий.

Состав цехов и служб предприятия с указанием связей между ними определяет производственную структуру. Элементарной единицей структуры предприятия является рабочее место. На рабочем месте размещены исполнители работы, обслуживаемое технологическое оборудование, часть конвейера, на ограниченное время - оснастка и предметы труда.

Производственный участок представляет собой **группы рабочих мест**, организованных по принципам: предметному, технологическому или предметно-технологическому. Совокупность производственных участков образует цех (ГОСТ 14.004-83).

Технологическим процессом называют часть производственного процесса, содержащую целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда.

К предметам труда относятся заготовки и изделия. Технологический процесс может быть отнесен к изделию, его составной части или к методам обработки, формообразования и сборки, которые определены ГОСТ 3.1109-82 (литье, формование,ковка, штамповка, сварка, монтаж, пайка, склеивание, нанесение покрытий, технический контроль, контроль технологического процесса; обработка: черновая, чистовая, механическая, давлением, резанием, термическая, электрофизическая, электрохимическая и другие).

Технологический процесс представляет собой совокупность различных операций, в результате выполнения которых изменяются размеры, форма, свойства предметов труда, выполняется соединение деталей в сборочные единицы и изделия, осуществляется контроль требований чертежа и технических условий.

Технологической операцией называют законченную часть технологического процесса, выполняемую на одном рабочем месте. Она является основным элементом производственного планирования и учета. На выполнение операций устанавливают нормы времени и расценки. По операциям определяют трудоемкость и себестоимость процесса, необходимое количество производственных рабочих и средств технологического оснащения.

ГОСТ 3.1109-82 определены основные элементы технологических операций. **Технологический переход – законченная часть технологической операции**, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке.

При выполнении перехода режимы работы иногда изменяются без воздействия рабочего, то есть автоматически. *Например*, при выполнении перехода на станках с программным или адаптивным управлением.

Переходы могут выполняться путем удаления одного или нескольких слоев материала, за один или несколько рабочих **ходов**.

Однократное перемещение инструмента относительно заготовки, которое сопровождается изменением ее размеров, качества и свойств, является законченной частью технологического перехода и определяется как *рабочий ход*. Однократные же перемещения инструмента относительно заготовки, необходимые для подготовки рабочего хода, представляют собой *вспомогательный ход*.

Все действия рабочего, совершаемые им при выполнении технологического перехода, разделяются на отдельные приемы.

Приемом называют законченную совокупность действий человека, применяемых при выполнении перехода или его части и объединенных одним целевым назначением.

Закрепление заготовок, смена инструмента и другие законченные части технологической операции, которые состоят из действий человека и (или) оборудования, не сопровождающиеся изменением свойств предметов труда, но необходимые для технологического перехода, называются вспомогательными переходами.

Установом называется часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении заготовок или собираемой сборочной единицей.

При одном установе заготовка может занимать различные позиции.

Позиция – это фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной заготовкой и собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования **при выполнении определенной части операции**.

Наладкой называют подготовку технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению технологической операции. К наладке относятся установка приспособления на станке, установка на размер комплекта режущего инструмента и т.д.

Подналадка – дополнительная регулировка технологического оборудования и (или) оснастка в процессе работы для восстановления достигнутых при наладке значений параметров.

Настройка станка на размер – придание лезвию инструмента требуемого расположения относительно баз заготовки.

Совокупность орудий производства, необходимых для осуществления технологического процесса, называется средствами технологического оснащения.

Технологическое оборудование – это средства технологического оснащения, в которых для выполнения определенной части технологического процесса размещают материалы или заготовки, средства воздействия на них, а также технологическая оснастка (примерами технологического оборудования являются литейные машины, прессы, металлорежущие станки, печи, гальванические ванны, испытательные стенды и т.п.).

В технологическую оснастку включаются средства технологического оснащения, дополняющие технологическое оборудование для выполнения опреде-

ленной части технологического процесса (режущий инструмент, штампы, приспособления, калибры, пресс-формы, модели, литейные формы и т.д.).

Приспособление – технологическая оснастка, предназначенная для установки или направления предмета труда или инструмента при выполнении технологической операции.

Технологическая оснастка, предназначенная для воздействия на предмет труда с целью изменения его состояния, *называется инструментом*.

1.4. Типы производства в машиностроении

Производство товарной продукции относится к основному производству. Для нормального обеспечения функционирования основного производства предусматривается вспомогательное производство.

Различная технологическая оснастка, которая используется в процессе основного производства, изготавливается в инструментальном производстве.

Объем выпуска продукции характеризуется числом изделий определенных наименований, типоразмеров и исполнений, изготавливаемых или ремонтируемых предприятием или его подразделением в течение планируемого периода времени.

Программа выпуска – установленный для данного предприятия перечень изготавливаемых или ремонтируемых изделий с указанием объема выпуска по каждому наименованию на планируемый период.

Производственную партию составляют предметы труда одного наименования и типоразмера, запускаемые в обработку в течение определенного интервала времени при одном и том же подготовительно-заключительном времени на операции.

Интервал времени от начала до окончания производственного процесса изготовления или ремонта изделия называют производственным циклом.

К серии изделий относятся все изделия, изготавливаемые по конструкторской и технологической документации без изменения ее обозначения.

В зависимости от широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска продукции различают **три типа производства: единичное, серийное, массовое** (ГОСТ 14.004-83).

Одной из основных характеристик типа производства является коэффициент закрепления операций – отношение числа всех различных технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест

$$K_{з.о.} = \frac{O}{P}, \quad (1.1)$$

где O – число различных операций;

P – число рабочих мест, на которых выполняют различные операции.

Следует отметить, что на одном предприятии и даже в одном цехе можно встретить сочетание различных типов производства. *Например*, на предприятии тяжелого машиностроения, где производство соответствует единичному типу, изготовление некоторых мел-

ких изделий может быть организовано по принципу серийного или даже массового производства.

Следовательно, тип производства завода или цеха в целом определяется по признаку преимущественного характера технологических процессов.

Единичное производство характеризуется малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление которых, как правило, не предусматривается.

На рабочих местах в единичном производстве выполняют разнообразные операции без их периодического повторения на универсальном технологическом оборудовании с использованием универсальной, унифицированной и стандартной технологической оснастки (тиски для крепления деталей, угольники, захваты и т.п.; стандартные резцы, сверла, фрезы и т.п.; универсальные измерительные средства: штангенциркуль, микрометры, нутромеры и т.п.).

Специальную технологическую оснастку применяют лишь в исключительных случаях, когда без нее изготовление деталей невозможно. Универсальность выполнения работ требует высокой квалификации рабочих.

Таким образом, единичное производство должно быть универсальным, очень гибким, обеспечивающим выполнение разнообразных заданий. Оно распространено в тяжелом машиностроении, где изготавливается крупное уникальное металлургическое и химическое оборудование, прокатные станы, а также в опытно-производстве.

Серийное производство характеризуется изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями. В зависимости от числа изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают *мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство* (ГОСТ 3.1121-84).

Применяются следующие значения коэффициента закрепления операций:

$20 < K_{з.о.} < 40$ – мелкосерийное производство;

$10 < K_{з.о.} < 20$ – среднесерийное производство;

$1 < K_{з.о.} < 10$ – крупносерийное производство.

Серийное производство является основным типом машиностроительного производства. Примерно 80 % всей продукции машиностроения страны изготавливается на заводах серийного производства (производство станков, прессов, деревообрабатывающих станков, текстильных машин, насосов, вентиляторов и т.д.). В серийном производстве машины изготавливают сериями, а заготовки обрабатывают партиями.

В серийном производстве процесс изготовления деталей построен по принципу дифференциации операций. Отдельные операции закреплены за определенным рабочим местом. Поэтому для этого типа производства характерна необходимость переналадки технологического оборудования при переходе на изготовление деталей другой партии. Для выполнения различных операций используют универсальные металлорежущие станки, оснащенные как универсальными, так и универсально-сборными и специальными приспособлениями. Находят применение также специализированные, специальные автоматизированные, агрегатные станки. Довольно широко используются

станки с числовым программным управлением, в том числе многоцелевые; получают распространение гибкие производственные системы. Целесообразно применение специального режущего инструмента, а также применение специальных мер и измерительных приборов.

При необходимости выбор технологического оборудования и оснастки должен быть обоснован соответствующими технико-экономическими расчетами.

Оборудование может быть расположено по групповому признаку или по потоку (в крупносерийном производстве).

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

Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция.

Для массового производства коэффициент закрепления операций равен, как правило, единице.

В массовом производстве применяется высокопроизводительное оборудование: специальные, специализированные и агрегатные станки, станки для непрерывной обработки, многошпиндельные автоматы и полуавтоматы, автоматизированные производственные системы, управляемые от ЭВМ, автоматические линии; находят также ограниченное применение станки с ЧПУ. Широко применяется многолезвийный и наборный специальный режущий инструмент, быстродействующие, автоматические и механизированные приспособления, измерительные инструменты и приборы. Характерным для технологических процессов является высокий уровень использования средств автоматизации и комплексной механизации. Типичным примером массового производства являются предприятия, на которых изготавливаются автомобили, тракторы, мотоциклы, подшипники качения, велосипеды, швейные машины и т.д.

В крупносерийном и массовом производствах широко применяется поточная форма организации производства. **Поточное производство характеризуется расположением средств технологического оснащения в последовательности выполнения операций технологического процесса с определенным интервалом выпуска изделий.**

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

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

При проектировании технологических процессов для поточного производства определяется **такт выпуска – интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий** или заготовок определенных наименований.

Такт выпуска определяется по формуле:

$$T = \frac{F_d \cdot 60 \cdot \eta}{N}, \quad (1.2)$$

где F_d – действительный фонд времени в планируемом периоде (год, месяц, сутки), ч.;

η – коэффициент, учитывающий потери по организационно-техническим причинам, потери от переналадки оборудования и др.;

N – производственная программа на планируемый период.

Зная такт выпуска, при необходимости, нетрудно определить ритм выпуска – это количество изделий и заготовок, определенных наименований, типоразмеров и исполнения, выпускаемых в единицу времени.

Поточное производство может быть организовано по двум основным формам: непрерывно-поточной и прерывно-поточной (прямоточной).

В непрерывно-поточном производстве рабочие места расположены в порядке последовательности выполнения технологического процесса, образуя поточную линию; каждая операция закреплена за определенным рабочим местом. Предмет труда перемещается непрерывно с одного рабочего места на другое без пролеживания. Нормы времени на выполнение операций должны быть равны или кратны такту (ритму).

В прерывно-поточном производстве рабочие места расположены так же как и в непрерывно-поточном. Однако, длительность выполнения различных операций не равна и не кратна такту (ритму). Поэтому, естественно, движение предметов по некоторым операциям прерывается. Неизбежно либо пролеживание предметов труда, либо простой рабочих мест. Эти линии организуют в тех случаях, когда не удается произвести синхронизацию операций, то есть добиться равенства или кратности длительности времени выполнения операции.

В зависимости от номенклатуры одновременно обрабатываемых изделий **поточные линии** подразделяются на: **однономенклатурные** и **многономенклатурные**.

Дальнейшее совершенствование поточного производства привело к созданию автоматических линий, на которых все операции выполняются с установленным тактом на рабочих местах, оснащенных автоматическим оборудованием. Транспортировка предметов труда на таких линиях осуществляется также автоматически.

Высшей формой развития автоматизированного производства являются гибкие автоматизированные системы (ГПС).

ГЛАВА II

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

В этой главе используются материалы, изложенные в источниках / 7, 9, 25 /.

Изучение закономерностей качественного или количественного характера в массовых явлениях составляет основную цель математической статистики, а также любого исследования, выполняемого при помощи ее методов.

Математическая статистика базируется на теории вероятностей, которая, являясь разделом математики, отражает в абстрактной форме закономерности, присущие случайным событиям массового характера. Поэтому выводы теории вероятностей и основанной на ней математической статистики могут быть применимы к самым разнообразным явлениям окружающего нас мира. Математическая статистика нашла широкое применение во многих областях науки и техники, в том числе и технологии машиностроения.

Математическая статистика дает методы, при помощи которых можно с достаточной для практики надежностью изучить закономерности массовых явлений, описывать важнейшие свойства их и устанавливает связи между ними, не прибегая при этом к массовому обследованию изучаемых объектов или явлений, а выборочно обследуя сравнительно небольшое количество объектов. Эти методы составляют содержание особой теории, носящей название теории выборок.

Математическая статистика в своих выводах базируется на ряде положений теории вероятностей, поэтому необходимо познакомиться с этими положениями.

2.1. Основные понятия и определения

В теории вероятностей и математической статистике часто используются **специфические понятия**, из которых основными являются следующие: **событие, испытание (опыт), случайная величина, вероятность, частота и частость**.

Под событием понимается явление, которое происходит в результате осуществления какого-либо определенного комплекса условий. Осуществление этого комплекса условий принято называть опытом или испытанием. События обычно обозначают прописными буквами латинского алфавита А, В, С и т.д.

Событие называется достоверным, если оно обязательно произойдет в результате данного опыта.

Событие называется невозможным, если оно не может произойти в результате данного испытания.

Если при испытании может произойти событие А либо В, либо С и так далее, такие события называются возможными или случайными.

Следовательно, случайным называется событие, которое может произойти или не произойти в результате некоторого испытания (опыта).

Например, если в ящике находится сто деталей и среди них одна деталь дефектная, то извлечение из ящика этой детали будет случайным событием, так как оно может наступить или не наступить.

Теория вероятностей имеет дело не только со случайными событиями, но также со случайными величинами / 25 /. **Случайной величиной** называется **переменная величина**, которая в результате испытания может принять то или иное значение. *Например*, действительный размер детали, обработанной на станке, является случайной величиной, так как он может принять любое численное значение в пределах допуска на размер.

В жизни чаще встречаются события, сравнить или оценить возможность появления которых, основываясь на часто интуитивных соображениях, трудно. Многочисленные примеры показывают, что каждое событие обладает определенной степенью возможности наступления, то есть определенной оценкой. Такую оценку событий называют вероятностью события.

Вероятность события – это **численная мера** объективной возможности **его появления**. Вероятность какого-либо события А обозначается **символом Р(А)**. Вероятность является одним из основных понятий теории вероятностей. **Существуют классическое и статистическое** определения этого понятия.

По классическому определению вероятностью события А называется число случаев **m**, благоприятствующих этому событию, к числу **n** всех возможных случаев данного класса испытаний:

$$P(A) = \frac{m}{n} .$$

При этом число всех случаев **n** должно быть конечно и все они должны быть равновозможные, несовместимы и независимы.

События называются равновозможными, если по условию испытания нет оснований считать какое-либо из них более возможным, чем любое другое. *Например*, появление "герба" и появление "решки" при бросании монеты – равновозможные события.

События называются несовместимыми, если в результате данного испытания появление одного из них исключает появление другого. *Например*, бросается монета. Появление "решки" исключает появление "герба", и наоборот. Поэтому появление "решки" и появление "герба" – несовместимые события.

Под независимыми событиями понимаются такие, появление которых не зависит от того, какое событие произошло перед этим. Под данным классом испытаний подразумевается совокупность неизменных условий, осуществление которых приводит к тому или иному событию.

Сформулированное классическое определение понятия вероятности позволяет вычислить вероятность какого-либо случайного события теоретически, не прибегая к опыту. Однако по различным причинам это не всегда возможно осуществить. Отмеченное обстоятельство продиктовало необходимость наравне с классическим определением пользоваться также статистическим определением вероятности. Такое опреде-

ление вероятности исходит из понятий *частота* и *частость*.

При изучении массовых явлений какое-либо случайное событие или случайная величина могут появляться несколько раз в процессе испытаний. Например, при N испытаниях событие A фактически появлялось K раз. Число K носит название частоты появления события A . Отношение K к общему числу испытаний N носит название частоты события A или относительной частотой, которую обозначают m_A :

$$m_A = \frac{K}{N}.$$

Например, на станке обработано сто деталей. При измерении деталей оказалось, что восемьдесят пять из них имеют размеры, лежащие в пределах допуска, а размеры остальных выходят за пределы допуска. Следовательно, частость события A , заключающегося в появлении годных деталей при ста испытаниях, составляет

$$m_A = \frac{85}{100}.$$

Частость события B – появление брака:

$$m_B = \frac{15}{100}.$$

Если случайное событие имеет устойчивую частость в серии массовых испытаний, то есть в каждой серии испытаний частость этого события изменяется незначительно и колеблется вблизи некоторого положительного числа, то это число и принимается за вероятность данного события. Например, если в результате достаточно большого числа испытаний оказалось, что частость появления события A была близка к числу 0,5, то это число и будет приближенно равно вероятности события A .

Вычисленную таким способом вероятность называют статистической, так как она получена в результате опытов.

Вышеизложенные положения позволяют выделить следующие основные свойства:

1. Вероятность достоверного события A_1 равна единице:

$$P(A_1) = 1$$

2. Вероятность невозможного события A_2 равно нулю:

$$P(A_2) = 0$$

3. Вероятность случайного события A_3 :

$$0 < P(A_3) < 1$$

Вероятности случайных событий или величин можно складывать и умножать. Правила этих действий изложены в специальной литературе / 25 / и др.

Статистическое определение вероятности позволяет сделать вывод, что между вероятностью и частостью какого-либо события существует приближенное равенство:

$$P(A) = \frac{m}{n} \approx \frac{K}{N},$$

которое будет тем точнее, чем больше число испытаний N . Это положение было теоретически доказано Я.Бернули и составляет содержание теоремы, носящей его имя / 25 /.

2.2. Случайные величины и их распределение

Случайные величины подразделяются на *дискретные* и *непрерывные*.

Возможности случайных величин принимать при испытаниях те или иные численные значения оцениваются при помощи вероятностей.

Совокупность значений случайной величины, **расположенных в возрастающем порядке** с указанием их вероятностей, *называется распределением случайных величин*. В теоретических распределениях оценка возможных значений случайной величины производится при помощи вероятностей, а в эмпирических – при помощи частот или частостей, полученных в результате опытов и испытаний. Следовательно, эмпирическим распределением случайной величины называется совокупность наблюдаемых ее значений, расположенных в возрастающем порядке, с указанием соответствующих частот или частостей.

Распределение случайных величин можно представить в виде табл. 2.1 и табл.2.2 или графика, составленного на основании табл.2.2 (рис.2.1).

Таблица 2.1

Теоретическое распределение случайной дискретной величины

x	x_1	x_2	x_3	x_4	...	x_n	
p(x)	p(x ₁)	p(x ₂)	p(x ₃)	p(x ₄)	...	p(x _n)	$\sum_{i=1}^n p(x_i) = 1$

Таблица 2.2

Эмпирическое распределение случайной дискретной величины

x	0	1	2	3	4	5	
p(x)	$\frac{1}{32}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{10}{32}$	$\frac{10}{32}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{1}{32}$	$\sum_{i=0}^5 p(x_i) = 1$

Таблица 2.3

Эмпирическое распределение случайной непрерывной величины

Интервалы значений x	Частота K_i	Частость m_i
20 – 20,05	2	0,02
20,05 – 20,10	10	0,10
20,10 – 20,15	24	0,24
20,15 – 20,20	30	0,30
20,20 – 20,25	22	0,22
20,25 – 20,30	10	0,10
20,30 – 20,35	2	0,02

$$\sum K_i = 100 \quad \sum m_i = 1$$

Распределение случайной непрерывной величины может быть представлено также в виде таблицы и в виде графиков. В этом случае для составления таблицы практического распределения в совокупности значений случайной величины находят ее максимальное (x_{max}) и минимальное (x_{min}) значения, затем определяют поле рассеяния

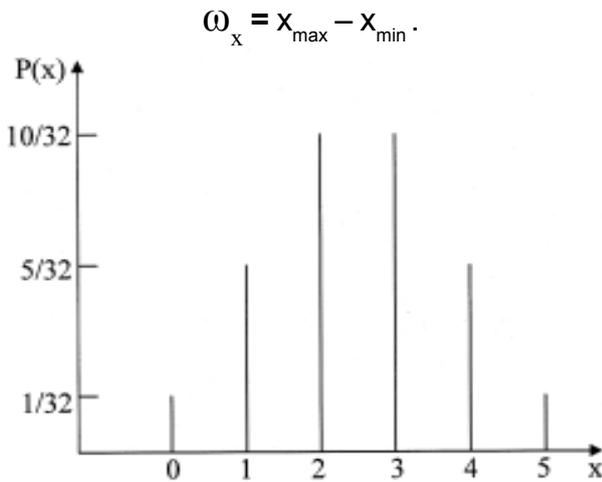


Рис. 2.1. График распределения дискретной случайной величины

Значения случайной величины, составляющие совокупность, делят на равные интервалы. Их число определяют из отношения

$$n = \frac{\Omega}{a}$$

где a – значение избранного интервала.

Затем по интервалам подсчитываются частоты и частости. Поэтому таблица эмпирического распределения случайной непрерывной величины будет иметь вид, представленный в табл.2.3.

Практическое распределение случайной непрерывной величины графически может быть представлено либо гистограммой распределения (ступенчатого графика), либо практической кривой (полигоном) распределения (рис.2.2).

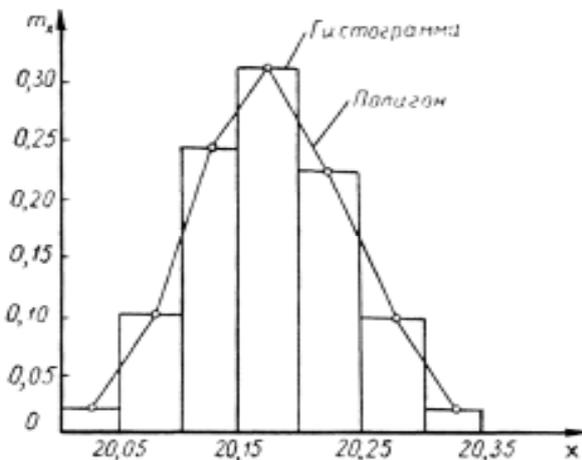


Рис. 2.2. График распределения случайной величины непрерывного типа

При теоретических описаниях и изучении случайных непрерывных величин затруднительно производить их разбивку на интервалы. Поэтому во избежание этих затруднений вводится понятие функции распределения, которое является наиболее общей формой закона распределения случайной величины.

Пусть X – случайная величина, а x – какое-либо действительное число, при этом $X < x$, и этому событию отвечает вероятность $P(X < x)$, которая, очевидно, является функцией x , то есть $P(X < x) = F(x)$.

$F(x)$ называется функцией распределения ве-

роятностей случайной величины или **интегральной функцией распределения**. Таким образом, интегральная функция распределения определяет вероятность того, что случайная величина X при испытаниях примет значение меньше произвольно изменяемого действительного числа x ($-\infty < x < +\infty$). Случайная величина считается заданной, если известна ее функция распределения.

Для дискретной случайной величины интегральная функция распределения $F(x)$ легко определяется по таблице или графику распределения. Например, по графику (рис.2.3) $F(x)$ для любого значения x равна сумме вероятностей тех значений X , которые лежат влево от точки x . Например, для $X < 3$.

$$P(X < 3) + P(x = 0) + P(x = 1) + P(x = 2) = \frac{1}{32} + \frac{5}{32} + \frac{10}{32} + \frac{16}{32}$$

Интегральную функцию распределения можно представить в виде графика, если по оси абсцисс откладывать значения x , а по оси ординат значения $F(x) = P(X < x)$.

Для случайной дискретной величины график интегральной функции распределения будет иметь вид ступенчатой кривой. На рис.2.3 представлен такой график, построенный по данным табл.2.2.

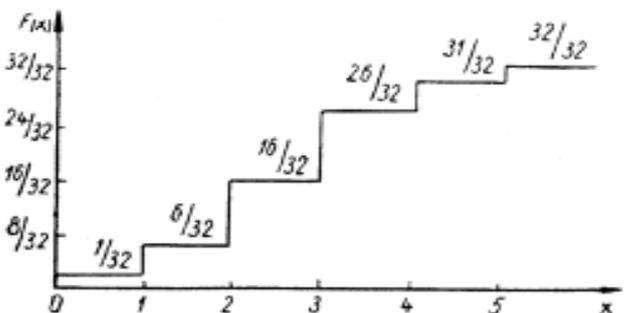


Рис. 2.3. График интегральной функции распределения дискретной случайной величины

Ординаты такой кривой для любого значения x будет представлять сумму вероятностей предшествующих значений x , то есть

$$F(x) = P(X < x)$$

Если известны $F(x_1)$ и $F(x_2)$, то есть ординаты интегральной кривой для двух произвольных точек, взятых по оси абсцисс, то известны и вероятности событий, заключающихся в том, что значения случайной величины X при испытаниях окажутся меньше, чем x_1 или x_2 , так как

$$F(x_1) = P(X < x_1); F(x_2) = P(X < x_2).$$

Выполняя определенные действия и преобразования, можно записать / 25 /:

$$P(x_1 < X < x_2) = F(x_2) - F(x_1).$$

Таким образом, вероятность того, что случайная величина при испытаниях окажется в границах от x_1 до x_2 , равна приращению интегральной функции распределения на этом участке.

Для случайной непрерывной величины график функции распределения будет иметь вид монотонно возрастающей кривой (рис.2.4), а сама функция будет дифференцируемой. Производная $f(x) = F'(x)$ функции распределения $F(x)$ случайной непрерывной

величины x называется плотностью вероятности или **дифференциальным законом распределения** этой случайной величины.

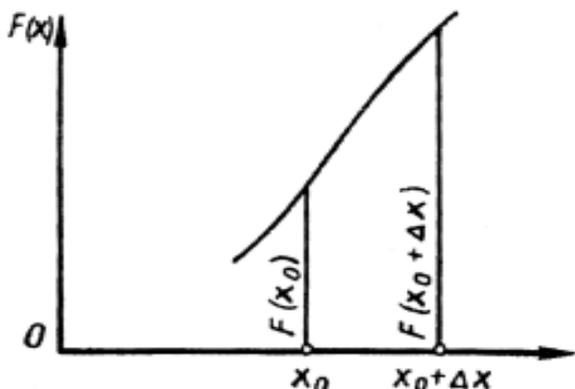


Рис. 2.4. Вид кривой интегральной функции распределения непрерывной случайной величины

Графически дифференциальный закон распределения может быть представлен кривой линии, построенной в координатах $X, \varphi(x)$, рис.2.5. Отмеченные обстоятельства подробно изложены в источнике /25/.

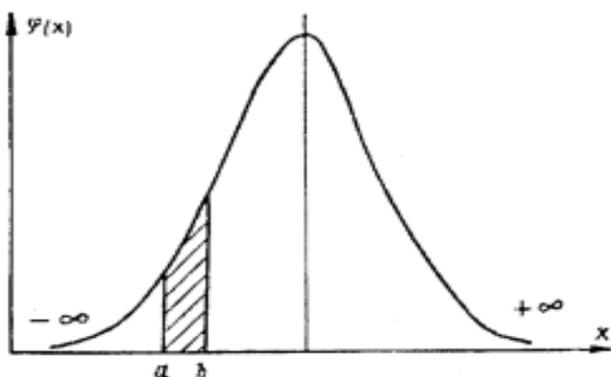


Рис. 2.5. Вид кривой дифференциальной функции распределения случайной величины непрерывного типа

Зная плотность вероятности, можно определить вероятность того, что значение случайной величины X окажется в интервале от a до b :

$$P(a < X < b) = \int_a^b \varphi(x) dx$$

В данном случае вероятность будет равна площади участка с основанием a и b , ограниченного сверху кривой плотности вероятности.

Очевидно, что если случайная величина X изменяется в пределах $\pm \infty$, то вероятность того, что она при испытаниях примет любое значение в интервале $\pm \infty$, равна 1, то есть

$$P(-\infty < X < +\infty) = F(+\infty) - F(-\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x) dx = 1$$

В литературе, посвященной теории вероятностей и математической статистике, подробно изложены характеристики распределения случайных величин, а также их основные свойства, например, в источнике /25/.

Однако в ряде теоретических и практических задач оказывается достаточным знание отдельных числовых характеристик.

В качестве мер, применяемых для положения центра группирования случайной величины, используются математическое ожидание и среднее арифметическое значение, в качестве мер рассеяния случайной величины около этого центра – дисперсия, среднее квадратическое отклонение и размах.

Математическим ожиданием дискретной случайной величины X (Mx) называется сумма произведений возможных ее значений на соответствующие вероятности

$$Mx = \sum_{i=1}^n x_i p(x_i), \tag{2.1}$$

где n – число возможных значений x .

Например, случайная величина имеет следующее распределение:

x_i	...	0	1	2	3	
$p(x_i)$...	0,2	0,3	0,4	0,1	$\sum_0^3 p(x_i) = 1$

Математическое ожидание составит величину:

$$Mx = 0 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,1 = 1,4$$

Математическое ожидание случайной непрерывной величины определяется определенным интегралом от произведения плотности вероятности $\varphi(x)$ на действительное переменное x , взятый в пределах от $+\infty$ до $-\infty$

$$Mx = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot \varphi(x) dx \tag{2.2}$$

В практических задачах положение центра группирования Mx характеризует среднее арифметическое значение случайной величины (X). Это значение определяется суммой произведений наблюдаемых значений случайной величины на их частоты:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^m x_i k_i \tag{2.3}$$

где k_i – частота значений x_i ; m – число отдельных значений x_i ; n – общее число значений x_i .

Пример. Дано следующее распределение случайной дискретной величины:

x_i	1	2	3	4	5	
k_i	2	4	2	1	1	$\sum k_i = 10$

Величина \bar{X} будет равна

$$\bar{X} = \frac{1}{10} (1 \cdot 2 + 2 \cdot 4 + 3 \cdot 2 + 4 \cdot 1 + 5 \cdot 1) = 2,5$$

При решении аналогичной задачи для случайной непрерывной величины в качестве x_i берется значение середины интервала. Например, при интервале $2 - 6 - x_i = 4$ и т.д.

В качестве мер положения используются также такие характеристики, как медиана (Me) и мода (Mo) /25/, которые в данном учебном пособии не рассматриваются.

В практических условиях наиболее часто мерами рассеяния являются: дисперсия – D_x или σ^2 ; среднее квадратическое отклонение – σ ; размах W .

Дисперсией случайной дискретной величины называется сумма произведения квадратов отклонений случайной величины x от ее математического ожидания на соответствующие вероятности:

$$D_x = \sum_1^n (x_i - m_x)^2 \cdot \rho(x_i) \quad (2.4)$$

Для случайной непрерывной величины дисперсия определяется по формуле

$$D_x = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x) \cdot (x_i - m_x)^2 dx \quad (2.5)$$

Для эмпирического распределения дисперсию обозначают символом σ^2 и определяют ее как сумму произведений квадратов отклонений наблюдаемых значений случайной величины от ее среднего арифметического значения \bar{X} на соответствующие частоты, то есть

$$y^2 = \sum_1^m (x_i - \bar{X})^2 \frac{k_i}{n} = \frac{1}{n} \sum_1^m (x_i - \bar{X})^2 \cdot k_i \quad (2.6)$$

Дисперсия имеет размерность, представляющую квадрат размерности самой случайной величины. На практике это неудобно. Поэтому чаще пользуются не самой дисперсией, а корнем квадратным из нее, взятым со знаком плюс и называемым средним квадратическим отклонением:

$$y = +\sqrt{D_x} ,$$

$$y = +\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{X})^2 \cdot k_i}{n}} . \quad (2.7)$$

Размахом или ширитой распределения пользуются как мерой рассеяния в эмпирических распределениях при малом числе наблюдений, когда $n < 10$. Размахом называется разность между наибольшим и наименьшим наблюдаемыми значениями случайной величины

$$W_x = x_{max} - x_{min} .$$

Следует отметить понятие середины поля рассеяния - $\Delta_w = 0,5 (x_{max} + x_{min})$. В симметричных распределениях центр группирования M_x оказывается совмещенным с Δ_w .

В литературе, посвященной теории вероятностей и математической статистики, рассмотрены основные свойства дисперсий и средних квадратических отклонений, а также понятия о моментах распределения. Например, в источнике / 25 /.

2.3. Законы распределения случайных величин

Распределение случайных величин при наличии определенных условий могут подчиняться вполне определенным законам, которые изучаются в теории вероятностей. Наибольшее практическое значение в технологии машиностроения имеет закон нормального распределения или закон Гаусса. Этому закону подчиняются многие случайные непрерывные величины. Например, погрешности измерений, действительные размеры деталей, обработанных на настро-

енных станках или мерным инструментом и многие другие.

Широкое применение закона нормального распределения в технологии машиностроения находит свое теоретическое объяснение в теореме Ляпунова. Ниже приводится описание следствия из этой теоремы / 25/.

Если случайная величина X представляет сумму очень большого числа взаимно независимых случайных величин $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, влияние каждой из которых на всю сумму ничтожно мало, то независимо от того, каким законом распределения подчиняются слагаемые $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, сама величина X будет иметь распределение вероятностей, близкое к нормальному, и тем точнее, чем больше число слагаемых.

Отмеченное обстоятельство дает теоретическое объяснение тому, что при устойчивом процессе обработки деталей на настроенных станках действительные размеры подчиняются закону нормального распределения, так как результирующая погрешность обработки представляет собой сумму большого числа погрешностей, зависящих от станка, приспособления, инструмента и заготовки.

Дифференциальная функция распределения случайной величины непрерывного типа для этого закона имеет следующее выражение:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \bar{X})^2}{2\sigma^2}} , \quad (2.8)$$

где x – переменная случайная величина ($-\infty < x < +\infty$); $\varphi(x)$ – плотность вероятности; σ – среднее квадратическое отклонение x от \bar{X} ; e – основание натуральных логарифмов.

Графическое выражение рассматриваемого закона представлено на рис.2.6. Из вида кривой нормального распределения можно сделать вывод о том, что она симметрична относительно ординаты точки $x = \bar{X}$, то есть центра группирования.

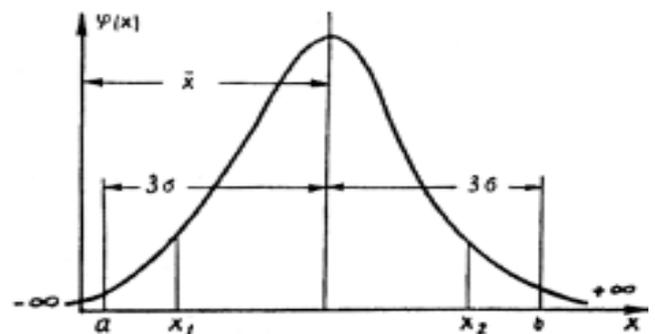


Рис.2.6. Теоретическая кривая нормального распределения

Положение этой кривой относительно начала координат и ее форма определяются двумя параметрами \bar{X} и σ (рис.2.7, 2.8).

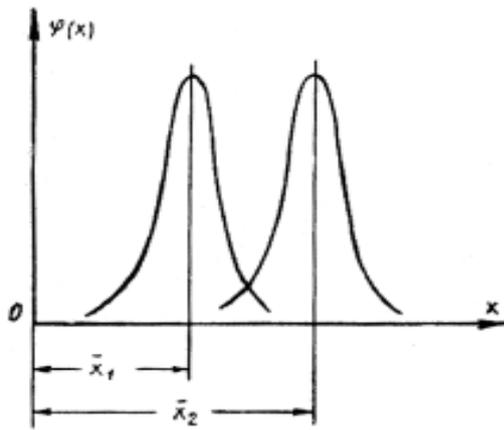


Рис.2.7. Влияние \bar{X} на положение кривой нормального распределения

Интегральный закон нормального распределения в общем виде может быть выражен так:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \varphi(x) dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} dx \quad (2.9)$$

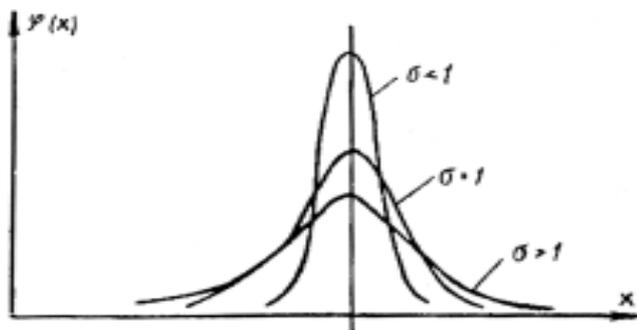


Рис.2.8. Влияние σ на форму кривой нормального распределения

Интегральная кривая нормального распределения представлена на рис.2.9.

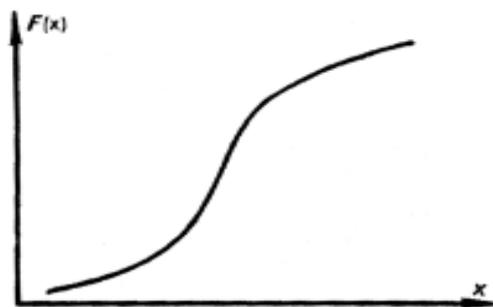


Рис.2.9. Интегральная кривая нормального распределения

Если изменение случайной величины x следует закону нормального распределения, она может принимать любые значения в пределах $\pm \infty$, поэтому

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

Вероятность $p(-\infty < x < +\infty) = 1$ представляет

собой площадь под дифференциальной кривой нормального распределения. Очевидно, что вероятность значений x в любом другом интервале $x_1 - x_2$ (рис.2.6) будет меньше единицы:

$$P(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} dx \quad (2.10)$$

Для облегчения вычислений эту формулу с помощью нормирующего множителя $t = \frac{x-\bar{X}}{\sigma}$ можно привести к виду:

$$P(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (2.11)$$

Новые пределы интегрирования $t_1 = \frac{x_1 - \bar{X}}{\sigma}$ и $t_2 = \frac{x_2 - \bar{X}}{\sigma}$ заменили пределы x_1 и x_2 .

Делая некоторые преобразования интеграла (2.11), можно записать:

$$P(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_0}^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt - \int_{t_0}^{t_1} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (2.12)$$

Интеграл $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{t_1} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi(t)$ называют нор-

мированной функцией **Лапласа**, и его значения для различных $t = \frac{x-\bar{X}}{\sigma}$ приводят в таблицах, именуемых “Значения функции Лапласа”.

При использовании этих таблиц решение задачи по определению вероятности того, что случайная величина x находится в пределах $x_1 - x_2$ сводится к нахождению разности между двумя значениями t_1 и t_2 функции Лапласа:

$$P(x_1 < x < x_2) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = \Phi\left(\frac{x_2 - \bar{X}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - \bar{X}}{\sigma}\right)$$

В технике и многих других прикладных науках считают, что практическая зона рассеяния случайной величины x , подчиняющейся закону нормального распределения, лежит в пределах $\bar{X} \pm 3\sigma$, то есть в пределах 6σ (рис.2.6).

Легко убедиться в том, что значения случайной величины x будут лежать в интервале от $\bar{X} - 3\sigma$ до $\bar{X} + 3\sigma$ с вероятностью, близкой к единице.

Для данного случая $P(x_a < x < x_b) = P[(\bar{X} - 3\sigma) < x < \bar{X} + 3\sigma] = \Phi(t_2) - \Phi(t_1)$.

Так как $x_a = \bar{X} - 3\sigma$; $x_b = \bar{X} + 3\sigma$,

тогда $t_1 = -3$, а $t_2 = +3$.

Следовательно, можно записать

$$P[(\bar{X} - 3\sigma) < x < \bar{X} + 3\sigma] = \Phi(3) - \Phi(-3) = 2\Phi(3).$$

Согласно таблицам, содержащим значение функции Лапласа, $2\Phi(3) = 0,9973$. Это означает, что вероятность нахождения случайной величины вне указанного интервала очень мала (0,0027).

Распределение случайной величины по закону нормального распределения является следствием действия многих факторов случайного характера, имеющих примерно одинаковую степень активности и независимых (или слабо зависящих) один от другого. Однако такой комплекс условий не всегда оказывается полным. Его нарушение приводит к определенным отклонениям закона распределения от нормального. Отмеченные отклонения рассмотрены в источниках /7, 25 и др./.

На практике распределения случайные величины могут быть подчинены другим законам. Их много /25/. Рассмотрим лишь два из них: закон **равной вероятности** и закон **Симпсона** (закон *равнобедренного треугольника*). Отмеченные законы имеют практическое значение в технологии машиностроения.

Закон равной вероятности

Этот закон встречается, когда наряду со случайными факторами, вызывающими рассеяние, действует доминирующий фактор, непрерывно и равномерно изменяющий во времени положение центра группирования Mx .

Закон распределения случайной величины непрерывного типа обычно задается либо с помощью плотности вероятности – $\varphi(x)$, либо с помощью функции распределения – $F(x)$. Если непрерывная случайная величина x при испытаниях принимает все значения интервала $(a - \epsilon)$ с одинаковой плотностью вероятности, то распределение плотности вероятности графически будет выражаться в виде прямоугольника с основанием $a\epsilon$ и высотой $\varphi(x) = \text{const}$ (рис.2.10). Такой закон распределения случайной непрерывной величины называется законом равной вероятности, а само распределение – равномерным.

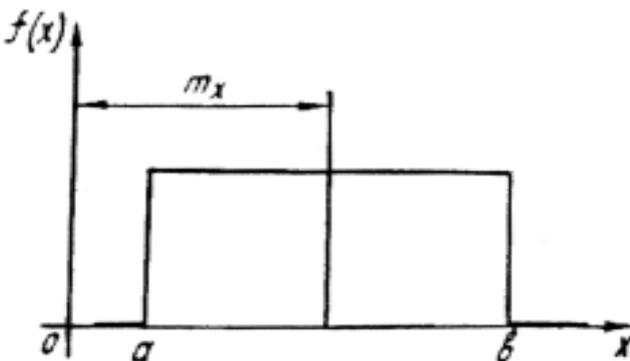


Рис.2.10. Распределение случайной величины по закону равной вероятности

При интервале изменений случайной величины x от a до b

$$P(a < x < b) = \int_a^b \varphi(x) dx = 1,$$

то есть вероятность того, что случайная величина x при испытаниях будет принимать значения в интервале $(a - \epsilon)$, равна площади под дифференциальной кривой распределения. Согласно (рис.2.10) эта площадь представляет собой прямоугольник с основанием $a\epsilon$ и высотой $\varphi(x)$, следовательно

$$(b - a) \varphi(x) = 1.$$

Отсюда уравнение дифференциальной функции распределения или плотности вероятности будет иметь следующее выражение:

$$\varphi(x) = \frac{1}{b - a} \quad (a \leq x \leq b); \quad (2.13)$$

$$\varphi(x) = 0 \quad (x > b; x < a).$$

Уравнение интегральной функции равномерного распределения будет иметь следующий вид / 25 /:

$$F(x) = \frac{1}{b - a} (x - a), \quad (2.14)$$

$$(a < x < b).$$

При этом $F(x) = 0$, когда $x < a$ и $F(x) = 1$, когда $x \geq b$.

Математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратическое отклонение, соответственно, равны /7/:

$$Mx = \frac{b+a}{2}; \quad Dx = \frac{(b-a)^2}{12}; \quad y = \frac{b-a}{2\sqrt{3}}$$

Закон Симпсона

При определенных условиях кривая распределения случайной величины имеет вид равнобедренного треугольника, из-за чего закон Симпсона часто называют **законом треугольника** (рис.2.11).

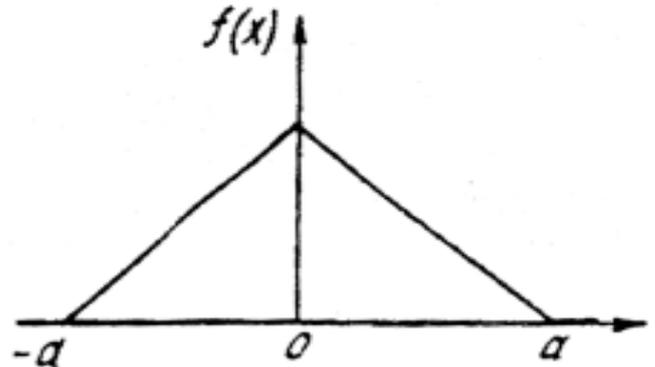


Рис.2.11. Распределение случайной величины по закону Симпсона

При выборе в качестве начала отсчета случайной величины ее математическое ожидание и характеристики имеют следующий вид / 7 /:

$$\varphi(x) = \frac{1}{a} \left(1 - \frac{|x|}{a}\right) \quad \text{при } -a < x < a, \quad (2.15)$$

$$\varphi(x) = 0 \quad \text{при } x < -a; x > a, \quad (2.16)$$

$$Mx = 0; \quad Dx = \frac{a^2}{6}; \quad y = \frac{a}{\sqrt{6}}.$$

Если распределения по законам Симпсона и равной вероятности рассматривать как отклонения от закона нормального распределения, то можно отразить и количественную сторону этих отклонений с помощью коэффициента λ , который называют относительным средним квадратическим отклонением:

$$\lambda = \frac{2\sigma}{\omega_x},$$

где ω_x – поле рассеяния.

Подставив в эту формулу величины σ и ω_x , соответствующие трем рассмотренным законам распределения случайной величины, получим для каждого из них свое значение коэффициента λ [17].

Таблица 2.4
Значения относительного среднего квадратического отклонения

Закон распределения	σ	ω_x	λ
Нормальный (Гаусса)	σ	6σ	$\frac{1}{3}$
Симпсона	$\frac{a}{\sqrt{6}}$	$2a$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$
Равной вероятности	$\frac{b-a}{2\sqrt{3}}$	$b-a$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$

2.4. Выборочный метод

К числу основных задач математической статистики относится разработка методов изучения массовых явлений или процессов на основе сравнительно небольшого количества наблюдений или опытов. Научное обоснование таких методов находит отражение в теории выборок.

К основным понятиям и определениям теории выборок относятся следующие:

1. Генеральная совокупность и выборка из нее

Статистической совокупностью называется группа предметов, объединенных каким-либо общим признаком или свойством **качественного или количественного характера**. Члены этой совокупности – это образующие ее предметы. Общее число членов совокупности составляет ее объем. Эмпирическая совокупность содержит конечное число членов, полученных в результате испытаний.

В математической статистике для обследования эмпирической совокупности большого объема прибегают к выборкам из нее.

Выборкой называется часть членов совокупности, отобранных из нее для получения сведений обо всей совокупности. В этом случае **совокупность, из которой извлекается выборка**, называется **генеральной совокупностью**.

Число членов, образующих выборку, определяет ее объем.

Для того, чтобы по данным выборки можно было бы достаточно уверенно судить об интересующем нас признаке генеральной совокупности, объекты выбор-

ки должны правильно его представлять. Это **требование** коротко формулируется так: **выборка должна быть репрезентативной** (представительной).

2. Виды выборок

По способу образования выборки делятся на **повторные и бесповторные**.

Повторная выборка образуется путем последовательного извлечения из генеральной совокупности несколько членов с возвратом каждого из них, после соответствующего обследования, обратно в генеральную совокупность. При извлечении следующего объекта из совокупности не исключена возможность снова достать его же. Если из генеральной совокупности произведено n таких извлечений объекта, то говорят, что образована повторная выборка объекта n .

Бесповторная выборка образуется путем извлечения некоторого числа членов генеральной совокупности для необходимого обследования, без возврата этих членов совокупности.

По преднамеренности отбора выборки делятся на **пристрастные и случайные**.

Если при отборе из генеральной совокупности членов для выборки отдается предпочтение одним членам совокупности перед другими, то такая **выборка считается пристрастной**. Например, из партии деталей отбираются только детали, имеющие действительные размеры больше наибольших предельных размеров.

Выборка считается случайной, если все объекты генеральной совокупности имеют равную возможность попасть в выборку. Для образования случайных выборок пользуются либо отбором по жребию, либо путем тщательного перемешивания предметов в емкости и отбора наудачу из разных мест емкости.

По отношению к времени образования выборки подразделяются на **временные** (текущие) и **единовременные**.

Временной или текущей выборкой называется такая, которая составлена из объектов, изготовленных последовательно за определенный промежуток времени. Например, пять деталей, изготовленных подряд на станке в течение определенного времени, будут представлять бесповторную временную выборку из совокупности деталей, изготовленных до момента взятия этой выборки.

Единовременной выборкой называется такая, которая извлекается из продукции после ее изготовления, когда экзemplяры, входящие в партию, перемешаны между собой.

По объему выборки делятся на **большие и малые**.

Выборка считается большой, когда ее объем равен или больше 25. Выборка считается малой, когда ее объем меньше 25 членов. В условиях производства обычно большая выборка содержит 50-100 членов и более, малая – 5-10 членов.

Выборочный метод используется при решении двух основных задач, имеющих большое практическое значение. Первая задача заключается в установлении закона распределения изучаемой случайной величины и параметров этого распределения. Практическое использование результатов решения такой

задачи будет рассмотрено в главе 6.

Вторая задача посвящена статистической проверке гипотез, выдвигаемых при различных производственных условиях. Решение этой задачи подробно рассмотрено в специальной литературе / 25 / и др. /.

При решении первой задачи используются следующие основные положения / 25 /. На основании закона больших чисел можно утверждать, что, если генеральная совокупность подчиняется определенному закону распределения, то и выборка из этой совокупности будет подчиняться этому же закону, если ее объем достаточно велик. Утверждение будет тем точнее, чем больше объем выборки.

Эмпирическая совокупность может быть рассмотрена как выборка большого объема из генеральной совокупности, которая подчиняется определенному закону распределения. Поэтому с определенной степенью точности и надежности характер эмпирического распределения позволит установить близкое ему теоретическое распределение. В ряде случаев это распределение можно установить заранее, с использованием положений теории вероятностей. Отмеченное обстоятельство можно проиллюстрировать рядом примеров. Основываясь на теореме Ляпунова, можно считать, что суммарная величина случайных погрешностей размеров поверхностей при их обработке на настроенных металлорежущих станках подчиняется закону нормального распределения. То же можно утверждать о суммарной погрешности измерения и многих других технических величинах, подверженных колебаниям под действием большого количества факторов.

Когда закон распределения может быть заранее установлен, задача сводится к нахождению неизвестных его параметров. Для нормального распределения определяется среднее арифметическое значение величины \bar{X}_0 и ее среднего квадратического отклонения σ_0 .

Оценка параметров распределения генеральной совокупности может быть практически произведена только на основании данных выборки из этой совокупности.

По выборке из генеральной совокупности можно определить статистические характеристики этой выборки \bar{X} и S . С некоторым приближением считают, что они по своим величинам будут близки к соответствующим x параметрам генеральной совокупности \bar{X}_0 и σ_0 , то есть являться их оценками. Оценки должны быть состоятельными, не совмещенными и эффективными. Только в этом случае они достаточно правильно и близко могут характеризовать параметры генеральной совокупности.

Выполнение указанных требований подробно рассмотрено в специальной литературе / 25 / и др. /.

При использовании выборочного метода важное значение приобретают свойства выборочной средней (\bar{X}) и выборочной дисперсии (S^2).

В краткой форме рассмотрим эти свойства / 25 /

1. Средняя арифметическая \bar{X} и дисперсия вы-

борки S^2 будут как угодно отличаться от параметров генеральной совокупности \bar{X}_0 и σ_0^2 , то есть $\bar{X}_0 \approx \bar{X}$; $\sigma_0^2 = S^2$, если $n > \infty$, где n – объем выборки.

2. Ошибка вычисления \bar{X}_0 по средней выборке \bar{X} зависит от ее объема n и равна

$$\pm \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2.17)$$

Ошибка вычисления σ_0 по среднему квадратическому отклонению S выборки зависит от ее объема n и равна

$$\pm \frac{S}{2\sqrt{n}} \quad (2.18)$$

3. При нормальном распределении величины x в генеральной совокупности со средней арифметической \bar{X} и дисперсией σ_0^2 средние арифметические \bar{X} выборок из этой совокупности будут также подчинены нормальному распределению со средней $\bar{X} \approx \bar{X}_0$ и дисперсией $\sigma^2_{\bar{X}} = \frac{\sigma_0^2}{n}$, каков бы ни был объем выборок n , лишь бы число выборок было достаточно велико.

4. Если дисперсия σ_0^2 генеральной совокупности неизвестна, то для больших значений n с большой вероятностью малой ошибки можно дисперсию выборочных средних вычислять приближенно, по равенству

$$\sigma^2_{\bar{X}} = \frac{S^2}{n} \quad (2.19)$$

где S^2 – дисперсия большой выборки объема n , вычисляемая по формуле

$$S^2 = \frac{\sum Ki(x_i - \bar{X})^2}{n} \approx \sigma_0^2 \quad (2.20)$$

5. Приведенная выше связь дисперсии выборочных средних $\sigma^2_{\bar{X}}$ с дисперсией генеральной совокупности σ_0^2 в виде соотношения

$$\sigma^2_{\bar{X}} = \frac{\sigma_0^2}{n} \approx \frac{S^2}{n}$$

действительна для повторных выборок.

Так как разность объектов генеральной совокупности N и выборка n очень велика, то для бесповторных выборок можно пользоваться равенством (2.19), при этом ошибка будет весьма ничтожной.

Из свойств выборочных средних и дисперсии

следует, что точность вычислений \bar{X}_0 и σ_0^2 по данным выборки из нее зависит от объема выборки, причем точность возрастет с ростом объема выборки. Однако практически не всегда бывает возможным или легко осуществимым взятие больших выборок или проведение большого числа наблюдений. В этих случаях важно сделать оценку точности и надежности приближенных равенств $\bar{X}_0 \approx \bar{X}$; $\sigma_0 \approx S$.

Такую оценку можно произвести по рекомендациям, изложенным в специальной литературе / 25 /.

РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

Рассмотренные основные положения теории вероятностей и математической статистики используются при решении различных задач в технологии машиностроения:

- статистическая проверка гипотез,
- корреляционные связи,
- применение статистических методов в технологических исследованиях,
- статистический анализ технологических процессов и ряд других / 25 /.

В главе 3 используются законы распределения случайных величин при изложении вероятностного метода расчета размерных цепей.

Некоторые вопросы статистического анализа технологических процессов и предупредительного статистического контроля будут рассмотрены в главе 6.

Основные понятия, методы расчета линейных и угловых размерных цепей изложены в методических указаниях РД 50 - 635 -87 "Цепи размерные" / 33 /.

Размерные цепи отражают объективные размерные связи в конструкции машины, в технологических процессах изготовления ее деталей и сборки, при измерении.

Эти связи возникают в соответствии с условием и принятым решением конструкторской, технологической задачи или задачи измерения.

Свойства и закономерности размерных цепей отражаются системой понятий и аналитическими зависимостями, позволяющими производить расчет номинальных размеров, допусков, координат середин полей допусков и обеспечивать наиболее экономичным путем точность изделий при конструировании, изготовлении, ремонте и во время эксплуатации.

3.1. Основные понятия и определения

Размерной цепью называют совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур (рис.3.1 а, б, в, г, д, е), / 33 /.

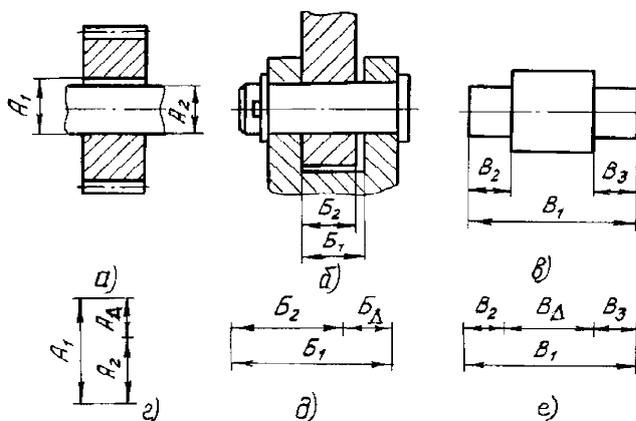


Рис.3.1. Линейные размерные цепи

Из представленного определения понятие о размерной цепи можно сформулировать в другом виде / 9 /. Размерной цепью называется совокупность размеров, расположенных по замкнутому контуру, определяющих взаимное расположение поверхностей или осей поверхностей одной детали (*поддетальная размерная цепь* – рис.3.1 в, е) или нескольких деталей в сборочной единице (*сборочная размерная цепь* – рис 3.1 а, б, г, д).

Замкнутость размерного контура – необходимое условие для составления и анализа размерной цепи. Однако на рабочем чертеже размеры следует проставлять в виде незамкнутой цепи; не проставляют размер замыкающего звена, так как он не требуется.

Схема размерной цепи – графическое изображение размерной цепи (рис.3.1 г, д, е). Размерные цепи

принято обозначать прописными буквами русского алфавита (А, Б, В...), если они образованы линейными размерами и строчными буквами греческого алфавита β, γ, \dots (кроме букв $\alpha, \delta, \epsilon, \omega$), если их составляют угловые размеры.

Размеры, образующие размерную цепь, называют звеньями размерной цепи. На схемах размерных цепей звенья условно **обозначаются**: *линейные размеры* – двухсторонними стрелками, *угловые размеры* – односторонними стрелками с направлением острия к базе.

Для обозначения звеньев размерных цепей используют те же буквы, что и для обозначения самих размерных цепей, с добавлением соответствующих индексов.

По взаимному расположению звеньев **размерные цепи** делят на линейные, угловые, плоские и пространственные.

- Размерные цепи, звеньями которых являются линейные размеры, называют **линейными**.
- Размерные цепи, звеньями которых являются угловые размеры, называют **угловыми**.
- Размерную цепь называют **плоской**, если ее звенья расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях (рис.3.5 а, б).
- **Пространственной** называют размерную цепь, звенья которой не параллельны одно другому и лежат в непараллельных плоскостях.

По назначению размерные цепи подразделяются на **конструкторские, технологические и измерительные**.

Конструкторская размерная цепь – размерная цепь, определяющая расстояние или относительный поворот между поверхностями или осями поверхностей деталей в изделии. С помощью этих размерных цепей решается задача обеспечения точности изделий при конструировании.

Технологическая размерная цепь – размерная цепь, обеспечивающая требуемое расстояние или относительный поворот между поверхностями изготавливаемого изделия при выполнении операции (или ряда операций) сборки, обработки, при настройке станка, расчете межоперационных размеров.

Измерительная размерная цепь – размерная цепь, возникающая при определении расстояния или относительного поворота между поверхностями, их осями или образующими поверхности изготавливаемого или изготовленного изделия.

Размерная цепь состоит из составляющих звеньев и одного замыкающего звена. Замыкающим называют звено размерной цепи, **являющееся исходным при постановке задачи** или получающееся последним в результате ее решения. В обозначении замыкающее звено отличается от составляющих индексом Δ ($A_{\Delta}, B_{\Delta}, V_{\Delta}$), рис.3.1 а, б, в.

Составляющим звеном называют **звено** размерной цепи, **функционально связанное с замыкающим** звеном. Обозначается составляющее звено той же буквой, что и сама размерная цепь, с индексом, соответствующим порядковому номеру составляющего звена.

С точки зрения влияния на значение замыкающего звена составляющие звенья подразделяются на **увеличивающие и уменьшающие**.

Увеличивающим называют составляющее звено размерной цепи, с увеличением которого замыкающее звено увеличивается.

Уменьшающим называют составляющее звено размерной цепи, с увеличением которого замыкающее звено уменьшается.

Обозначают увеличивающее звено стрелкой над буквой, обозначающей звено, направленной вправо; уменьшающее звено – стрелкой, направленной влево.

На рис. 3.1 приведены:

- увеличивающие звенья - $\vec{A}_1, \vec{B}_1, \vec{B}_1$

- уменьшающие звенья - $\overleftarrow{A}_2, \overleftarrow{B}_2, \overleftarrow{B}_2$ и \overleftarrow{B}_3

- замыкающие звенья - $A_{\Delta}, B_{\Delta}, V_{\Delta}$

Компенсирующее звено – составляющее звено размерной цепи, изменением значения которого достигается требуемая точность замыкающего звена. Обозначается соответствующей буквой, заключенной в прямоугольник (например, $\boxed{\Gamma_1}$).

Общее звено – звено, одновременно принадлежащее нескольким размерным цепям.

К видам размерных цепей относятся:

- **основная** размерная цепь – размерная цепь, замыкающим звеном которой является размер, обеспечиваемый в соответствии с решением основной задачи;

- **производная** размерная цепь – размерная цепь, замыкающим звеном которой является одно из составляющих звеньев основной размерной цепи / 33 /.

В решении задач с помощью размерных цепей часто используется понятие “исходное звено”.

Исходное звено – звено размерной цепи, заданные номинальный размер и предельные отклонения которого определяют функционирование сборочной единицы и должны быть обеспечены в результате решения размерной цепи. Исходя из предельных значений этого размера, рассчитывают допуски и отклонения всех остальных размеров цепи. В процессе сборки исходный размер, как правило, становится замыкающим. В поддетальной размерной цепи размер, исходя из точности которого определяется степень точности остальных размеров, также называют исходным.

Расчету размерных цепей предшествует их выявление по сборочным и детальным чертежам и операционным эскизам технологических процессов механической обработки и сборки.

В соответствии с методическими указаниями РД 50-635-87 в зависимости от решаемой задачи изображают схему изделия, технологической системы *станок-приспособление-инструмент-деталь*, технологического процесса или измерения, на которую наносят размерную цепь (или размерные цепи). При этом допускается для каждой размерной цепи изображать отдельную схему.

Замыкающее звено размерной цепи находят, исходя из задачи, исходящей из задачи, возникающей при конструировании изделия, его изготовлении или измерениях.

Поэтому вначале должна быть поставлена и четко сформулирована задача, решение которой необходимо для обеспечения соответствия конструкции изделия его служебному назначению, обеспечения требуемой точности изделия при его изготовлении или оценке точности измерением.

При конструировании изделия переход от формулировки задачи к нахождению замыкающего звена заключается в выявлении такого линейного или углового размера, от значения которого полностью зависит решение конструкторской задачи.

При изготовлении изделия замыкающим звеном размерной цепи является размер, точность которого должна быть обеспечена технологическим процессом. При измерении замыкающим звеном является измеренный размер.

Таким образом, в замыкающем звене заключен смысл решаемой задачи, из чего следует, что **каждая размерная цепь дает решение только одной задаче** и может иметь одно замыкающее звено.

Допуск замыкающего звена *устанавливается* следующим образом:

- в конструкторских размерных цепях, исходя из служебного назначения изделия или его механизма;
- в технологических размерных цепях в соответствии с допуском на расстояние или относительный поворот поверхностей детали (их осей) или деталей изделия, которые необходимо получить в результате осуществления технологического процесса изготовления детали или сборки;
- в измерительных цепях, исходя из требуемой точности измерения.

Выявив замыкающее звено, можно приступить к нахождению составляющих звеньев размерной цепи.

Построение схемы размерной цепи начинается от одной из поверхностей (осей), ограничивающих замыкающее звено; при этом устанавливаются составляющие звенья размерной цепи, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи, и доходят до второй поверхности (оси), ограничивающей замыкающее звено.

Сущность расчета размерной цепи заключается в установлении допусков и предельных отклонений всех ее звеньев, исходя из требований конструкции и технологии. В общем случае **целью расчета размерных цепей является решение одной из** двух нижеследующих задач:

1. **Прямая задача (проектная)**. По заданным параметрам замыкающего звена определяются параметры составляющих звеньев. Практически при этом по известным предельным отклонениям и допуску замыкающего звена рассчитываются допуски и предельные отклонения размеров составляющих звеньев.

2. **Обратная задача (проверочная)**. По известным параметрам составляющих звеньев определяют параметры замыкающего звена. Практически при этом по известным номинальным размерам и их предельным отклонениям, допускам и характеристикам рассеяния размеров составляющих звеньев рассчитываются номинальный размер замыкающего звена, его допуск и предельные отклонения.

В процессе решения обратной задачи определя-

ются также величина, допуск и предельные отклонения одного из составляющих по известным характеристикам других составляющих и замыкающего (исходного) звеньев, а также некоторые другие технологические задачи.

В зависимости от поставленной задачи и производственных условий размерные цепи рассчитываются следующими методами:

1. **Метод расчета** на максимум - минимум, который обеспечивает полную взаимозаменяемость.
2. **Теоретико-вероятностный метод**.
3. **Методы, обеспечивающие неполную взаимозаменяемость** (групповой взаимозаменяемости, пригонки, регулирования).

3.2. Метод расчета линейных размерных цепей на максимум-минимум

Этот метод обеспечивает полную взаимозаменяемость. Он учитывает только предельные отклонения звеньев размерной цепи и самые неблагоприятные их сочетания.

3.2.1. Решение обратной задачи

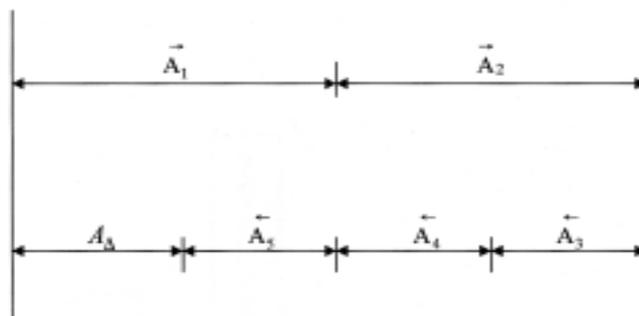


Рис. 3.2. Схема размерной цепи

Для решения размерной цепи необходимо составить ее схему (рис.3.2). Используются следующие условные обозначения:

A_i – номинальный размер i -го составляющего звена размерной цепи;

A_{Δ} – номинальный размер замыкающего звена размерной цепи;

\vec{A}_i – увеличивающее i -е составляющее звено размерной цепи;

\vec{A}_i – уменьшающее i -е составляющее звено размерной цепи;

$T A_i$ – допуск i -го составляющего звена размерной цепи A_i ;

$T \vec{A}_i$ – допуск увеличивающего i -го звена размерной цепи A_i ;

$T \vec{A}_i$ – допуск уменьшающего i -го звена размерной цепи A_i ;

$T A_{\Delta}$ – допуск замыкающего звена размерной цепи;

$E S A_i, E J A_i$ – верхнее и нижнее предельные отклонения i -го составляющего звена размерной цепи A_i ;

ESA_{Δ} , EJA_{Δ} – верхнее и нижнее предельные отклонения замыкающего звена размерной цепи A ;

ESA_i , EJA_i – верхнее и нижнее предельные отклонения увеличивающего составляющего звена размерной цепи A ;

ESA_i , EJA_i – верхнее и нижнее предельные отклонения уменьшающего составляющего звена размерной цепи A ;

n – общее количество составляющих звеньев размерной цепи A без замыкающего звена;

m – общее количество увеличивающих составляющих звеньев размерной цепи A ;

k – общее количество уменьшающих составляющих звеньев размерной цепи A .

Из схемы размерной цепи (рис.3.2) можно установить номинальный размер замыкающего звена, а также его предельные размеры

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A_i} - \sum_{i=m+1}^{m+k} \overleftarrow{A_i} \quad (3.1)$$

$$A_{\Delta \max} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A_{i \max}} - \sum_{i=m+1}^{m+k} \overleftarrow{A_{i \min}} \quad (3.2)$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A_{i \min}} - \sum_{i=m+1}^{m+k} \overleftarrow{A_{i \max}} \quad (3.3)$$

Учитывая, что разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами определяет величину допуска, получим:

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m T\overrightarrow{A_i} + \sum_{i=m+1}^{m+k} T\overleftarrow{A_i} \quad \text{или} \quad (3.4)$$

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n T\overrightarrow{A_i}$$

Из равенства (3.4) следует, что допуск замыкающего звена равен сумме допуска составляющих звеньев.

Используя равенства (3.1), (3.2), (3.3), можно определить верхнее и нижнее предельные отклонения замыкающего звена.

$$ESA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{ESA_i} - \sum_{i=m+1}^{m+k} \overleftarrow{EJA_i} \quad (3.5)$$

$$EJA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m \overleftarrow{EJA_i} - \sum_{i=m+1}^{m+k} \overrightarrow{ESA_i} \quad (3.6)$$

На основании равенства (3.4) можно определить допуск любого составляющего звена A_q при условии, что известны допуски остальных составляющих звеньев размерной цепи

$$TA_q = TA_{\Delta} - \sum_{i=1}^{n-1} T\overrightarrow{A_i} \quad (3.7)$$

В некоторых случаях предельные отклонения замыкающего звена удобно вычислять, используя координату середины поля допуска ($E_c A_i$). Эту координату можно определить для любого составляющего звена.

Согласно представленной схеме (рис.3.3) можно записать

$$E_c A_i = \frac{ESA_i + EJA_i}{2}$$

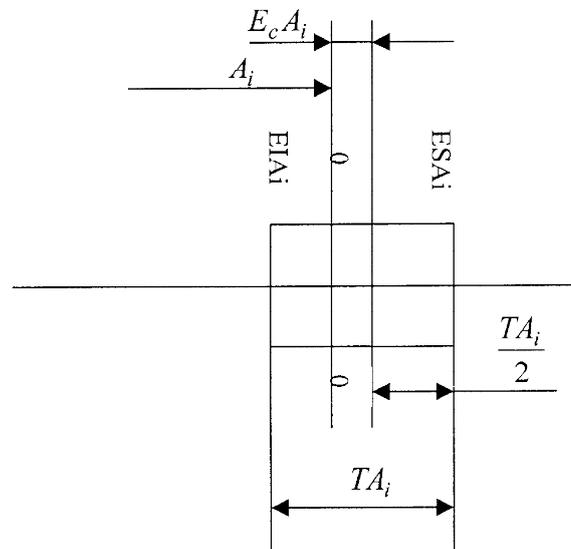


Рис.3.3. Схема для определения координаты середины поля допуска

Зная координату середины поля допуска какого-либо составляющего звена, нетрудно определить его предельные отклонения

$$ESA_i = A_c A_i + \frac{T\overrightarrow{A_i}}{2} \quad (3.8)$$

$$EJA_i = A_c A_i - \frac{T\overleftarrow{A_i}}{2} \quad (3.9)$$

Равенство (3.5) с учетом (3.8) и (3.9) примет вид

$$ESA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m (A_c A_i + \frac{T\overrightarrow{A_i}}{2}) - \sum_{i=m+1}^{m+k} (A_c A_i - \frac{T\overleftarrow{A_i}}{2}) \quad (3.10)$$

После выполнения определенных преобразований зависимости (3.10), координата середины поля допуска замыкающего звена ($E_c A_{\Delta}$) определится по равенству

$$E_c A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m A_c \overrightarrow{A_i} - \sum_{i=m+1}^{m+k} A_c \overleftarrow{A_i} \quad (3.11)$$

С учетом полученных выше зависимостей предельные отклонения замыкающего звена можно рассчитать по следующим формулам

$$ESA_{\Delta} = (\sum_{i=1}^m A_c \overrightarrow{A_i} - \sum_{i=m+1}^{m+k} A_c \overleftarrow{A_i}) + \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{2} \quad (3.12)$$

$$EJA_{\Delta} = (\sum_{i=1}^m A_c \overleftarrow{A_i} - \sum_{i=m+1}^{m+k} A_c \overrightarrow{A_i}) - \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{2} \quad (3.13)$$

3.2.2. Решение прямой задачи

Эта задача решается в тех случаях, когда допуск и предельные отклонения замыкающего звена уста-

новлены исходя из тех эксплуатационных требований, которые предъявляются к данной сборочной единице или детали.

Существует три способа решения прямой задачи:

- способ попыток
- способ равных допусков
- способ единой степени точности

3.2.2.1. Способ попыток

При этом способе на все составляющие звенья размерной цепи назначаются допуски, экономические достижимые при предполагаемых видах изготовления изделий, соответствующие стандартным допускам определенных квалитетов. Далее определяется допуск замыкающего звена $T_{A_{\Delta}}$ с использованием равенства (3.4).

Если это равенство не удовлетворяется, то производится соответствующая корректировка.

С целью ускорения расчетов по этому способу экономически достижимые допуски и предельные отклонения часто назначаются для всех составляющих звеньев, кроме одного, избранного в качестве регулирующего (A_p). Допуск T_{A_p} определяется по равенству:

$$T_{A_p} = T_{A_{\Delta}} - \sum_{i=1}^{n-1} \frac{T_i}{2}. \quad (3.14)$$

Координаты середины поля допуска регулирующего звена определяются:

$$E_{C A_p} = E_{C A_{\Delta}} - \sum_{i=1}^{m-1} E_{C A_i} - \sum_{i=1}^{n-1} A_{C A_i}, \quad (3.15)$$

когда регулирующее звено является увеличивающим и

$$E_{C A_p} = \sum_{i=1}^m E_{C A_i} - \sum_{i=m+1}^{(m+k)-1} E_{C A_i} - E_{C A_{\Delta}}, \quad (3.16)$$

когда регулирующее звено является уменьшающим.

В качестве регулирующего звена может быть принято любое составляющее звено размерной цепи. Однако, опыт показывает, что в качестве регулирующего удобно принимать звено, точное изготовление и измерение которого не вызывают затруднений, а размер относительно велик.

Предельные отклонения для всех составляющих звеньев размерной цепи, кроме регулирующего, обычно назначаются, как для основных валов и отверстий (h и H), так и симметрично – в зависимости от конкретных условий.

3.2.2.2. Способ равных допусков

При способе равных допусков допуски всех составляющих звеньев размерной цепи принимаются одинаковыми. Они равны среднему допуску $T_{\text{ср}}$

$$T_{A_i} = T_{\text{ср}} = T_1 = T_2 = \dots = T_n.$$

Из равенства (3.4) можно записать

$$T_{A_i} = T_{\text{ср}} = \frac{T_{A_{\Delta}}}{n}. \quad (3.17)$$

Для всех составляющих звеньев размерной цепи назначают и одинаковые предельные отклонения:

$$E_{C A_i} = E_{C A_{\Delta}} = E_{C A_i}.$$

Следовательно, равенство (3.11) примет вид:

$$E_{C A_{\Delta}} = m (A_{C A_i}) - k (A_{C A_i}) = (m - k) E_{C A_i}.$$

Полученная зависимость позволяет определить $A_{C A_i}$

$$A_{C A_i} = \frac{A_{C A_{\Delta}}}{m - k}. \quad (3.18)$$

В этом случае предельные отклонения составляющих звеньев размерной цепи будут равны:

$$E_{S A_i} = E_{C A_i} + \frac{T_i}{2}, \quad (3.19)$$

$$E_{J A_i} = E_{C A_i} - \frac{T_i}{2}. \quad (3.20)$$

Во многих случаях средний допуск ($T_{\text{ср}}$) корректируют для всех или некоторых составляющих звеньев размерной цепи в зависимости от их значений, конструктивных требований и технологических возможностей изготовления, но так, чтобы удовлетворялось условие (3.4).

Расположение полей допусков составляющих звеньев размерной цепи производится из технологических соображений по принципу "допуск в материал", то есть на охватываемые размеры устанавливаются предельные отклонения со знаком плюс, а на охватываемые – со знаком минус.

Окончательная проверка установленных допусков и предельных отклонений производится с учетом равенств (3.4) и (3.11).

3.2.2.3. Способ единой степени точности

Способ единой степени точности применяют, если все составляющие цепь размеры могут быть выполнены с допуском одного квалитета, при этом допуски составляющих размеров зависят от их номинального размера. Требуемый квалитет определяют следующим образом.

Известно, что единица допуска (i) для размеров от 1 до 500 определяется по формуле

$$i = 0,45 \sqrt[3]{L} + 0,001L,$$

где L – среднее геометрическое крайних размеров каждого интервала, мм;

i – единица допуска, мкм.

Допуск размера для любого квалитета будет равен $T_{A_i} = a_i i$, где a – число единиц допуска, зависящее от номинального размера.

В соответствии с формулой (3.4) можно записать

$$T_{A_{\Delta}} = a_1 i_1 + a_2 i_2 + \dots + a_n i_n.$$

По условию данного способа $a_1 = a_2 = \dots = a_n = a_{\text{ср}}$, тогда

$$T_{A_{\Delta}} = a_{\text{ср}} \sum_{i=1}^n (0,45 \sqrt[3]{L} + 0,001L), \text{ откуда}$$

$$a_{cp} = \frac{TA_{\Delta}}{\sum_1^n (0,45\sqrt[3]{L} + 0,001L)} \quad (3.21)$$

По значению a_{cp} выбирают ближайший квалитет. Число единиц допуска, вычисленное по формуле (3.21), в общем случае не равно какому-либо значению a , определяющему квалитет, поэтому выбирают ближайший квалитет. Определив, таким образом, допуски составляющих звеньев размерной цепи, корректируют их значения, учитывая конструктивно-эксплуатационные требования и возможность применения процесса изготовления, экономическая точность которого близка к требуемой точности размеров. Предельные отклонения охватывающих размеров рекомендуется определять, как для основного отверстия (H), а для охватываемых – как для основного вала (h). При этом следует соблюдать равенство (3.4):

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n Tai.$$

Определив допуски TA_1, TA_2, \dots, TA_n по заданным отклонениям ESA_{Δ} и EJA_{Δ} , определяют значения и знаки верхних и нижних предельных отклонений составляющих размеров так, чтобы они соответствовали равенствам (3.5) и (3.6). Приемлемость полученных результатов можно проверить по равенству (3.11).

Расчет размерных цепей по методу максимум-минимум отличается простотой в его исполнении. Он обеспечивает полную взаимозаменяемость деталей и сборочных единиц. Его основными достоинствами являются простота, высокая производительность и экономичность сборки изделий; простота нормирования сборочных операций, их синхронизации во времени и организации поточной сборки и др.

3.3. Вероятностный метод расчета линейных размерных цепей

Крупнейшим недостатком расчета размерных цепей на максимум-минимум является необходимость ужесточения допусков составляющих звеньев пропорционально их количеству с целью достижения допуска замыкающего звена в соответствии с равенством (3.4). При большом числе составляющих звеньев допуски на их изготовление получаются очень жесткими и во многих случаях обработка поверхностей с такими допусками экономически нецелесообразна.

Однако в соответствии с теорией вероятностей сочетание при сборке или при механической обработке всех увеличивающих размеров с верхними предельными отклонениями с уменьшающими размерами, изготовленными с нижними предельными отклонениями (и наоборот), маловероятны, а при значительном числе составляющие звеньев – практически невозможны.

В связи с этим расчет размерных цепей на максимум-минимум должен применяться лишь для корот-

ких размерных цепей, имеющих два-три составляющих звена / 9 /. Технологические размерные цепи, связанные с расчетом размеров и допусков при смежных баз, при расчете припусков на обработку и тому подобное в большинстве случаев ограничены двумя-тремя составляющими звеньями и обычно рассчитываются на максимум-минимум.

Расчет размерных цепей вероятностным методом производится с учетом фактического распределения (рассеяния) действительных размеров в пределах поля допуска и вероятности их различных сочетаний при сборке и механической обработке.

В учебной и технической литературе приводятся различные варианты использования этого метода. Нам представляется удобным для практического использования вариант, предложенный профессором А.А.Маталиным / 9 /.

При рассмотрении вероятностного метода принимается:

Ω_i – поле рассеяния i -го звена;

Ω_{Δ} – поле рассеяния замыкающего звена;

$E_C \Omega$ – координата середины поля рассеяния кривой нормального распределения;

$$TA_i = \Omega_i; \quad TA_{\Delta} = \Omega_{\Delta}.$$

Анализ данных проведенных исследований по распределению (рассеянию) действительных размеров показывает, что большое практическое значение имеют законы: нормального распределения (закон Гаусса), равнобедренного треугольника (закон Симпсона), равной вероятности.

В соответствии с положениями теории вероятностей суммирование случайных величин производится квадратически, причем сумма этих величин, в свою очередь, представляет собой случайную величину, изменяющуюся по определенному закону распределения. При этом закон распределения размеров замыкающего звена тем ближе к закону нормального распределения, чем больше составляющих звеньев имеет размерная цепь.

Наименьшее количество составляющих звеньев (n), при котором происходит распределение размеров замыкающего звена по закону нормального распределения, составляет при распределении составляющих размеров цепи по законам: равной вероятности – $n = 4$, равнобедренного треугольника – $n = 3$, нормального распределения – $n = 2 / 9 /$.

В соответствии с вышеизложенным и с учетом методических указаний РД 50-635-87 / 33 / можно представить равенство

$$\Omega_{\Delta} = TA_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^n \lambda^2 i \cdot TA_i^2}, \quad (3.22)$$

где t_{Δ} – коэффициент риска, характеризующий вероятность выхода отклонений замыкающего звена за пределы допуска; λ – относительное среднее квадратическое отклонение.

Значения коэффициентов t_{Δ} и λ приводятся в ли-

тературе, посвященной исследованиям рассеяния действительных размеров при изготовлении изделий и расчету размерных цепей. В методических указаниях РД-50-635-87 /33/ приводятся такие данные.

При законе нормального распределения действительных размеров замыкающего звена при риске 0,27% $t_{\Delta} = 3$.

Величина λ^2 составляет для законов: нормально распределения – 1/9, равнобедренного треугольника – 1/6, равной вероятности 1/3.

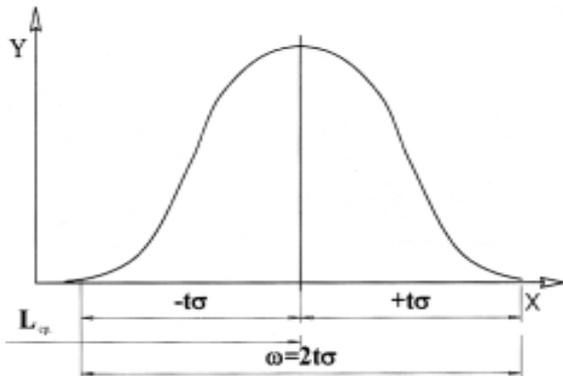


Рис.3.4. Пределы кривой рассеяния при практических расчетах

При практических расчетах поле рассеяния, при законе нормального распределения, ограничивается некоторыми пределами (рис.3.4), зависящими от величины среднего квадратического отклонения σ , равным $\pm 3 \sigma$, то есть

$$\omega = (L_{cp} + t \sigma) - (L_{cp} - t \sigma) = 2 t \sigma,$$

где L_{cp} – среднее арифметическое значение случайной величины; σ – поле рассеяния случайной величины; $t = (L_i - L_{cp}) / \sigma$ – коэффициент риска.

Вероятностный метод расчета размерных цепей обычно производится в случаях, когда число составляющих звеньев $n \geq 3$, то есть когда рассеяние размеров замыкающего звена подчиняется закону нормального распределения независимо от законов распределения составляющих звеньев. При этом, как указано выше, принимается $t_{\Delta} = 3$, когда процент риска выхода действительного размера за пределы поля допуска составляет 0,27 %. Практически в этом случае количество деталей или сборочных единиц, выходящих за пределы поля допуска, не превышает 3 шт. на 1000 шт. изделий.

При механической обработке заготовок на настроенных станках рассеяние действительных размеров подчиняется закону нормального распределения при легко выдерживаемых допусках (9-10-го квалитетов и грубее). При средней точности обработки (7-8-й квалитеты) распределение соответствует закону равнобедренного треугольника и при очень жестких допусках (5-6-й квалитеты) – закону равной вероятности.

При распределении размеров составляющих звеньев по закону нормального распределения для линейной размерной цепи с $n \geq 4$ равенство (3.22) приобретает вид:

$$\omega_{\Delta} = T_{A_{\Delta}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n T_{A_i}^2}. \quad (3.23)$$

При проектных расчетах размерных цепей, когда законы распределения размеров неизвестны, условно принимают распределение всех звеньев одинаковым, соответствующим закону равнобедренного треугольника / 9 /. Тогда значение λ^2 в формуле (3.22) принимается равным 1/6. В этих случаях равенство (3.22) приводится к простому выражению

$$\omega_{\Delta} = T_{A_{\Delta}} = 1,2 \sqrt{\sum_{i=1}^n T_{A_i}^2}. \quad (3.24)$$

При вычислении предельных значений замыкающего звена вероятностным методом имеет значение симметричность расположения размеров составляющих звеньев в пределах полей рассеяния (или внутри полей их допусков).

При симметричном расположении размеров составляющих звеньев координата середины поля рассеяния замыкающего звена и координата середины поля допуска $E_{cA_{\Delta}}$ определяются по равенству (3.11).

Затем рассчитывается значение предельных отклонений по равенствам (3.12) и (3.13).

Смещение центра группирования отклонений составляющих звеньев характеризуется величиной коэффициента относительной асимметрии α_i . Значения коэффициентов α_i находятся в пределах от 0 до $\pm 0,5$ и определяются опытным путем или находятся из соответствующих таблиц. В проектных условиях обычно принимают $\alpha_i = 0$ для всех составляющих звеньев размерной цепи (условно принимая распределение их отклонений симметричным).

Выше были изложены основные положения по расчету размерных цепей вероятностным методом при решении обратной задачи.

Прямая задача при использовании вероятностного метода решается принципиально так же, как и при решении подобной задачи при выполнении расчетов размерной цепи по методу максимум-минимум.

Решая прямую задачу, используются полученные выше зависимости.

Так, при способе попыток должно выполняться равенство (3.24). При использовании способа равных допусков определяется средний допуск (T_{cp})

$$T_{cp} = T_{A_{\Delta}} / 1,2 \sqrt{n}. \quad (3.25)$$

Решая задачу по способу единой степени точности, определяется среднее количество единиц допуска (a_{cp}) по равенству

$$a_{cp} = T_{A_{\Delta}} / 1,2 \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (0,45\sqrt[3]{L_i} + 0,00L_i)\right)^2}. \quad (3.26)$$

3.4. Расчет плоских и пространственных размерных цепей

Плоские и пространственные размерные цепи рассчитываются теми же методами, что и линейные. Необходимо лишь привести их к виду линейных раз-

мерных цепей. Это достигается путем проектирования размеров плоской цепи на одно направление, обычно совпадающее с направлением замыкающего (или исходного) звена, а пространственной цепи – на две или три взаимно перпендикулярные оси.

В качестве *примера* рассмотрим плоскую размерную цепь, изображенную на рис.3.5 а. К корпусу 1 станка присоединяется коробка подач 2. Кинематическая связь осуществляется при помощи зубчатых цилиндрических колес с осями I и II. Требуется рассчитать размерную цепь, определяющую расстояние между осями (A_{Δ}).

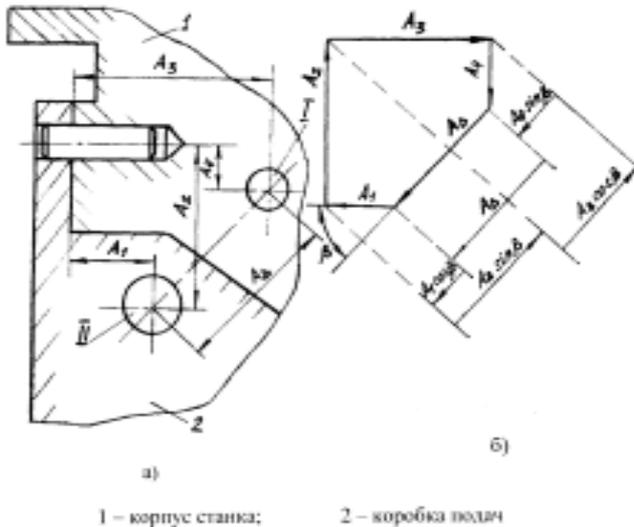


Рис.3.5. Плоская размерная цепь

Производятся следующие действия:

1. По рис.3.5 а выделяются цепь размеров, влияющих на величину замыкающего звена (A_{Δ}), A_1 , A_2 , A_3 , A_4 .

2. Составляется схема размерной цепи (рис.3.5 б). Данная цепь относится к плоским размерным цепям. Проектируются составляющие звенья на направление замыкающего звена (рис.3.5 б). Увеличивающими звеньями являются звенья A_2 и A_3 , уменьшающими – A_1 и A_4 .

3. Составляем уравнение размерной цепи

$$A_{\Delta} = A_2 \cdot \sin\beta + A_3 \cdot \cos\beta - (A_1 \cdot \cos\beta + A_4 \cdot \sin\beta). \quad (3.27)$$

Решение данной размерной цепи с использованием полученных ранее зависимостей не вызовет каких-либо затруднений.

Коэффициент, характеризующий степень влияния размера и отклонения составляющего звена на размер, а также отклонение замыкающего звена, называется передаточным отношением (ξ).

Для плоской нормальной цепи (с непараллельными звеньями) передаточные отношения меняются в пределах:

$0 \leq \xi \leq 1$ – для увеличивающих составляющих звеньев;

$-1 \leq \xi \leq 0$ – для уменьшающих составляющих звеньев.

Для линейных размеров цепей передаточные отношения равны: $\xi = +1$ – для увеличивающих и $\xi = -1$

– для уменьшающих составляющих звеньев.

При необходимости, передаточные отношения можно ввести в равенства, полученные при расчете линейных размерных цепей с использованием метода на максимум-минимум и вероятностного метода.

3.5. Метод групповой взаимозаменяемости (селективная или выборочная сборка)

Цель выборочной сборки заключается в том, чтобы повысить точность сопряжения, не повышая точности изготовления деталей, или в том, чтобы без снижения точности сопряжения снизить точность изготовления деталей.

В ряде случаев сборка высокоточных соединений выборочная сборка является практически единственным возможным методом.

Применительно к клиновым размерным цепям такая сборка позволит, не повышая точности составляющих звеньев, повысить точность замыкающего звена или при неизменной точности замыкающего звена снизить точность составляющих звеньев размерной цепи.

Выборочная сборка осуществляется следующим образом (при неизменной точности изготовления деталей):

1. Широкие экономически достижимые поля допусков изготовления деталей разбивают на интервалы (1, 2, ..., n), количество которых зависит от желаемой степени повышения точности сопряжения или достижения необходимых значений зазоров или натягов (рис.3.6).

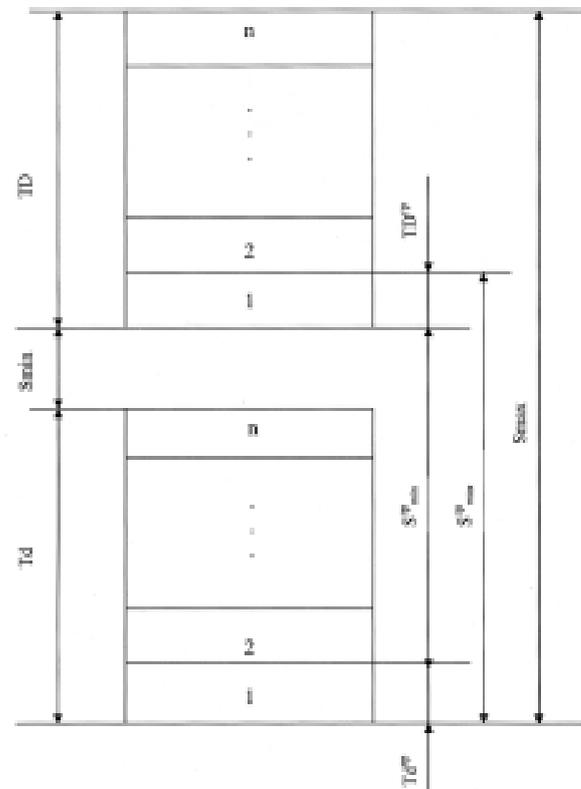


Рис.3.6. Схема определения групповых допусков

2. Детали изготавливаются с допусками TD и Td.

3. После изготовления, при контроле, детали сортируются на группы по действительным размерам в соответствии с интервалами поля допуска.

4. При сборке производится сопряжение деталей

одноименных групп; группы нумеруются по возрастанию или убыванию размеров. Количество деталей в группах должно быть одинаковым при одинаковом поле рассеяния.

5. Допуск посадки при такой сборке ($T_{\text{пос. гр.}}$) будет равен

$$T_{\text{пос. гр.}} = \frac{TD}{n} + \frac{Td}{n} = \frac{T_{\text{пос}}}{T}$$

$$T_{\text{пос. гр.}} = TD^{\text{гр}} + Td^{\text{гр}}$$

где $T_{\text{пос}}$ – допуск посадки при обычной сборке; $TD^{\text{гр}}$ и $Td^{\text{гр}}$ – групповые допуски деталей.

Для установления числа групп “n” сортировки деталей необходимо знать требуемые предельные значения групповых зазоров или натягов, которые находят из условия обеспечения наибольшей долговечности соединения, либо допускаемое значение группового допуска ($TD^{\text{гр}}$; $Td^{\text{гр}}$), определяемое экономической точностью сборки и сортировки деталей, а также возможной погрешностью их формы. Отклонения формы не должны превышать группового допуска, иначе одна и та же деталь может попасть в разные (ближайшие) группы, в зависимости от того, в каком сечении она измерена при сортировке.

Обычно выборочная сборка применяется при $TD = Td$. Для этого случая характерно, что групповой зазор или натяг остаются постоянными при переходе от одной группы к другой (рис.3.6).

Число групп (n) подсчитывают следующим образом.

При заданном групповом допуске $TD^{\text{гр}} = Td^{\text{гр}}$

$$n = TD / TD^{\text{гр}} = Td / Td^{\text{гр}} \tag{3.28}$$

При заданных $S^{\text{гр min}}$ или $S^{\text{гр max}}$

$$Td^{\text{гр}} = S_{\text{min}} + Td - S^{\text{гр min}} \text{ или} \tag{3.29}$$

$$TD^{\text{гр}} = S^{\text{гр max}} - S_{\text{min}} - Td \tag{3.30}$$

При заданных $N^{\text{гр min}}$ или $N^{\text{гр max}}$

$$TD^{\text{гр}} = N_{\text{min}} - N^{\text{гр min}} + TD \text{ или} \tag{3.31}$$

$$Td^{\text{гр}} = N^{\text{гр max}} - N_{\text{min}} - TD \tag{3.32}$$

При большом числе групп сортировки групповой допуск незначительно отличается от допуска при меньшем числе групп, а организация контроля и сложность сборки значительно возрастают. Практически $n_{\text{max}} = 4...5$ и лишь в подшипниковой промышленности при сортировке тел качения $n \geq 10$.

Выборочная сборка применяется не только для сопряжений цилиндрических деталей, но используется также для конических, призматических и резьбовых соединений, а в некоторых случаях и для соединения нескольких деталей в многозвенных размерных цепях. В последнем случае сортировке на группы в пределах расширенных допусков могут подвергаться не только две какие-либо сопрягаемые детали из числа входящих в данную размерную цепь, но последовательно несколько пар деталей / 9 /.

На рис.3.7 а представлена размерная цепь “шпоночный паз - шпонка”. Если по условиям эксплуатации изделия наибольший зазор соединения (S_{max}) должен быть уменьшен до ($S^{\text{гр max}}$), то это можно осуществить, применяя выборочную сборку (рис.3.7 б). Количество интервалов (n) определяется по формулам (3.28, 3.29, 3.30).

Выборочная сборка имеет ряд недостатков, которые

необходимо учитывать в практической деятельности.

Усложняется контроль (требуется большой штат контролеров, более точные средства измерений, контрольно-сортировочные автоматы); повышается трудоемкость процесса сборки (в результате создания сортировочных групп): возможно увеличение незавершенного производства вследствие разного числа деталей в парных группах.

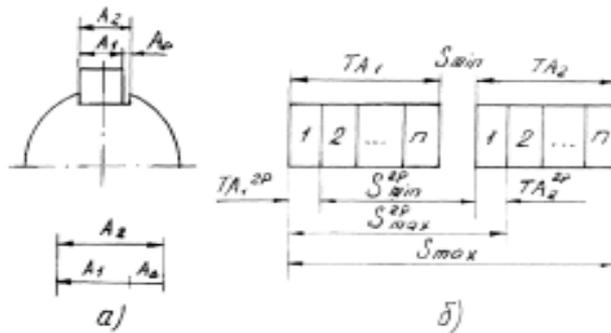


Рис.3.7. Схема для выборочной сборки «шпоночный паз - шпонка»

Выборочная сборка обеспечивает неполную групповую взаимозаменяемость, ввиду чего этот метод используют обычно в условиях завода- изготовителя при обеспечении внутренней взаимозаменяемости.

Применение выборочной сборки целесообразно в массовом и крупносерийном производствах для соединений высокой точности, когда дополнительные затраты на сортировку, маркировку, сборку и хранение деталей по группам окупаются высоким качеством изделий.

3.6. Методы регулирования и пригонки

Метод регулирования

При этом методе требуемая точность замыкающего звена достигается изменением (регулированием) одного из заранее выбранных составляющих звеньев, называемого компенсирующим.

Роль компенсатора обычно выполняет специальное звено в виде прокладки, регулируемого упора, клина и т.п. При этом по всем остальным составляющим звеньям размерной цепи устанавливаются расширенные допуски, экономически приемлемые для данных производственных условий.

При методе регулирования точность замыкающего звена достигается обычно двумя путями: изменением положения одной из деталей путем ее перемещения или поворота для достижения точности замыкающего звена (рис.3.8) и введением в размерную цепь специальной детали требуемого размера (рис.3.8) или с требуемыми относительными поворотами ее поверхностей (угловыми отклонениями).

На рис.3.8 а показан подвижной компенсатор-втулка, а на схеме размерной цепи (рис.3.8 б) – компенсирующее звено B_2 .

На рис.3.8 в изображен компенсатор-кольцо, а на схеме размерной цепи (рис.3.8 г) – компенсирующее звено B_2 .

ГЛАВА IV

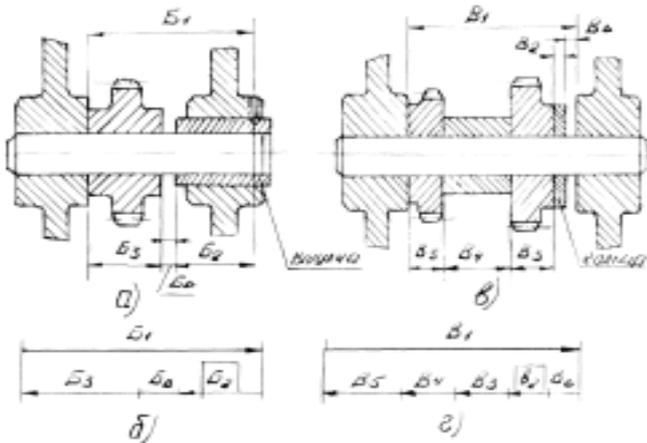
БАЗИРОВАНИЕ И БАЗЫ В
МАШИНОСТРОЕНИИ

Рис.3.8. Схема для расчетов сборочных размерных цепей при методах регулировки и пригонки

Метод пригонки

Сущность этого метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена достигается в результате изменения размера одного из заранее намеченных составляющих звеньев путем снятия с него необходимого слоя материала.

При применении обоих методов собираемые детали изготавливаются по расширенным, экономически достижимым допускам, однако при сборке расходуется дополнительное время на пригонку или регулирование размеров замыкающего звена для обеспечения требуемой точности изделия. При этом в процессе пригонки часто приходится проводить предварительную сборку, проверку правильности положения сопрягаемых деталей и определять степень необходимой пригонки компенсирующего звена и затем уже осуществлять подгонку компенсатора. Только после этого осуществляется окончательная сборка. Все это существенно повышает трудоемкость сборки и затрудняет ее перевод на поточные методы.

Операция пригонки выполняется рабочим очень высокой квалификации. Применение пригонки характерно для единичного и мелкосерийного производств и часто используется в крупном машиностроении.

При проведении регулирования необходимость повторной сборки отпадает, и трудоемкость сборки снижается. При этом создаются более благоприятные условия для организации поточной сборки, однако создание специальных деталей-компенсаторов несколько усложняет конструкцию изделия. Метод регулирования характерен для мелкосерийного и серийного типов производства.

При использовании этих методов допуски на составляющие звенья размерной цепи устанавливаются такими, чтобы они были экономически достижимы в данных производственных условиях.

Методы расчета компенсаторов и поправок к компенсирующим звеньям изложены в литературе по технологии машиностроения, например, в [9].

Вопросы расчета размерных цепей подробно рассмотрены в источниках [3, 7, 9, 26, 31, 33 и др.].

4.1. Общие положения, термины и определения

При проектировании машин конструктор определяет точность отдельных элементов-деталей, сборочных единиц, а также точность их взаимного расположения. Установленная конструктором точность отдельных элементов гарантирует выполнение требований к точности работы машины. В связи с этим технологические процессы изготовления деталей сборочных единиц, машины должны обеспечить заданную на чертеже точность. Отмеченные обстоятельства диктуют необходимость грамотно решать вопросы по соответствующему расположению заготовок в процессе их механической обработки, а также расположения деталей машин, сборочных единиц, последовательность выполнения операций при выполнении технологического процесса сборки. Эффективное решение отмеченных вопросов обеспечивает теория базирования.

Положения этой теории, термины и определения приводятся в ГОСТ 21495-76.

Базированием называют придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

Поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, **ось, точка**, принадлежащие заготовке (или изделию) и **используемые для базирования, называют базой**.

Совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки или изделия, называют комплектом баз (рис.4.1).

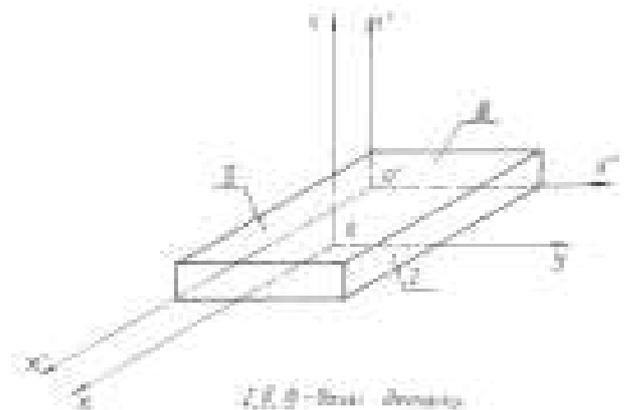


Рис.4.1. Комплект баз призматической детали

Положение любого твердого тела в пространстве (в том числе заготовки при обработке) характеризуется шестью степенями свободы, определяющими возможность его перемещения и поворота относительно трех координатных осей.

Согласно теоретической механике требуемое положение твердого тела относительно выбранной системы координат достигается наложением геометрических связей.

При наложении геометрических связей тело лишается трех перемещений вдоль осей OX, OY и OZ и трех поворотов вокруг этих осей, то есть тело становится неподвижным в системе OXYZ.

В практических условиях тело может контактировать с поверхностями, определяющими его положение, лишь по определенным площадкам, которые условно можно считать точками контакта. Поэтому шесть связей, лишаящих тело возможности двигаться в шести направлениях, могут быть созданы контактом соединяемых тел в шести точках. Это определяет правило шести точек в технологии машиностроения.

Опорная точка, символизирующая одну из связей заготовки или изделия с выбранной системой координат (рис.4.2).

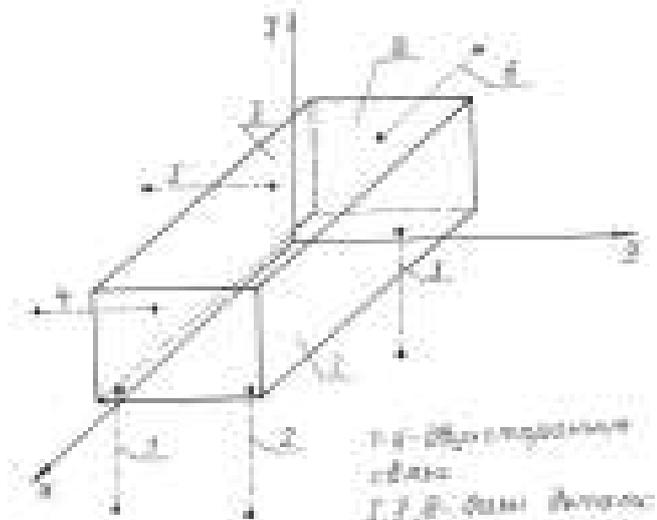


Рис.4.2. Опорные точки

База может быть проектной и действительной.

Проектная база – база, выбранная при проектировании изделия, технологического процесса изготовления или ремонта этого изделия.

Действительная база – база, фактически используемая в конструкции при изготовлении, эксплуатации или ремонте изделия.

Схемой базирования называют схему расположения опорных точек на базах (рис.4.3). Все опорные точки на схеме изображают условными знаками и нумеруют порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагается наибольшее число опорных точек. При наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую, изображаются одна точка и около нее проставляют номера совмещенных точек. Число проекций заготовки или изделия на схеме базирования должно быть достаточным для четкого представления о размещении опорных точек.

Несмотря на разнообразие задач по базированию, оказалось возможным ограничиться тремя признаками при классификации баз:

- по назначению,
- по лишаемым степеням свободы,
- характеру проявления / 7 /.

Классификация баз по ГОСТ 21495-76 представлена в табл. 4.1.

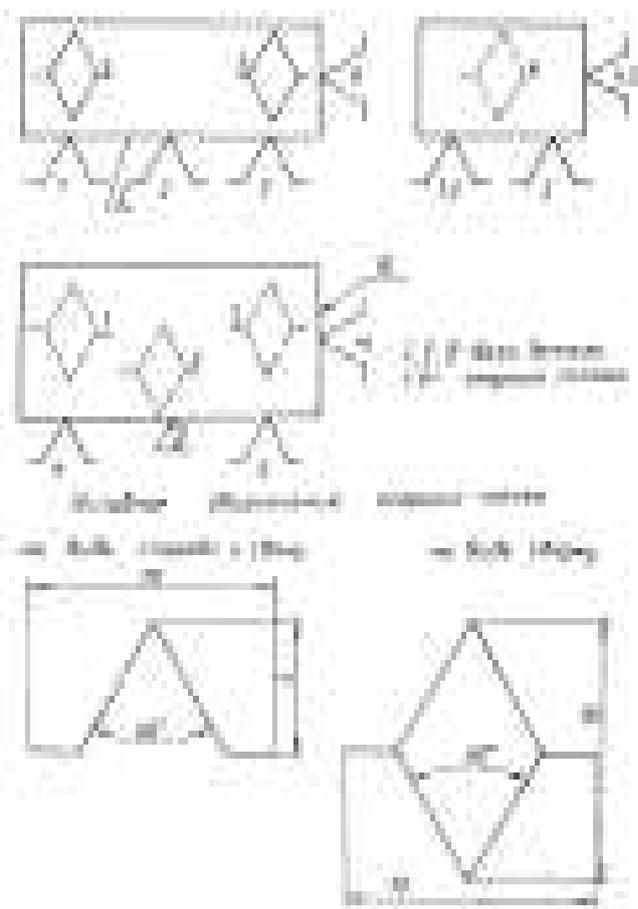


Рис. 4.3. Схема базирования призматической детали

Таблица 4.1

Классификация баз

По назначению	По лишаемым степеням свободы	По характеру проявления
1. Конструкторская а) основная б) вспомогательная	1 Установочная	
	2 Направляющая	1 Скрытая
2. Технологическая	3 Опорная	
3. Измерительная	4 Двойная направляющая	2 Явная
	5 Двойная опорная	

Классификация баз по назначению

Базирование необходимо на всех стадиях создания изделия: при конструировании и рассмотрении его в сборе, при изготовлении и измерении. Отсюда вытекает необходимость разделения баз по назначению на три вида: **конструкторские, технологические, измерительные** / 7 /.

Конструкторской называют базу, используемую для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. Конструкторские базы подразделяются на **основные** и **вспомогательные**.

Основной называют конструкторскую базу данной детали или сборочной единицы, используемую для определения их положения в изделии (рис.4.4).

Вспомогательной называют конструкторскую

помощью такой поверхности на деталь или заготовку можно наложить четыре связи. Такая база получила название двойной направляющей (рис.4.9).

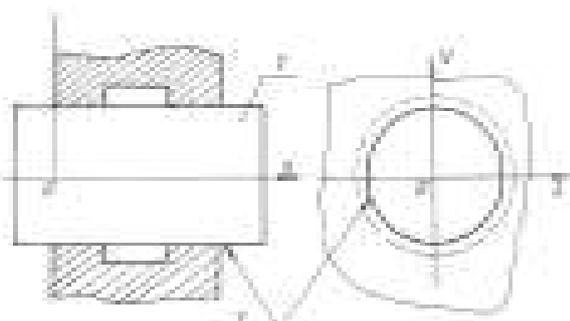


Рис.4.9. Двойная направляющая база. Двойная направляющая база (рис. 4.9) и направляющая база (рис. 4.10).

Рис.4.9. Двойная направляющая база

Двойной направляющей называют базу, используемую для наложения на заготовку или из деталей связей, **лишающих их четырех степеней свободы** – перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей (рис.4.9).

Двойной опорной называют базу, используемую для наложения на заготовку или изделий связей, **лишающих их двух степеней свободы** – перемещений вдоль двух координатных осей (рис.4.10).

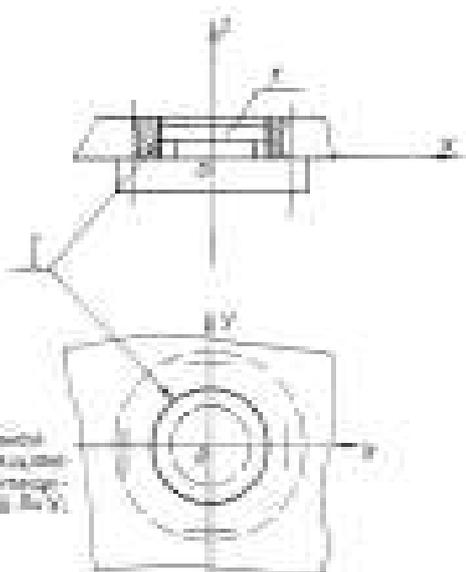


Рис.4.10. Двойная опорная база. Двойная опорная база (рис. 4.10) и направляющая база (рис. 4.9).

Рис. 4.10. Двойная опорная база

Классификация баз по характеру проявления

По характеру проявления **базы** подразделяются на **скрытые и явные** (рис.4.11).

Скрытой называют базу в виде воображаемой плоскости, оси или точки. Явной называют базу в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

При образовании терминов баз признаки должны располагаться в следующей последовательности: по назначению, лишаем степеням свободы, характе-

ру проявления, *например*: “технологическая направляющая скрытая база” и т.д.

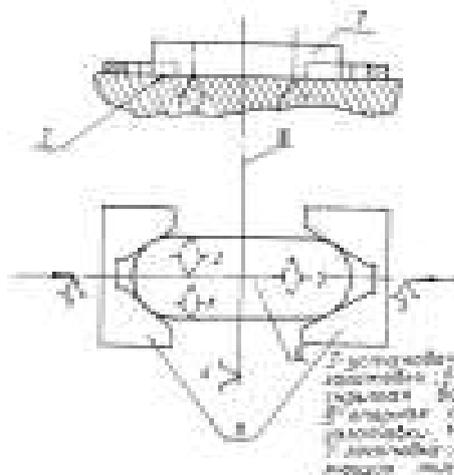


Рис.4.11. Явная и скрытая базы. Явная база (рис. 4.11) и скрытая база (рис. 4.12).

Рис.4.11. Явная и скрытая базы

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

Использование теории базирования в производственных условиях определило ряд решений, которые успешно применяются в проектных разработках. При разработке технологических процессов изготовления изделий проектировщик имеет дело с технологическими базами/ 9, 14 /.

Технологической базой, используемой при сборке, **называется поверхность, линия или точка детали** или сборочной единицы, относительно которых **ориентируются другие детали** или сборочные единицы изделия.

Технологической базой, используемой при обработке заготовок на станках, **называется поверхность, линия или точка заготовки**, относительно которых **ориентируются ее поверхности**, обрабатываемые на данном станке.

По особенностям применения технологические базы, используемые при механической обработке, подразделяются на контактные, проверочные и настроечные.

Контактными базами называются технологические базы, непосредственно соприкасающиеся с соответствующими установочными поверхностями приспособления или станка (рис.4.6).

Проверочные базы используются для выверки положения детали на станке и в приспособлении, а для закрепления детали используются другие поверхности (рис.4.12).

Следует отметить, что использование проверочных баз не требует применения приспособлений, и работа по этим базам экономически целесообразна в единичном и мелкосерийном производстве.

Настроечной базой называется поверхность заготовки, по отношению к которой ориентируются об-

рабатываемые поверхности, связанная с ними непосредственными размерами и образуемая при одном установе с рассматриваемыми поверхностями заготовки / 9 /.

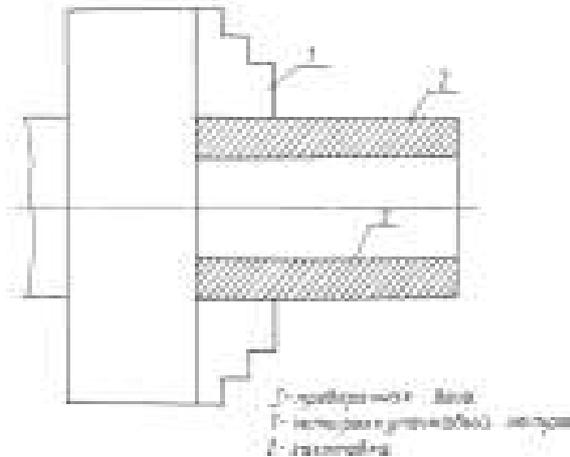


Рис. 4.12. Проверочная база

Примером настроечной базы может служить обработка заготовки на револьверном станке (рис. 4.13). Заготовка опирается поверхностью М на соответствующий упор зажимного устройства станка, однако эта поверхность, являясь технологической опорной базой для обработки торца А заготовки на размер h , не является таковой для всех остальных торцовых поверхностей заготовки В, С, D, Е, обрабатываемых на размеры b , c , d , e . Положение поверхностей В, С, D, и Е определяется при настройке станка не положением поверхности М, а положением поверхности А, относительно которой производится установка упоров. В этом случае поверхность А, обрабатываемая при том же установе, что и рассматриваемые поверхности В, С, D, Е, является для них технологической настроечной базой.

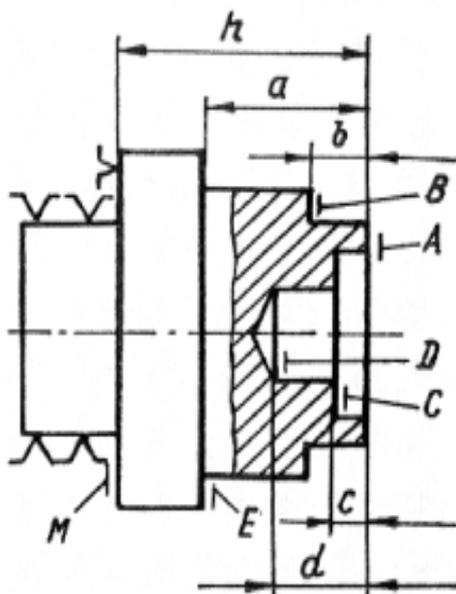


Рис. 4.13. Использование настроечной базы

Выше было отмечено, что для обеспечения определенного положения обрабатываемой заготовки на станке или в приспособлении необходимо и достаточ-

но шесть опорных точек, которые расположены на трех технологических базах: установочной (три), направляющей (две), опорной (одна). При этом заготовка должна базироваться в соответствии со схемой, представленной на рис. 4.6.

При выборе установочной базы необходимо принимать поверхность с наибольшими размерами, которая обеспечивает устойчивое положение заготовки. Следует отметить, что установочная база не обязательно должна занимать нижнее горизонтальное положение. Она может быть расположена вертикально, наклонно, горизонтально вверх.

Две опорные точки, расположенные на достаточном удалении друг от друга в одной плоскости, могут служить направляющей базой (узкая, но достаточно длинная боковая поверхность, она может быть заменена двумя выступающими участками, расположенными в одной плоскости).

Для опорной базы выбирают любой ровный участок соответствующей поверхности.

На рис. 4.6 представлена схема, когда при установе заготовки на станке или в приспособлении она лишается всех шести степеней свободы. Однако это условие базирования не всегда следует выполнять. Например, обрабатываемая плоскость в размер "А" (рис. 4.14) используется только установочная база (I). В этом случае нет необходимости предусматривать направляющую и опорную базы. Отсутствие этих баз может привести лишь к смещениям заготовки при ее установе на станке в направлениях, которые не определяют точности обработки плоскости в размер "А". Из примера ясно, что базирование заготовок упрощается с уменьшением числа степеней свободы.

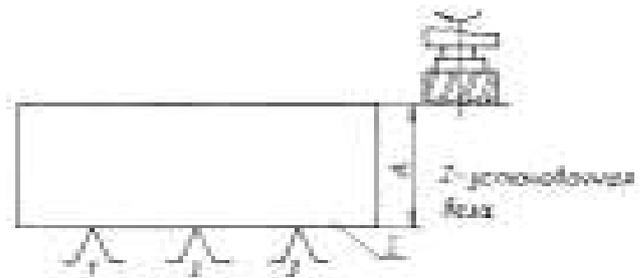


Рис. 4.14. Обработка плоскости в размер А

Поэтому там, где это возможно, следует стремиться к уменьшению количества опорных точек, что позволит упростить конструкцию приспособления, облегчит установку и закрепление обрабатываемой заготовки, обеспечит наиболее экономичную ее обработку.

Иногда технологические базы не обеспечивают необходимую жесткость заготовки при ее закреплении и обработке. В этих случаях прибегают к дополнительной опорной точке (поверхности). Например, при сверлении отверстия большого диаметра, возможна существенная деформация консольной части заготовки, что существенно осложнит процесс сверления (рис. 4.15).

Поэтому в данном конкретном случае необходима дополнительная опорная точка. Таких точек может быть столько, сколько потребуется для обеспечения

нормальных условий обработки, но они не должны изменять выбранную схему базирования. Наличие дополнительных опорных точек требует наличия соответствующих опор в приспособлении, которые должны быть подвижными и регулируемыми.

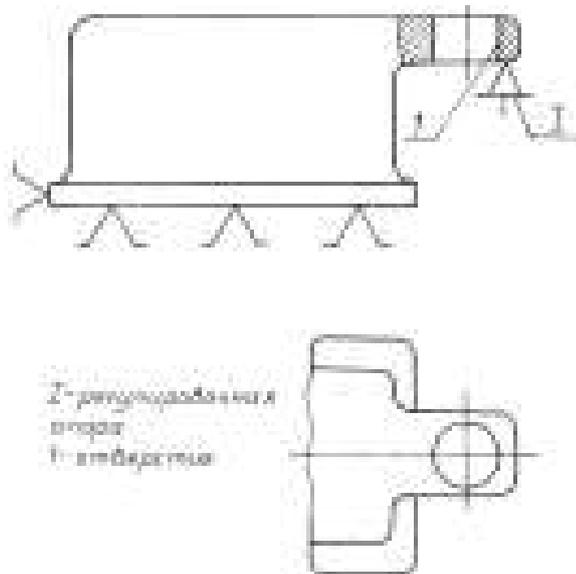


Рис.4.15. Пример использования регулируемой (плавающей) опоры

Нередко конфигурации заготовки, заданная конструктором точность размеров и геометрических параметров ее поверхностей не могут обеспечить надежную схему базирования, которая позволила бы произвести простую, производительную экономичную обработку. В этих случаях прибегают к технологическим искусственным базам, представляющим собой дополнительные поверхности, которые создаются для простого правильного решения вопросов базирования. Отмеченные поверхности специально задают чертежом детали. Характерным примером таких поверхностей являются центровые отверстия, являющиеся технологическими искусственными базами при обработке валов. Для работы вала в машине эти отверстия не нужны. В тех случаях, когда центровые отверстия чертежом не допускаются, они предусматриваются в заготовке, а затем удаляются.

Технологическими искусственными базами являются также поверхности, которые, исходя из условий базирования, обрабатываются с более высокой точностью и меньшей шероховатостью поверхности, чем это требуется по чертежу. Примером таких баз является распространенный способ базирования различных корпусов. На первых операциях обрабатываются основание корпуса и отверстия под болты, точность которых по чертежу невысокая. Но для удобства базирования и установки два из этих отверстий – наиболее удаленные друг от друга, обрабатывают более точно. Технологическими базами в этом случае будут: установочная поверхность (поверхность основания) и искусственные базы – два точно обработанных отверстия (искусственная база), рис.4.16.

В подавляющем большинстве случаев при установке заготовок используются явные базы. Однако в некоторых случаях диктуется необходимость перехо-

да к скрытым базам. Например, при высоких требованиях к концентричности цилиндрических поверхностей I и II в качестве технологической базы используется скрытая база – ось, точно обработанная отверстиями, которая материализуется в беззазорной оправе (рис.4.17).

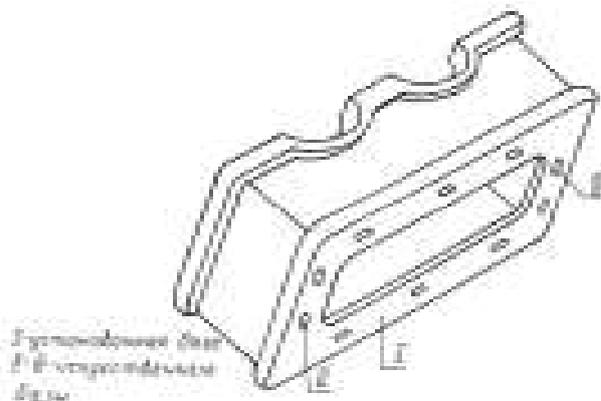


Рис.4.16. Пример использования искусственных баз

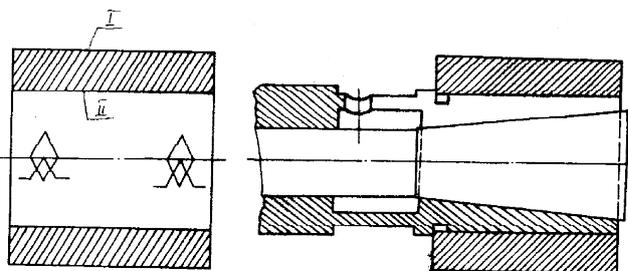


Рис.4.17. Схема использования скрытой базы

В ГОСТ 21495-76 определено, что все **многообразие поверхностей** деталей изделий машиностроения сводится к четырем видам:

- **исполнительные поверхности** – поверхности, при помощи которых деталь выполняет свое служебное назначение;
- **конструкторские основные базы**;
- **конструкторские вспомогательные базы**;
- **свободные поверхности** – поверхности, не соприкасающиеся с поверхностями других деталей.

4.2. Выбор баз

При разработке технологических процессов необходимо учитывать основные требования, которые предъявляются к технологическим базам.

Технологические базы должны обеспечивать устойчивое положение заготовки на станке или в приспособлении, надежное закрепление заготовки с исключением упругих деформаций различных ее поверхностей, при этом погрешности установки должны быть исключены или сведены к минимуму.

Механическая обработка заготовок обычно производится за несколько установок с использованием различных технологических баз. Заготовка будущей детали, как правило, изготавливается в заготовительных цехах (литейном, кузнечно-прессовом и других).

Поэтому в самом начале технолог имеет дело с необработанными поверхностями заготовки. Из этих поверхностей необходимо выбрать технологические базы для выполнения первой операции. Эти базы называют черновыми (первоначальными) технологическими базами. Они должны отвечать основным требованиям, которые были сформулированы выше. При этом необходимо учитывать некоторые особенности.

1. Черновые базы используются в большинстве случаев только для выполнения первой операции механической обработки заготовки. Следовательно, первые операции являются определяющими взаимное расположение поверхностей, обработка которых не предусматривается чертежом (необработанные поверхности), и поверхностей, подлежащих механической обработке. Поэтому, в качестве черновых баз рекомендуется использовать необрабатываемые поверхности.

2. Черновые базы должны быть, по возможности, простой, правильной геометрической формы с наименьшей шероховатостью; недопустимо на них наличие различного вида неровностей (заусенцев, мест, где были расположены прибыли, литники, выпоры и т.п.).

3. При выполнении первой операции припуск распределяется между обрабатываемыми поверхностями. В связи с этим следует стремиться к равномерности распределения припусков цилиндрических поверхностей и пазов (удаление неравномерного припуска с этих поверхностей вызывает снижение режимов резания), учитывать объем удаляемого металла, а также возможность перераспределения внутренних напряжений в заготовке.

После выполнения первой операции необходимо установить технологические базы для последующей обработки заготовки, которые обычно называют чистовыми.

Таковыми базами будут уже обработанные поверхности. Они должны обеспечить обработку исполнительных поверхностей, конструкторских основных и вспомогательных баз с необходимыми параметрами шероховатости, с заданными допустимыми отклонениями размеров, геометрической формы и взаимного расположения поверхностей.

В ходе технологического процесса могут быть использованы и другие технологические базы, которые называют промежуточными.

В процессе разработки технологических процессов, решая вопросы выбора баз, следует стремиться к соблюдению принципа совмещения (единства) баз и принципа постоянства баз.

Принцип совмещения (единства) баз заключается в том, что в качестве технологических баз принимаются поверхности, которые являются конструкторскими и измерительными базами.

При несовпадении технологической базы с измерительной возникают погрешности базирования. Если технологическая база не совпадает с конструкторской, необходимо решать вопросы пересчета размеров, определяющих взаимное расположение поверхностей. Это может привести к ужесточению допусков размеров обрабатываемых поверхностей, что приво-

дит к снижению производительности и повышению себестоимости изготовления деталей.

Отмеченное обстоятельство можно пояснить следующим примером.

На рис. 4.18 представлен эскиз обрабатываемой заготовки с размерами: $A = 80_{-0,74}$; $B = 35_{+0,62}$; точность обоих размеров соответствует 14-му качеству (JT14).

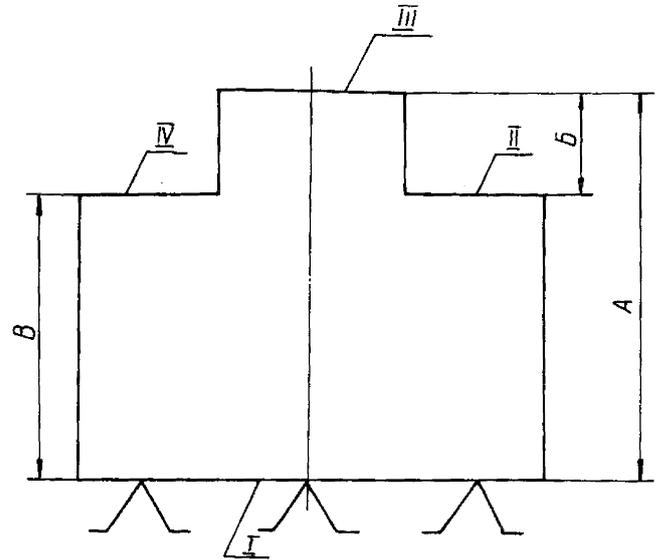


Рис. 4.18. Пример обработки поверхностей при несовпадении технологической и измерительной баз

Поверхность III является конструкторской и технологической базой для поверхностей II и IV. Однако эти поверхности удобно обрабатывать на горизонтально-фрезерном станке набором двухсторонних дисковых фрез с использованием, в качестве технологической установочной базы, поверхности I, которая не совпадает с конструкторской.

При работе на настроенном станке (при автоматическом получении размера) положение инструмента будет определяться не обозначенным в чертеже размером "B". Технолог же обязан обеспечить обработку детали так, чтобы размер "B" находился в пределах допуска ($T_B = 0,62$).

Решая поставленную задачу расчетом размерной цепи с использованием метода "максимум-минимум", с корректировкой полученных результатов до стандартных значений, будем иметь: $A = 80_{-0,3}$ (JT12); $B = 35_{-0,62}^{-0,30}$. Если же скорректировать предельные отклонения размера B до стандартных, то они будут соответствовать 11-му качеству: 35 а $11_{-0,47}^{-0,31}$.

Рассмотренный пример показывает, что несовпадение конструкторских и технологических баз вызвало необходимость уменьшения допусков на размеры обрабатываемых поверхностей. Если такое повышение точности не может быть приемлемым по различным причинам, то следует рассмотреть другие варианты обработки поверхностей II и IV. Например, использовать приспособление, в котором для базирования детали использовать поверхность III или обрабатывать одновременно комплектом фрез поверхности II, III и IV при установке детали на поверхность I; при этом техно-

логической настроечной базой будет поверхность III.

На этом примере можно убедиться в том, что конструктор обязан внимательно подходить к назначению размеров, анализируя технологические возможности обработки поверхностей детали. Неудачно проставленные размеры могут привести к значительному усложнению обработки детали и увеличению ее себестоимости.

Принцип постоянства баз заключается в том, что для выполнения всех операций обработки детали используются одни и те же технологические базы.

Осуществление этого принципа снижает погрешности взаимного расположения обработанных поверхностей / 9 /. Принцип постоянства баз в идеальном случае имеет место, когда обработка всех поверхностей заготовки обрабатывается при одной установке с черновых баз. Этот принцип практически в полной мере используется при обработке с одной установки заготовок наиболее простых конструктивных форм (обработка на токарно-револьверных станках, токарные автоматы и полуавтоматы и др.). Заготовки сложной формы, имеющие разнообразие поверхностей, обрабатываются с одной установки при построении технологического процесса по принципу концентрации операций на многоцелевых станках, станках с ЧПУ, многопозиционных станках автоматах, на автоматических линиях.

Довольно часто с одной установки обрабатываются детали в мелкосерийном и единичном производстве, в тяжелом машиностроении. В большинстве же случаев обработка деталей производится за несколько операций. Поэтому в начале технологического процесса создают надежные технологические базы, которые используются на последующих операциях.

Однако некоторые особые условия заставляют отступать от принципа постоянства баз.

При выполнении большого количества операций технологические базы могут приобретать различные дефекты: утрачивать первоначальную точность размеров, формы и расположения, а также параметр шероховатости. Например, наиболее надежными технологическими базами при обработке корпусных деталей считают плоскость и два точных отверстия, расположенных на ней. В ходе продолжительного технологического процесса у этих поверхностей могут возникнуть различные дефекты. Поэтому часть операций выполняют на других промежуточных базах.

В ряде случаев использование принципа постоянства баз может привести к усложнению выполнения технологического процесса, в результате чего увеличится себестоимость изготовления детали. Могут быть и другие причины, диктующие перемену технологических баз.

Когда возникает такая необходимость, в качестве промежуточных баз следует принимать такие поверхности, которые связаны с чистовыми базами высокими точностными параметрами.

Принятая схема базирования должна обеспечить положение заготовки на станке или в приспособлении, необходимое для обработки поверхностей с заданной степенью точности. Разработчик технологического процесса определяет принципиальное задание для

проектирования станочного приспособления. С этой целью на операционных эскизах указывается схема базирования, что может быть заменена графическим обозначением опор, зажимов и установочных устройств в соответствии с ГОСТ 3.1107-81, которые материализуют в реальных приспособлениях идеальные опорные точки.

В ГОСТ 21495-76, ГОСТ 3.1107-81, в учебной и справочной литературе по технологии машиностроения, например / 7, 9 / приведены распространенные схемы базирования заготовок или изделий, примеры разработки схем базирования, условные обозначения, условные обозначения опор, зажимов установочных устройств и число лишаемых степеней свободы.

4.3. Погрешности установки

При механической обработке на заготовку действуют силы резания, поэтому ее необходимо закрепить.

Закреплением называется приложение сил и пар сил к заготовке или изделию для обеспечения постоянства их положения, достигнутого при базировании. Установка представляет собой процесс базирования и закрепления заготовки или изделия.

Обеспечение контакта базовых поверхностей заготовки с опорными точками приспособления и полной неподвижности заготовки относительно приспособления в процессе ее обработки, решается при конструировании приспособления созданием необходимых зажимных устройств. В отличие от базирования заготовки, когда на нее накладывается различное число связей, и она лишается трех, четырех, пяти или шести степеней свободы, во всех случаях закрепления заготовка должна быть лишена всех шести степеней свободы / 9 /.

Отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при установке от требуемого называется погрешностью установки.

Анализ погрешностей установки будем рассматривать при обработке деталей на настроенных металлорежущих станках (при автоматическом получении размеров).

Погрешность установки (Δ_y) формируется в результате действия погрешностей закрепления (Δ_3), базирования (Δ_6) и приспособления ($\Delta_{пр}$). В общем виде она может быть представлена как векторная сумма:

$$\bar{\Delta}_y = \bar{\Delta}_3 + \bar{\Delta}_6 + \bar{\Delta}_{пр} \quad (4.1)$$

В результате действия силы зажима происходит деформация в стыке "технологическая база – установочные элементы приспособления", величина которой может быть определена эмпирической зависимостью:

$$y = C \cdot P^m \quad (4.2)$$

где C – коэффициент, зависящий от качества обработанных поверхностей, марки материала; P – сила, приходящаяся на опору приспособлений; $m = 0,3 \dots 0,5$.

Таким образом, при изменении силы зажима будет изменяться величина "у", что приведет к соответствующим погрешностям закрепления (рис.4.19).

Из приведенной зависимости можно сделать вывод о путях уменьшения погрешности закрепления – стабилизации сил зажима (применение пневматических, гидравлических и других зажимных устройств), повышении качества контактирующих поверхностей.

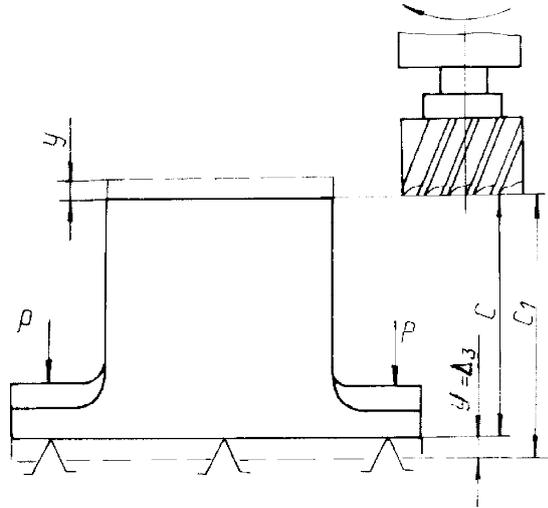


Рис.4.19. Схема осадки заготовки при ее закреплении

Силы зажима должны обеспечить принятую схему базирования. Иначе могут возникнуть погрешности закрепления, вызванные изменением заданного положения заготовки.

Погрешности базирования возникают при несовпадении измерительной и технологической баз. Ее величина определяется разностью расстояний от измерительной базы до установленного на размер инструмента.

Рассмотрим несколько характерных схем образования погрешности базирования.

При фрезеровании уступа (рис.4.20) инструмент настраивается на размеры C_1 и C_2 . Погрешности базирования будут отсутствовать при обработке поверхностей I и II в размеры "А" и "В" (измерительные и технологические базы совпадают).

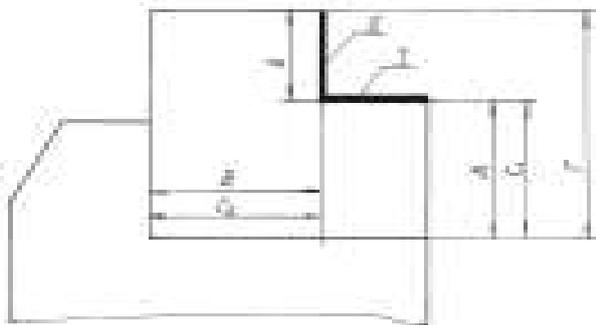


Рис.4.20. Схема образования погрешности базирования

Если поверхность I обрабатывать в размер "Б", то возникает погрешность базирования, равная допуску на размер "Г" (ТГ).

На рис.4.21 приведена схема базирования цилиндрической заготовки на призму при фрезеровании лыски (размеры h_1 и h_2). Погрешности базирования можно определить по следующим формулам:

$$\Delta \delta h_1 = K_1 T d; \quad \Delta \delta h_2 = K_2 T d;$$

$$K_1 = \frac{1 + \sin \alpha / 2}{2 \cdot \sin \alpha / 2}; \quad K_2 = \frac{1 - \sin \alpha / 2}{2 \cdot \sin \alpha / 2}.$$

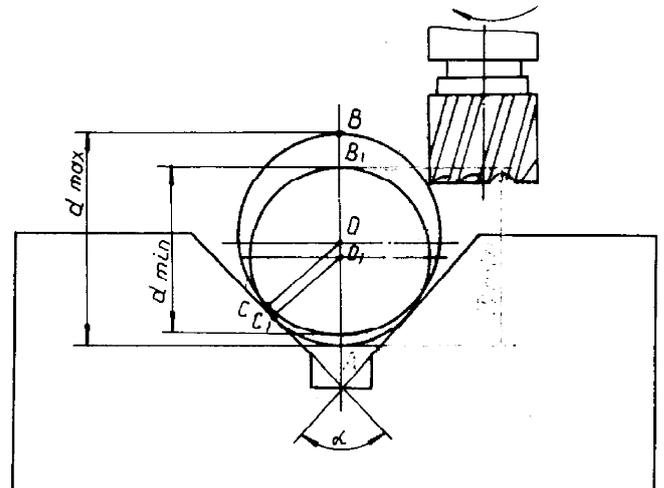
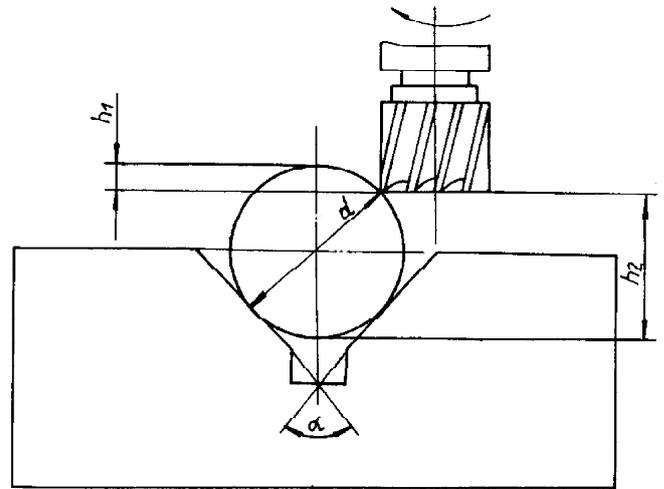


Рис.4.21.Схема для определения погрешности базирования вала при его установке на призме

Погрешности приспособления определяются геометрическими погрешностями приспособления, изнашиванием рабочих поверхностей, неправильной установкой его на станке.

Для практических целей общая погрешность установки определяется в соответствии с правилами суммирования случайных величин по формуле

$$\Delta_y = \sqrt{\Delta^2_z + \Delta^2_\delta + \Delta^2_{пр}}. \quad (4.3)$$

Погрешность установки при конкретных условиях обработки приведены в справочной литературе по технологии машиностроения, например, в работе /27/.

ГЛАВА V

КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ

5.1. Основные понятия, термины и определения

На всех этапах развития машиностроительного производства пристальное внимание уделялось качеству выпускаемой продукции. Проблема качества актуальна для всех товаров и услуг. Особенно остро это проявляется при переходе к рыночной экономике. Предприятия любой формы собственности, не уделяющие внимание вопросам качества, будут просто разорены.

Примеры развития передовых промышленных стран показывают, что решение проблем качества должно стать национальной идеей, носить всеобщий характер, что требует массового обучения и профессиональной подготовки всех слоев общества от рядового потребителя до руководителя любого уровня. Этим объясняется тот факт, что в последние годы значительно возрос выпуск специальной и учебной литературы по вопросам качества продукции.

В настоящей главе используются материалы из источников / 14, 16 /.

Следует отметить, что к обеспечению качества продукции направлена деятельность по стандартизации, метрологии и сертификации (рис.5.1).



Рис.5.1. Триада методов и видов деятельности по обеспечению качества продукции

Основные понятия, термины и определения установлены в нормативных документах по качеству продукции.

ГОСТ 16467-79 определил: “Качество продукции – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенным потребностям в соответствии с ее назначением”.

В 1986 г. Международной организацией по сертификации ИСО сформулированы термины по качеству

для всех отраслей бизнеса и промышленности. Было определено: “Качество – совокупность свойств и характеристик продукции или услуг, которые придают им способность удовлетворять установленные или предполагаемые потребности” (Международный стандарт ИСО 8402-86).

В 1994 г. терминология была уточнена. Стандартизовано следующее определение качества: “**Качество – совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные или предполагаемые потребности**”.

Объект – это то, что может быть индивидуально описано и рассмотрено. Объектом могут быть, например, деятельность или процесс; продукция; услуги; организация, система или отдельное лицо; любая комбинация из них.

Товар – любая вещь, свободно отчуждаемая, переходящая от одного лица к другому по договору купли-продажи.

Услуга – итоги непосредственного взаимодействия поставщика и потребителя и внутренней деятельности поставщика и потребителя.

Есть и другое определение услуги в более доступной форме: набор функций, которые организация предлагает потребителю.

Характеристика – это взаимосвязь между зависимыми и независимыми переменными в виде текста, таблицы, математической формулы, графика. Описываются в технике, как правило, функционально, а не единичным показателем.

Продукция рассматривается как результат деятельности или процесса. **Продукция** в ГОСТ 15467-79 определена как **результат процесса трудовой деятельности**, обладающий полезными свойствами и предназначенный для удовлетворения потребностей общественного или личного характера.

Результаты труда могут быть овеществленными (сырье, материалы, технические устройства и др.) и не овеществленными (энергия, информация и др.).

Термины и понятия указанного ГОСТа относятся только к овеществленным результатам труда.

Изделие является частным случаем единицы промышленной продукции. **Свойство продукции** – ее объективная особенность. Продукция имеет множество различных свойств, которые могут проявляться при ее создании, эксплуатации или потреблении, то есть при разработке, производстве, испытании, хранении, транспортировании, техническом обслуживании, ремонте и использовании. Термин “эксплуатация” применяется к такой продукции, которая в процессе использования расходует свой ресурс, а “потребление” относится к такой, которая при ее использовании расходуется сама.

Свойства продукции можно условно подразделить на **простые** и **сложные**. Например: надежность изделия является сложным свойством, которое обусловлено относительно простыми его свойствами – безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью.

Понятие качества используется также в термине “система качества”.

Система качества является целевой подсистемой

системы управления организацией / 16 /.

Система качества – совокупность организационной структуры, методов, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления общего руководства качеством (административного управления качеством).

Организационная структура системы качества устанавливается в рамках организационной структуры управления предприятием и представляет собой распределение прав, обязанностей и функций подразделений предприятия и персонала.

Управление – распространенный, но не стандартизованный в общем смысле термин. В различных информационных источниках содержатся различные определения термина “управление”.

Под управлением в широком смысле понимается **общая функция организационных систем** (биологических, технических, социальных), обеспечивающая сохранение их структуры, поддержание режима их деятельности, реализацию ее программы, цели.

По международным стандартам ИСО общее руководство качеством (административное управление качеством) – те аспекты общей функции управления, которые определяют политику в области качества, цели и ответственность, а также осуществляют с помощью таких средств, как планирование качества, управление качеством, обеспечение качества и улучшение качества в рамках системы качества. Оперативное управление качеством в Международных стандартах ИСО определяется термином “всеобщее руководство качеством”. Это подход к руководству организацией, нацеленный на качество, основанный на участии всех ее членов и направленный на достижение долгосрочного успеха путем удовлетворения требований потребителя и выгоды для членов организации и общества.

Политика в области качества – основные мероприятия и цели организации в области качества, официально сформулированные высшим руководством.

Планирование качества – деятельность, которая устанавливает цели и требования к качеству и применению элементов системы качества.

Обеспечение качества – все планируемые и систематически осуществляемые виды деятельности в рамках системы качества, а также подтверждаемые (если это требуется), необходимые для создания достаточной уверенности, что объект будет выполнять требования к качеству.

Улучшение качества – мероприятия, предпринимаемые повсюду в организации с целью повышения эффективности и результативности деятельности и процессов для получения выгоды, как для организации, так и для ее потребителей.

Признаком продукции является качественная или количественная характеристика любых ее свойств или состояний.

К **качественным признакам** можно отнести:

- цвет материала,
- форму изделия,
- наличие на поверхности детали антикоррозийного или декоративного покрытия,
- способ крепления деталей изделия (сварка, клепка) и др.

Качественные признаки могут носить альтернативный характер и имеют только два взаимоисключающих варианта, например, наличие или отсутствие защитного покрытия.

Количественный признак является параметром продукции и может быть одним из показателей ее качества.

Показатель качества продукции - *количественная характеристика* одного или нескольких *свойств продукции*, составляющих ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания, эксплуатации и потребления. Номенклатура показателей качества зависит от назначения продукции. Показатель качества продукции может выражаться в различных единицах, например, километрах в час, а также может быть безразмерным.

На современном этапе принята система качества, установленная в международных стандартах – ИСО серии 9000. Фундаментальным является следующий принцип системы: **управление качеством охватывает все стадии и этапы жизненного цикла.**

Но́и ἀπόσάδῳ ἰ ἰ ὑδᾶ **стадии** (этапа) **жизненного цикла продукции** - условно выделяемой его части, которая характеризуется спецификой направленности работ, производимых на этой стадии и конечным результатом. Как отмечалось в главе I, можно выделить шесть стадий: *маркетинг – проектирование – производство – обращение – эксплуатация (потребление) – утилизация*. Отдельные стадии могут разделяться на этапы и процессы / 16 /.

На этапе маркетинга изучаются требования заказчика продукции. На этапе проектирования разрабатывается продукция, отвечающая всем требованиям потребителя. На стадии производства обеспечивается уровень качества, заложенный в проекте. При обращении должно быть сохранено сформулированное качество в период транспортирования, хранения, подготовки к продаже, реализации. На стадии эксплуатации к управлению качеством подключается непосредственно потребитель продукции. От того, насколько он будет грамотно использовать (эксплуатировать) продукцию, будет зависеть ее качество, в частности срок службы. На стадии утилизации необходимо предупредить вредное действие использованной продукции на окружающую природную среду.

Этапом утилизации не заканчивается деятельность предприятия. К этому сроку, а практически еще раньше, предприятие начинает изучать предполагаемые потребности, уточнять текущие потребности и после маркетинговой деятельности приступает к проектированию новой продукции. Так возникает новый виток деятельности в области качества – от стадии маркетинга до стадии утилизации и т.д.

Непрерывность стадий и этапов жизненного цикла подсказала исследователям проблемы качества модель обеспечения качества в виде непрерывной цепи (окружности), составляющей которой служат отдельные этапы жизненного цикла продукции (рис. 1.1). Эту модель раньше называли **петлей качества** (спиралью качества), и в последней версии ИСО 900 – “типичные этапы жизненного цикла продукции”.

5.2. Показатели качества продукции

Классификация показателей качества продукции по числу характеризующих свойств приведена на рис. 5.2 / 14. 16 /.



Рис.5.2. Классификация показателей качества продукции

Единичный показатель качества продукции – показатель, характеризующий одно из ее свойств, называется **единичным показателем** качества продукции. Примером единичного показателя двигателя может быть число цилиндров, мощность и др.

Комплексным называется показатель качества продукции, характеризующий несколько ее свойств.

Примером комплексного показателя качества продукции является коэффициент готовности (K_r), который для определенного вида изделий определяется по формуле:

$$K_r = \frac{T}{T + T_B}, \quad (5.1)$$

где T – наработка изделия на отказ (показатель безотказности); T_B – среднее время на восстановление (показатель ремонтпригодности).

Из формулы (5.1) видно, что K_r характеризует два свойства изделия – безотказность и ремонтпригодность.

Интегральный показатель качества продукции (U) позволяет с экономических позиций определить совокупность свойств изделий. Он определяется отношением полезного суммарного эффекта эксплуатации к суммарным затратам на ее создание и эксплуатацию или потребление.

$$U = \frac{\mathcal{E}}{Z_c + Z_{\mathcal{E}}}, \quad (5.2)$$

где \mathcal{E} – полезный суммарный эффект от эксплуатации или потребления продукции (например, пробег грузового автомобиля в тонн на километрах за срок службы до капитального ремонта);

Z_c – суммарные затраты на создание продукции (разработку, изготовление, монтаж и другие единовременные затраты);

$Z_{\mathcal{E}}$ – суммарные затраты на эксплуатацию продукции (техническое обслуживание, ремонты и другие единовременные затраты).

Определяющим называется показатель качества продукции, по которому принимают решение оценивать ее качество. Определяющий показатель качества продукции может быть **единичным** и **комплексным**.

Комплексный определяющий показатель качества продукции называют **обобщенным**.

Комплексный показатель качества продукции, относящийся только к одной группе ее свойств, называется **групповым**.

Базовое значение показателя качества продукции принимается за основу сравнительной оценки ее качества. В качестве базовых значений могут приниматься **значения** показателей качества **лучших** отечественных и зарубежных **образцов**, по которым имеются достоверные данные об их качестве, планируемые значения показателей перспективных образцов и другие.

Относительное значение показателя качества продукции определяется отношением значения показателя качества оцениваемой продукции к базовому значению этого показателя и выражается в безмерных величинах или процентах.

Средние взвешенные показатели применяют, если нельзя установить функциональную зависимость главного показателя от исходных показателей качества, но невозможно с достаточной степенью точности определить параметры весовости усредненных показателей / 16 /.

В ГОСТ 15467-79 приводятся **определения значений** показателя качества продукции: **предельное**, **оптимальное**, а также допускаемого отклонения показателя качества продукции.

Оптимальное значение показателя качества продукции – это такое значение, при котором достигается либо наибольший эффект от эксплуатации или потребления продукции при заданных затратах на ее создание и эксплуатацию или потребление, либо заданный эффект при наименьших затратах, либо наименьшее отношение эффекта к затратам.

На рис. 5.3 представлена в общем виде зависимость затрат на изготовление и на эксплуатацию от качества продукции. Оптимальный уровень качества будет определяться наименьшими суммарными затратами.

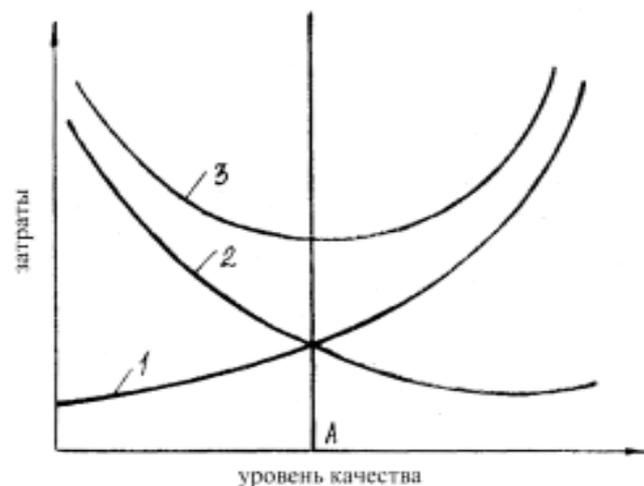


Рис.5.3. Оптимальный уровень качества продукции
1-затраты на изготовление продукции; 2 - затраты в процессе эксплуатации; 3 - суммарные затраты;
А - оптимальный уровень качества

Уровень качества продукции определяется относительной характеристикой качества продукции, основанной на сравнении значений показателей качества оцениваемой продукции к базовым значениям соответствующих показателей.

При сопоставлении образцов отечественной и зарубежной продукции часто приходится ограничиваться техническим уровнем, поскольку экономические показатели для зарубежной продукции, как правило, неизвестны или не поддаются сравнению.

Технический уровень продукции определяется относительной характеристикой, основанной на сопоставлении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции с соответствующими базовыми значениями.

Оценка уровня качества продукции является основой для выработки соответствующих решений в системе управления качеством продукции. Общая схема оценки уровня качества продукции представлена на рис. 5.4.

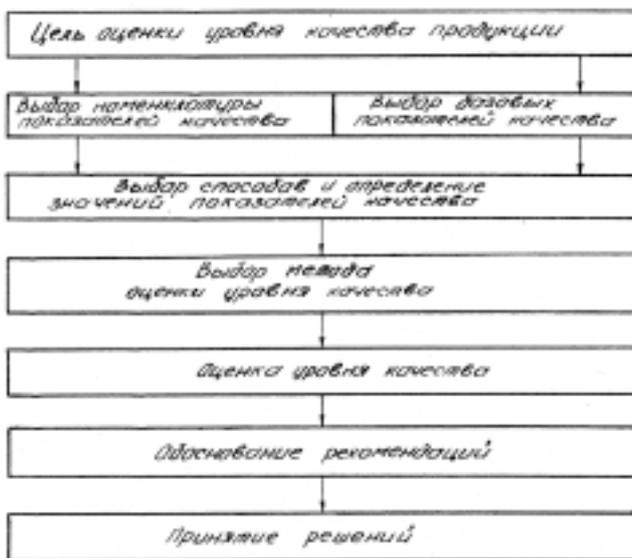


Рис.5.4. Общая схема оценки уровня качества продукции

Для оценки уровня качества продукции определена следующая номенклатура основных групп показателей качества продукции по характеризующим ими свойствам продукции: назначения, надежности, экономичности, эргономические, эстетические, технологичности, стандартизации и унификации, патентно-правовые, экологические, безопасности, транспортабельности / 14, 16 /.

Ниже приводится краткая характеристика этих показателей.

1. Показатели назначения – характеризуют свойства продукции, определяющие основные функции, для выполнения которых она предназначена, и обуславливают область ее применения.

Составляющими этой группы являются подгруппы:

а) классификационные показатели – например, мощность электродвигателя; емкость ковша экскаватора; содержание углерода в стали и др.;

б) показатели функциональной и технической эффективности – например, показатель производительности станка, определяющий количество изготовленной продукции за некоторый период; показатель точности и быстроты срабатывания измерительного прибора и др.;

в) конструктивные показатели; к ним относятся: габаритные размеры; присоединительные размеры, коэффициент эффективности взаимозаменяемости,

коэффициент сборности (блочности) изделия и др.;

г) показатели состава и структуры характеризуют содержание в продукции химических элементов или структурных групп – например, процентное содержание компонента (легирующих добавок) стали и др.

2. Показатели надежности – являются одним из основных свойств промышленной продукции.

Надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки.

Надежность объекта – сложное свойство, состоящее, в общем случае, из сочетаний свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Безотказность показывает свойство изделия непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки, выражающееся в вероятности безотказной работы, средней наработке до отказа, интенсивности отказов.

Ремонтпригодность – это свойство изделия, заключающееся в приспособленности его к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания. Единичными показателями ремонтпригодности являются вероятность восстановления работоспособного состояния, среднее время восстановления. Восстанавливаемость изделия характеризуется средним временем восстановления до заданного значения показателя качества и уровнем восстановления.

Сохраняемость – свойство продукции сохранять исправное и работоспособное, пригодное к потреблению состояние, в течение и после хранения и транспортирования. Единичными показателями сохраняемости могут быть средний срок сохраняемости и назначенный срок хранения.

Долговечность – свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Единичными показателями долговечности являются средний ресурс, средний срок службы.

3. Показатели экономичности определяют совершенство изделия по уровню затрат материальных, топливно-энергетических и трудовых ресурсов на его производство и эксплуатацию (потребление). Это, в первую очередь, себестоимость, цена покупки и цена потребления, рентабельность и т.д.

4. Эргономические показатели характеризуют систему “человек-изделие” (в частности “человек-машина”) и учитывают комплекс гигиенических, антропометрических, физиологических и психологических свойств человека, проявляющихся в производственных и бытовых процессах.

5. Эстетические показатели характеризуют информационную выразительность, рациональность формы, целостность композиции, совершенство производственного исполнения продукции и стабильность товарного вида.

6. Показатели технологичности имеют отношение к таким свойствам конструкции изделия, которые определяют его приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и восстановлении заданных значений показателей качества. Они являются определяющими для показателей экономической эффективности. Единичные показатели технологичности – удельная трудоемкость, материалоемкость, энергоемкость изготовления и эксплуатации изделия, длительность цикла технического обслуживания и ремонтов и др.

7. Показатели транспортабельности характеризуют приспособленность продукции к транспортированию, то есть к перемещению в пространстве, которое не сопровождается ее использованием или потреблением, а также к подготовительным и заключительным операциям, связанным с транспортированием.

8. Показатели стандартизации и унификации характеризуют насыщенность продукции стандартными, унифицированными и оригинальными составными частями, а также уровень унификации с другими изделиями.

9. Патентно-правовые показатели характеризуют степень обновления технических решений, использованных в продукции, их патентную защиту, а также возможность беспрепятственной реализации продукции в нашей стране и за рубежом.

10. Экологические показатели характеризуют уровень вредных воздействий на окружающую среду, возникающих при эксплуатации или потреблении продукции.

11. Показатели безопасности характеризуют особенности продукции, обуславливающие при ее эксплуатации или потреблении безопасность человека (обслуживающего персонала).

В зависимости от специфических особенностей продукции и условий ее изготовления и использования некоторые из перечисленных групп показателей качества продукции могут отсутствовать. При необходимости вводятся группы показателей, характерные для рассматриваемой продукции.

5.3. Содержание оценки уровня качества продукции

5.3.1. Общие положения

Согласно ГОСТ 15467-79 **оценка уровня качества продукции** – это совокупность операций, включающая выбор номенклатуры показателей качества оцениваемой продукции, определение значений этих показателей и сопоставление их с базовыми.

Содержание операций оценки уровня качества на различных стадиях жизненного цикла продукции и последовательность их проведения показано на рис. 5.4 / 16 /.

Для целей оценки уровня качества вся промышленная продукция разделена на два класса.

Первый класс (продукция, расходуемая при использовании) подразделяется на три группы:

1-я – сырье и топливно-природные ископаемые,

прошедшие стадию добычи, жидкое, твердое и газообразное топливо и др.;

2-я – материалы и продукты (лесоматериалы, искусственное топливо, масла и смазки, химические продукты и др.);

3-я – расходные изделия (жидкое топливо в бочках, баллоны с газами, кабели в катушках и т.п.).

Второй класс (продукция, расходующая свой ресурс) составляет две группы:

1-я – неремонтируемые изделия (электровакуумные и полупроводниковые приборы, резисторы, конденсаторы, подшипники, шестерни и т.п.);

2-я – ремонтируемые изделия (технологическое оборудование, автоматические линии, измерительные приборы, транспортные средства и т.п.).

Указанная классификация применяется для выбора номенклатуры единичных показателей определенной группы продукции, определения области их применения, обоснования выбора конкретного изделия или нескольких изделий в качестве базовых образцов, создания системы государственных стандартов на номенклатуру показателей качества продукции.

Исходную номенклатуру показателей качества продукции устанавливают по рекомендациям таблицы 5.1.

Таблица 5.1
Применяемость основных показателей качества по классам и группам продукции

Показатели качества продукции	Первый класс продукции			Второй класс продукции	
	Группы				
	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я
Назначения	+	+	+	+	+
Экономичности	+	+	+	+	+
Надежности:					
- безотказности	-	-	-	+	+
- долговечности	-	-	-	+	+
- ремонтпригодности	-	+	+	-	+
- сохраняемости	+	+	+	+	+
Эргономические	-	+	+	+	+
Эстетические	-	+	+	+	+
Технологичности	+	+	+	+	+
Транспортабельности	+	+	+	+	+
Стандартизации и унификации	-	-	+	+	+
Патентно-правовые	-	+	+	+	+
Экологические	+	+	+	+	+
Безопасности	+	+	+	+	+

Примечания:

1. Знак "+" означает применяемость показателей, знак "-" - неприменяемость.
2. Вместо показателей ремонтпригодности для 2-й и 3-й групп продукции применяются показатели восстанавливаемости.
3. По согласованию с заказчиком (потребителем) могут быть допущены отклонения от рекомендаций таблицы.

ГОСТ 15467-79 устанавливает шесть методов определения показателей качества продукции / 14 /.

1. Измерительный метод осуществляется на основе технических средств измерения. С помощью этого метода определяют значения таких показателей качества, как масса изделия, скорость автомобиля и др.

2. Регистрционный метод базируется на информации, получаемой путем регистрации и подсчета числа определенных событий, предметов или затрат. Например, отказов изделия при испытании изделия,

подсчета числа дефектных изделий в партии и т.п.

3. **Расчетный метод** основан на использовании теоретических и (или) эмпирических зависимостей показателей качества продукции от ее параметров. Этот метод применяют, главным образом, при проектировании продукции; он служит для определения значения массы изделия, показателей его производительности, мощности, прочности и др.

4. **Органолептический метод** основан на использовании информации, получаемой в результате анализа восприятий органов чувств человека: зрения, слуха, обоняния, осязания и вкуса. Поэтому, точность и достоверность таких значений зависят от квалификации, навыков и способностей лиц, определяющих их. Этот метод не исключает возможности использования технических средств (лупа, микроскоп, микрофон и т.д.), повышающих восприимчивость и разрешающие способности органов чувств; он используется для определения показателей качества, обычно в баллах, пищевых продуктов, эстетических показателей и др.

5. **Экспертный метод** – значения показателей качества продукции определяются группой специалистов-экспертов.

6. **Социологический метод** – при этом методе определение значений показателей качества продукции осуществляется на основе сбора и анализа мнений ее фактических или возможных потребителей. Сбор мнений потребителей производится путем устных опросов или с помощью распространения анкет-вопросников, а также путем организации конференций, выставок и т.п.

В научно-технической литературе отмечается еще один **метод традиционный** / 16 /.

При этом методе показатели качества определяются должностными лицами (работниками) специализированных экспериментальных лабораторий, полигонов, стендов и расчетных подразделений предприятий – конструкторских отделов, вычислительных центров, служб надежности. Информация о показателях формируется в процессе испытаний продукции, условия проведения которых должны быть приближены к нормальным или форсированным эксплуатационным. Например, в условиях полигонов автомобильных и тракторных предприятий, испытательных площадок и стендов энергетических турбин авиационных двигателей, телеграфных аппаратов и т.д.

5.3.2. Оценка качества продукции

Оценку уровня качества продукции производят сравнением совокупностей показателей качества этой продукции с соответствующей базового образца (совокупностью базовых значений показателей).

Базовым образцом называется реально достижимая совокупность значений показателей качества продукции, принятых для сравнения. Совокупность базовых значений показателей должна характеризовать оптимальный уровень качества продукции на некоторый заданный период времени.

На стадии разработки базовыми образцами могут служить перспективные образцы продукции, показатели качества которой заложены в техническом зада-

нии, техническом или рабочем проектах, на стадии изготовления базовым образцом продукции может быть продукция, показатели качества которой в момент оценки отвечают самому высокому мировому уровню.

В связи с быстрым прогрессом техники необходимо систематически пересматривать базовые образцы и оперативно доводить значения показателей их качества до сведения заинтересованных организаций и предприятий.

Методы оценки качества продукции определены в ГОСТ 15467-79.

Оценка уровня качества продукции – совокупность операций, включающая *выбор номенклатуры показателей качества* оцениваемой продукции, *определение значений этих показателей* и *сопоставление их с базовыми*.

Технический уровень продукции оценивается как совокупность операций, которая включает выбор номенклатуры показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, определение значений этих показателей и сопоставление их с базовыми.

Используются следующие **методы оценки** уровня качества продукции: *дифференциальный, комплексный, смешанный*.

Дифференциальный метод оценки качества продукции основан на использовании единичных показателей ее качества. При этом методе производится сравнение показателей качества оцениваемого вида продукции с соответствующими базовыми показателями:

$$C_i = P_i / P_{i\text{баз}}, \quad (5.3)$$

$$C_i' = P_{i\text{баз}} / P_i, \quad (5.4)$$

где P_i – значение i -го показателя качества оцениваемой продукции; $P_{i\text{баз}}$ – значение i -го базового показателя;

$i = 1, 2, \dots, n$, где n – количество показателей качества продукции.

Из формул (5.3) и (5.4) выбирают ту, при которой увеличению относительного показателя отвечает улучшение качества продукции.

Например, относительный показатель для производительности вычисляют по формуле (5.3), так как увеличение значения единичного показателя указывает на улучшение качества продукции. Относительный показатель материалоемкости рассчитывают по формуле (5.4), так как в этом случае улучшение качества продукции определяется уменьшением значения единичного показателя.

При использовании дифференциального метода, оценивающего уровень качества продукции, принимаются следующие решения:

1. Если все значения относительных показателей больше или равны единице, уровень качества оцениваемой продукции выше или равен уровню базового образца.

2. Если все значения относительных показателей меньше единицы, уровень качества оцениваемой продукции ниже уровня базового образца.

3. В случаях, когда часть значений относительных показателей больше или равна единице, а часть

– меньше единицы, следует применять комплексный или смешанный метод оценки уровня качества продукции.

Комплексный метод оценки качества продукции основан на использовании комплексных (обобщённых) показателей её качества. Этот метод применяется в случаях, когда оказывается целесообразным уровень качества выразить только одним числом.

Уровень качества по комплексному методу оценивается отношением:

$$K = \frac{C_{оц}}{C_{баз}}, \quad (5.5)$$

где $C_{оц}$ – комплексный (обобщённый) показатель оцениваемой продукции;

$C_{баз}$ – комплексный (обобщённый) показатель базового образца.

Сложная продукция, как правило, имеет широкую номенклатуру показателей качества. В этом случае с помощью дифференциального метода невозможно дать конкретную оценку. Комплексный метод не сможет учесть все значимые свойства оцениваемой продукции.

В отмеченных обстоятельствах используют смешанный метод оценки качества продукции, который основан на одновременном использовании единичных и комплексных показателей её качества.

Оценка качества продукции этим методом заключается в следующем:

1) часть единичных показателей объединяют в группы, и для каждой группы определяется соответствующий комплексный (групповой) показатель. Наиболее значимые единичные показатели не объединяют в группы, а рассматривают при дальнейшем анализе отдельно как единичные;

2) на основе полученной совокупности комплексных и единичных показателей оценивают уровень качества продукции дифференциальным методом.

Для оценки качества совокупности разнородной продукции используются индексы качества и дефектности. Отмеченные индексы являются универсальными показателями, которыми можно оценить качество продукции предприятия в целом и проанализировать его изменение за ряд лет.

Методы определения индексов качества и дефектности, а также содержание работ по оценке технического уровня продукции изложены в специальной литературе / 16 / и др.

Определения, изложенные в настоящей главе, материалы источников / 14, 16 и др. /, ГОСТ 15467-79 позволяют выделить основные положения по управлению качеством продукции.

Управление качеством продукции называются действия, осуществляемые при создании и эксплуатации или потреблении продукции в целях установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня ее качества.

Сущность всякого управления заключается в выработке управляющих решений и последующей реализации предусмотренных этими решениями уп-

равляющих воздействий на определенном объекте управления.

При управлении качеством продукции непосредственными объектами управления, как правило, являются процессы, от которых зависит качество продукции на всех этапах разработки, проектирования, изготовления, эксплуатации или потребления.

Сопоставление информации о фактическом состоянии управляемого процесса с его характеристиками или характеристиками, заданными программой управления, является основанием для выработки управляющих решений. Нормативная документация, регламентирующая значения параметров или показателей качества продукции, техническая документация, которая устанавливает требования к процессам разработки, производства, эксплуатации или потребления продукции рассматриваются как программы управления качеством продукции.

Управляющие воздействия должны быть направлены на сохранение фактического состояния управляемого процесса или на корректирование этого процесса.

Система управления качеством продукции – совокупность управляющих органов и объектов управления, взаимодействующих с помощью материально-технических и информационных средств. При управлении качеством продукции она должна предусматривать совокупность взаимосвязанных организационных, технических, экономических и социальных мероприятий по обеспечению целей управления качеством продукции, то есть достижения требуемого уровня качества продукции. Система управления качеством продукции охватывает коллективы людей, технические устройства, материальные средства и массивы (потоки) информации.

Системный подход требует рассматривать систему управления качеством продукции, как неотъемлемую часть управления организациями и предприятиями.

Рассмотренные выше материалы о качестве продукции свидетельствуют о том, что основные группы показателей, в том числе экономические показатели качества продукции, в значительной степени зависят от технологии изготовления изделия.

Среди определяющих элементов, влияющих на качество изделия, является точность его изготовления (детали, сборочной единицы и изделия в целом), а также качество обработанных поверхностей.

ГЛАВА VI

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК

6.1. Общие положения

Важнейшие показатели качества машин в значительной степени определяются точностью их изготовления. Не случайно поэтому точность является одной из определяющих характеристик современного машиностроения. Повышение нагрузок и скоростей машин, возрастающие требования к их надежности и долговечности вызывают необходимость уделять все большее и большее внимание обеспечению точности изготовления машин, механизмов, сборочных единиц и отдельных деталей.

Под точностью обработки понимается соответствие формы, размеров и положения обработанной поверхности требованиям чертежа и технических условий.

По ряду причин, при любых методах обработки, будут иметь место отклонения полученного значения геометрического или другого параметра от заданного. Такое отклонение называется погрешностью обработки / 14 /. Абсолютная погрешность (ΔX) выражается в единицах рассматриваемого параметра и определяется разностью между действительным (полученным) значением параметра (X_D) и его номинальным (заданным) значением (X_N): $\Delta X = X_D - X_N$. Отношение абсолютной погрешности к заданному значению параметра называют относительной погрешностью:

$$\Delta X / X_N \text{ или } \Delta X / X_N \cdot 100 \text{ \%}.$$

При несимметричном расположении поля допуска вместо номинального значения параметра принимается его среднее значение. Например, при $60 \begin{smallmatrix} +0,174 \\ +0,100 \end{smallmatrix}$ заданное значение параметра равно 60,137.

Классификацию погрешностей обработки можно укрупненно представить в следующем виде (рис. 6.1)

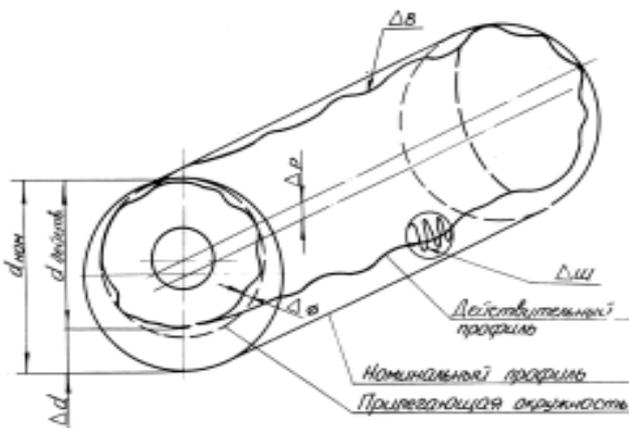


Рис. 6.1. Погрешности обработки

- 1) Δd – погрешности размера;
- 2) Δr – погрешности расположения поверхностей;

3) $\Delta \phi$ – погрешности формы поверхностей;

4) Δ_B – волнистость поверхности;

5) Δ_{III} – шероховатость поверхности.

Оптимальная точность изготовления деталей обеспечивается ограничением указанных погрешностей их предельными значениями, то есть соответствующими допусками.

Заданные чертежом допуски, ограничивающие отклонения геометрических параметров поверхностей детали, должны обеспечить служебное назначение машины.

Эти допуски устанавливаются по соответствующим стандартам. Стандарты единой системы допусков и посадок (ЕСДП) распространяются на гладкие сопрягаемые и несопрягаемые элементы деталей с номинальными размерами до 10000 мм: ГОСТ 25346-82; ГОСТ 25347-82; ГОСТ 25348-82.

Степени точности по ЕСДП называются квалитетами. Установлено 20 квалитетов: 01, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18. Точность убывает от квалитета 01 к квалитету 18.

Допуск квалитета условно обозначается сочетанием прописных букв IT и номера квалитета, например, IT1, IT2, IT3, IT4 и т.д.

Термины и определения, относящиеся к основным видам отклонений допусков формы и расположения, установлены ГОСТ 24642-81. В основу нормирования и количественной оценки отклонений формы и расположения поверхностей положен принцип прилегающих поверхностей, прямых и профилей.

Под отклонением формы поверхности (профиля) понимается отклонение реальной поверхности (реального профиля) от формы номинальной поверхности (номинального профиля) рис. 6.2.



Рис. 6.2. Отклонение формы поверхности

Количественно отклонение формы оценивается наибольшим расстоянием от точек реальной поверхности (реального профиля) до прилегающей поверхности (прилегающего профиля) по нормали к прилегающей поверхности (прилегающего профиля) рис. 6.2.

Отклонение расположения – отклонение реального расположения рассматриваемого элемента от его номинального расположения (рис. 6.3).

Суммарные отклонения формы и расположения – отклонения, являющиеся результатом совместного проявления отклонения формы и отклонения расположения рассматриваемой поверхности (рис. 6.4).

Числовые значения допусков формы и располо-

жения поверхностей установлены ГОСТ 24643-81, который предусматривает 16 степеней точности.

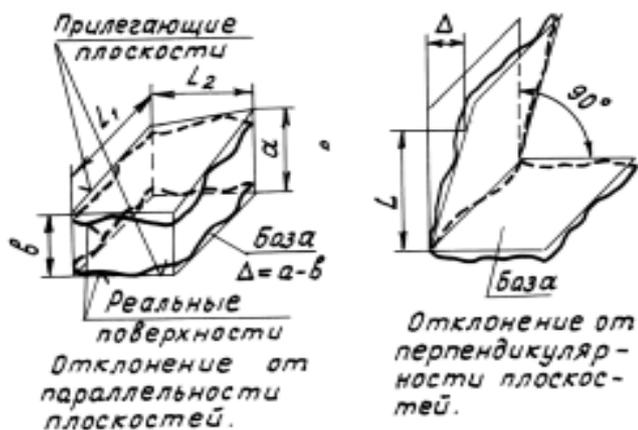


Рис. 6.3. Отклонение взаимного расположения поверхностей

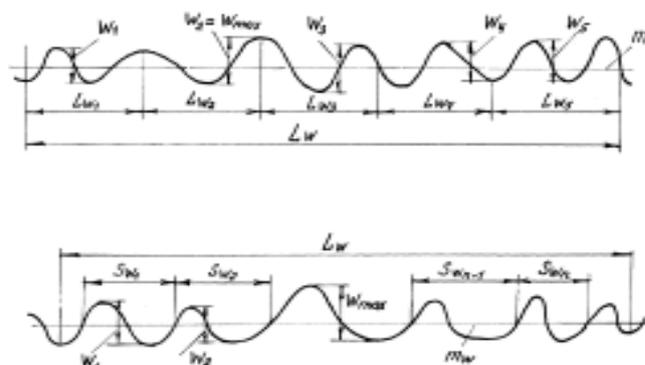


Рис.6.5. Волнистость поверхности

Высоты W_i определяют на длине участка L_w , равной не менее пяти действительным наибольшим шагам S_w . Отдельные измерения волнистости производят на длине L_{wi} , равной пятой части L_w ;

2) W_{max} – наибольшая высота волнистости (в пределах L_w);

$$3) S_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{wi} - \text{средний шаг волнистости.}$$

Положение средней линии (m_w) определяется так же, как и положение средней линии профиля (m) шероховатости (глава 7).

Волнистость поверхности относится к отклонению формы. В обоснованных случаях допускается нормировать волнистость отдельно.

Стандартами установлены допуски и посадки различных соединений (резьбовых, шлицевых, шпоночных, конических, зубчатых колес и передач и др.).

Допустимую погрешность обработки указывают на чертеже с помощью соответствующих допусков.

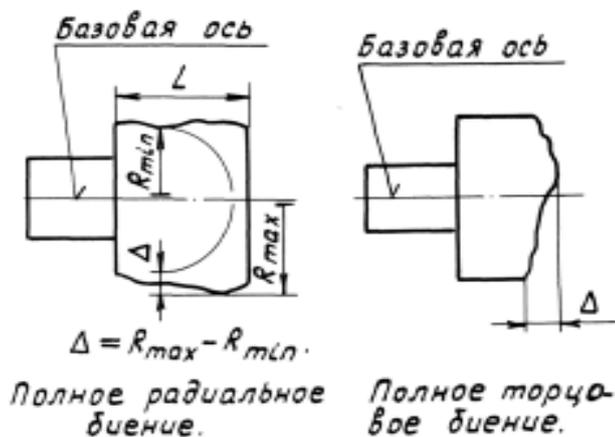


Рис.6.4. Суммарные отклонения формы и расположения поверхностей

Обозначение на чертежах допусков формы и расположения поверхностей деталей производится в соответствии с ГОСТ 2.308-79 двумя способами: условным обозначением или текстом в технических требованиях. Применение условных обозначений предпочтительнее.

Под волнистостью поверхности понимают совокупность периодически повторяющихся неровностей, у которых расстояния между смежными возвышенностями или впадинами превышают базовую длину (l). Волнистость занимает промежуточное положение между отклонениями формы и шероховатостью поверхности (рис. 6.5).

Установлены следующие условные границы: $S_w/W_z < 40$ – шероховатость; $S_w/W_z > 1000$ – отклонение формы; $1000 \geq S_w/W_z \geq 40$ – волнистость.

Рекомендуются следующие параметры волнистости:

1) $W_z = \frac{1}{5} (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5)$ – высота волнистости.

6.2. Погрешности обработки

Погрешности обработки формируются на различных этапах технологического процесса и должны рассматриваться комплексно с учетом всех этих этапов.

Например, повышение точности изготовления заготовок позволяет снизить трудоемкость механической обработки и в определенной степени оказать положительное влияние на формирование суммарной погрешности. Повышение точности обработанных деталей позволяет повысить точность сборочных единиц и изделия в целом, снизить трудоемкость сборочных работ.

Чем выше требования к точности изготовления деталей, тем сложнее технологический процесс механической обработки заготовок. Одной из основных задач технологического процесса является обеспечение заданной точности изготовления деталей при наименьших затратах живого и овеществленного труда.

Заданная чертежом точность детали может быть обеспечена двумя основными, принципиально различными методами:

- методом пробных рабочих ходов и промеров;
- методом автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках.

При первом методе положение заготовки на станке определяется ее индивидуальной выверкой, при этом часто применяется предварительная разметка: контур будущих поверхностей наносят тонкими линиями специальным инструментом (чертилками, кернами и т. п.). Обрабатывается короткий участок поверхности, после остановки станка делаются пробные промеры, которые позволяют произвести корректировку положения режущего инструмента. Затем вновь производят пробный рабочий ход и пробный промер, при необходимости вносят новую корректировку положения инструмента и т.д. Пробные рабочие ходы и промеры повторяют до тех пор, пока не будет обеспечен заданный размер обрабатываемой поверхности.

Метод пробных рабочих ходов и промеров характеризуется низкой производительностью и может быть качественно обеспечен лишь рабочим высокой квалификации. Этот метод, как правило, используется в единичном и мелкосерийном производстве.

В условиях серийного и массового производства используют метод автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках. В этом случае индивидуальная выверка заготовок исключается, так как их установка осуществляется в специальных приспособлениях, а размер обеспечивается соответствующей установкой режущего инструмента (рис. 6.6). Этот метод позволяет обеспечить высокую производительность обработки, использовать рабочих невысокой квалификации, повысить точность обработки, а также дает возможность осуществлять комплексную механизацию и автоматизацию технологических процессов изготовления деталей, многостаночное обслуживание.

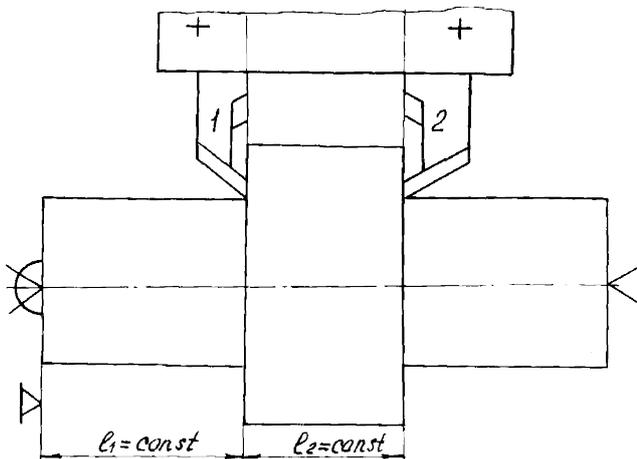


Рис. 6.6. Схема обработки заготовки по методу автоматического получения размера

Независимо от метода достижения заданной точности обработки необходимо знать причины возникновения погрешностей.

6.2.1. Погрешность основной кинематической схемы обработки

Кинематическая схема обработки обеспечивает определенные движения режущей (рабочей) части инструмента относительно заготовки, в результате которых образуется обрабатываемая поверхность. В

определенных условиях эта схема является источником образования погрешностей обработки. Например, погрешность в шаге резьбы неизбежно образуется при нарезании резьбы на токарном станке с приближенным подбором сменных шестерен.

При фрезеровании цилиндрических зубчатых колес наборами дисковых модульных фрез возникает искажение эвольвентного профиля зубьев, так как профиль зуба каждой фрезы теоретически соответствует только одному числу зубьев данного модуля.

Величины возникающих погрешностей можно рассчитать заранее, но обычно для неответственных деталей этими отклонениями пренебрегают из-за их малой величины.

6.2.2. Упругие перемещения системы станок - приспособление - инструмент - заготовка

Под действием сил резания звенья упругой системы перемещаются. Вследствие этого режущие кромки, образующие обрабатываемую поверхность, отклоняются от исходного статического положения, а фактический размер детали будет отличаться от настроечного.

Значения перемещений упругой системы зависят от жесткости этой системы и сил резания, действующих на нее.

Жесткостью упругой системы станок - приспособление - инструмент - заготовка называют отношение составляющей силы резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности P_y , к смещению лезвия инструмента относительно детали (y), отсчитываемому в том же направлении:

$$j = P_y / y, \quad (6.1)$$

где j – жесткость, кН/м; P_y – сила резания, направленная по нормали к обрабатываемой поверхности, кН; y – смещение лезвия инструмента относительно детали, м.

Из приведенного определения следует, что понятие “жесткость” – комплексное. При определении жесткости задается направление смещения, но рассматривается влияние не только одной составляющей силы резания (P_y). Вводя в расчет эту силу, в то же время учитывают одновременно действие и других составляющих.

Общая схема обработки вала заготовки на токарном станке приведена на рис. 6.7.

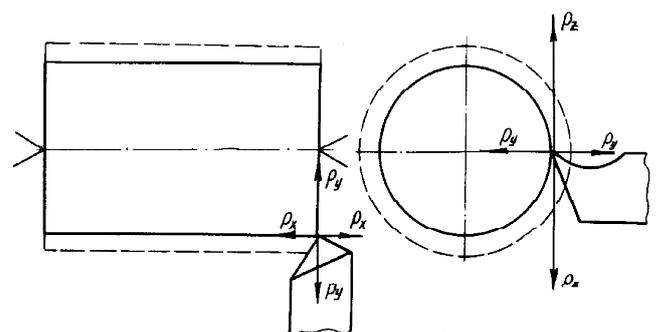


Рис. 6.7. Схема обработки заготовки на токарном станке

Силе P_y отдается предпочтение потому, что в большинстве случаев ее действие оказывает наибольшее

влияние на точность обработки. Смещение лезвия инструмента по нормали к обрабатываемой поверхности оказывает решающее влияние на формирование погрешности обработки. Перемещения в направлении по касательной к обрабатываемой поверхности оказывают незначительное влияние.

Рассуждения о жесткости всей технологической системы можно отнести и к жесткости ее составляющих звеньев: станка, приспособления, инструмента, заготовки. В свою очередь жесткость станка можно рассматривать как величину, состоящую из жесткости его узлов, например, суппорта, передней бабки, задней бабки.

Понятие "жесткость" учитывает как упругие свойства системы, так и условия ее нагружения; при изменении условий нагружения жесткость также изменяется. Например, при обтачивании вала жесткость его при положении резца посередине будет отличаться от жесткости вала при положении резца у конца вала. В соответствии с этим и жесткость отдельных звеньев системы, отнесенная к вершине резца, будет также различной.

Расчеты жесткости технологической системы по жесткости отдельных ее звеньев, а также определение погрешностей обработки, связанных с упругими перемещениями этих звеньев, значительно упрощаются, если пользоваться понятием податливости.

Податливостью ω (м/Н) технологической системы называют величину, обратную жесткости:

$$\omega = Y/P_y$$

Если приравнять деформации "n" звеньев системы ($y_1; y_2; y_3; y_4 \dots y_n$), приведенные к точке и направлению, принятым при измерении жесткости, к деформации всей системы (y), можно записать:

$$y = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n$$

Учитывая приведенные зависимости, общее выражение величины податливости будет иметь вид:

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \dots + \omega_n$$

Заменяя значения податливости значениями жесткости, получаем зависимость:

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \frac{1}{j_3} + \dots + \frac{1}{j_n}$$

Число звеньев технологической системы в различных случаях может быть различно. Например, при токарной обработке в центрах обычно учитывают перемещения станка и обрабатываемой заготовки, считая перемещение резца пренебрежимо малым.

В этом случае технологическая система сводится к системе станок - заготовка.

При растачивании перемещениями расточных оправок или борштанг пренебрегать нельзя, деформации же обрабатываемой заготовки в этом случае пренебрежимо малы. Поэтому в данном случае рассматривается система станок - инструмент и т. д.

Жесткость обрабатываемой заготовки с известным приближением можно определить по обычным формулам сопротивления материалов и теории упругости.

Так, например, при обтачивании гладкого вала в центрах его можно рассматривать как балку, свободную лежащую на двух опорах.

Рассчитав прогиб вала для этого случая при положении резца на расстоянии от передней бабки X , можно определить жесткость вала в отмеченном сечении (рис. 6.8).

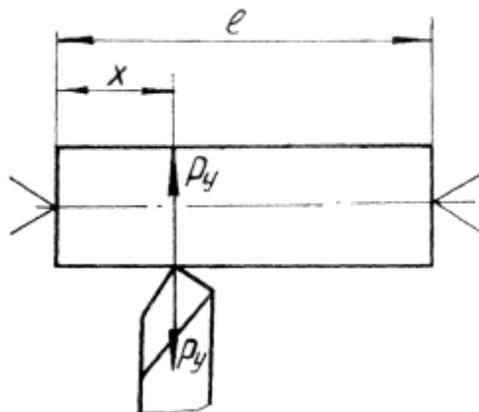


Рис. 6.8. Схема для расчета жесткости гладкого вала при его обработке в центрах токарного станка

Жесткость режущего инструмента имеет существенное значение при растачивании отверстий, особенно глубоких. Жесткость расточного режущего инструмента может быть также определена по формулам сопротивления материалов и теории упругости.

Жесткость специальных приспособлений определяют экспериментальным путем.

Для определения жесткости станков наибольшее распространение получили статические и динамические методы. В первом случае к узлу станка с помощью специальных приспособлений прикладывают нагрузку и наблюдают его деформации. Испытания проводят при неработающем станке.

Во втором случае жесткость станков определяют в результате обработки заготовки резанием. К динамическим методам относится производственный метод, который основан на обработке поверхности с переменным припуском и некоторых расчетах. Разновидностью производственного метода является метод ступенчатого резания. При этом методе берут жесткую заготовку, деформациями которой можно пренебречь по сравнению с деформациями станка и инструмента. Обрабатывают два участка заготовки: один с большей глубиной резания (t_1), а второй с меньшей (t_2), рис. 6.9. Остальные условия обработки остаются неизменными. Разность $t_1 - t_2$ называют погрешностью заготовки (Δ_3).

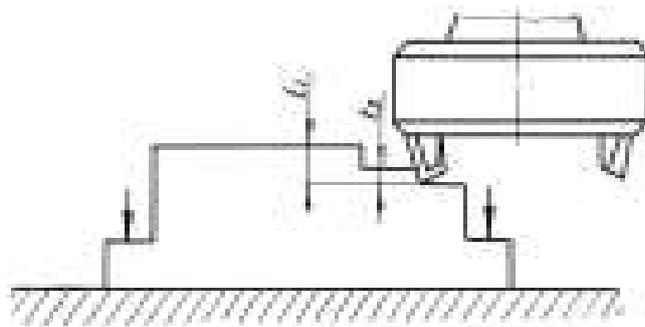


Рис. 6.9. Схема производственного метода определения жесткости станка

При обработке участка с большей глубиной резания будут большие силы резания, следовательно, будут и большие отжатия лезвия инструмента. Поэтому на обработанной поверхности получается уступ величиной $\Delta_d = y_1 - y_2$, который нетрудно определить измерением – (y_1 - отжатие на участке с глубиной резания t_1 ; y_2 - отжатие на участке с глубиной резания t_2).

Отношение, показывающее, во сколько раз в результате обработки уменьшилась неточность заготовки, названо профессором А.П.Соколовским “уточнением” (ε):

$$\varepsilon = \frac{\Delta_3}{\Delta_d} \quad (6.2)$$

Преобразовав формулу (4.1), можно жесткость станка определить по зависимости:

$$j_c = \lambda C_p S_0^x \varepsilon \quad (6.3)$$

где $\lambda = Py/Pz$; C_p - коэффициент, характеризующий материал заготовки и зависящий от геометрических параметров инструмента и степени его затупления; S_0 - подача, мм/об; x - показатель степени при подаче (показатель степени при глубине резания принят равным единице).

Имеются и другие разновидности производственного метода (по определению разности глубины резания, установленной по лимбу станка и измеренной после обработки заготовки; метод прямой и обратной подачи и др.).

Обозначив $C = \lambda C_p S_0^x$ и $C_1 = \frac{\lambda C C^x}{j}$, а также

учитывая (6.2) и (6.3), можно получить следующие формулы:

$$j = C \varepsilon \quad (6.4)$$

$$\Delta_d = C_1 \Delta_3 \quad (6.5)$$

Из полученных зависимостей (6.1), (6.2), (6.4), (6.5) можно сделать вывод о том, что жесткость технологической системы является важным фактором в формировании погрешностей обработки и оказывает существенное влияние на повышение производительности труда.

Зная жесткость технологической системы и силу (Py), можно определить погрешность обработки от упругих деформаций этой системы (Δy).

Для односторонней обработки - $\Delta y = y$, для двусторонней $\Delta y = 2y$. Величина “ y ” определяется из зависимости (6.1):

$$y = \frac{Py}{j} = \frac{\lambda C p t^q S^x}{j} \quad (6.6)$$

где q - показатель степени.

Упругие перемещения технологической системы вызывают также погрешности формы детали, как в

поперечном, так и в осевом сечениях.

Из формулы (6.5) видно, что погрешность заготовки как бы копируется на детали. Коэффициент C_1 является коэффициентом переноса погрешности заготовки на готовую деталь. Величина его зависит главным образом от жесткости системы, в частности, жесткости станка и величины подачи при неизменных геометрических параметрах инструмента и обрабатываемого материала.

Анализируя конкретные производственные условия, необходимо стремиться к максимальному повышению жесткости звеньев технологической системы, а также выравнивать жесткость в различных сечениях и направлениях.

Вопросы образования погрешностей под действием упругих перемещений заготовки и элементов приспособлений были рассмотрены в главе 4. К отмеченным положениям следует отнести и деформации детали от сил зажима. Например, при закреплении тонкостенных втулок в трехлапчатом патроне они упруго деформируются (рис.6.10) значительные деформации от сил зажима имеют место при закреплении длинных рам, плит, планок и т.п. Принятием необходимых мер влияние отмеченных деформаций можно избежать или свести их к допустимому минимальному значению.

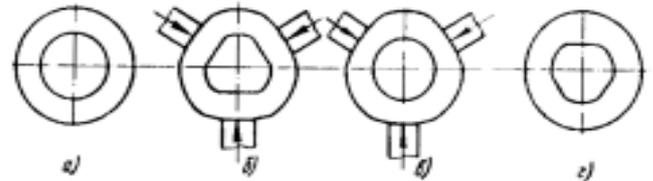


Рис.6.10. Изменение формы детали при расточке ее отверстия с установкой в трехлапчатом патроне

6.2.3. Геометрические погрешности станка, приспособлений и режущего инструмента

Металлорежущие станки, режущий инструмент и приспособления, как и все изделия, изготавливают с определенной степенью точности. Погрешности изготовления этих звеньев системы станок - приспособление - инструмент - заготовка оказывают влияние на точность изготовления деталей.

Геометрическая точность новых станков определяется стандартами; в процессе эксплуатации она понижается вследствие изнашивания отдельных узлов станка, нарушения регулировки и других причин. Погрешности изготовления металлорежущих станков приводят к образованию погрешностей обработки заготовок, которые определяют соответствующими расчетами. В качестве примера рассмотрим обработку прямоугольных пазов на горизонтально-фрезерном станке (рис. 6.11). В таких пазах наиболее ответственными являются боковые поверхности; точность размеров между этими поверхностями (B) определяется 8-11 квалитетами. Точность размера глубины паза (t) невелика; она соответствует 12-14-му квалитету.

На точность обработки паза оказывают влияние погрешности станка (рис. 6.11): отклонение в от перпендикулярности оси вращения фрезы в горизонталь-

ной плоскости (рис. 6.11 в), отклонение β от параллельности оси вращения фрезы рабочей поверхности стола (рис. 6.11 е).

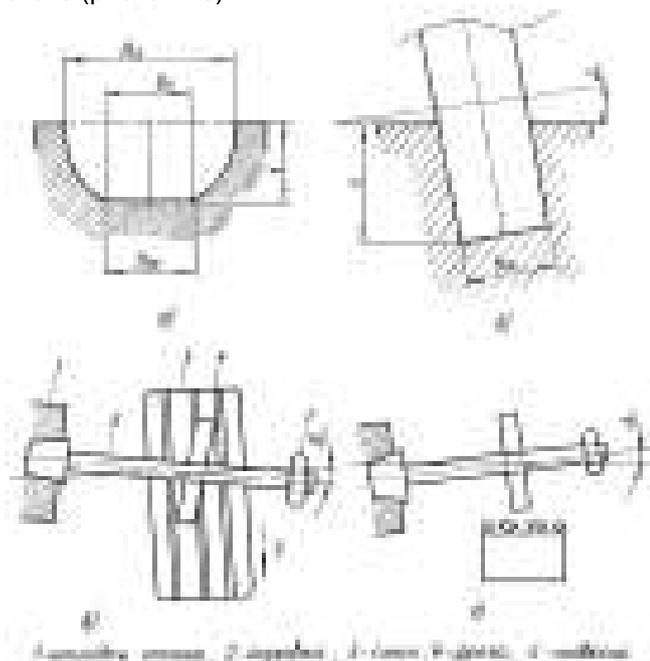


Рис.6.11. Влияние геометрических погрешностей станка на образование погрешностей при обработке прямоугольных пазов: 1-шпиндель станка; 2- оправка; 3- стол; 4- фреза; 5-подвеска

Погрешности обработки паза при наличии угла β приведены на рис.6.11 а. При наличии угла β происходит “разворот” паза на этот угол (рис, 6.11 б).

Рассмотренные геометрические погрешности станка приводят к образованию погрешностей обработки, которые могут быть определены геометрическими расчетами.

При одновременном влиянии отклонений (α и β) увеличение ширины паза у его верхней части составит:

$$\Delta B = 2 \frac{\sin \beta}{\cos \alpha} \sqrt{t(D\phi \cos \alpha - t)}.$$

Учитывая малые значения углов α и β , для практических целей можно пользоваться упрощенной зависимостью:

$$\Delta B = 2 \sin \beta \sqrt{t(D\phi - t)}, \quad (6.7)$$

где $D\phi$ - диаметр фрезы.

Погрешности мерного режущего инструмента (сверла, зенкера, развертки, протяжки и т. п.), а также профильного инструмента (фасонные резцы, фрезы и т. п.) оказывают непосредственное влияние на образование погрешностей изготовления деталей.

Погрешности немерного и непрофильного инструмента оказывают влияние на точность обработки косвенно. Например, торцовое биение трехсторонних дисковых фрез оказывает влияние на размер между боковыми поверхностями пазов и т.п.

Геометрические неточности режущего инструмента и приспособлений ограничиваются в чертежах на их изготовление.

6.2.4. Погрешности обработки, вызываемые размерным изнашиванием инструмента

В процессе резания инструмент изнашивается. Его изнашивание может происходить по задней или передней поверхности, а также одновременно по этим поверхностям (рис. 6.12). Обычно при чистовой обработке происходит износ по задней поверхности инструмента. Наибольшее распространение в производственных условиях получила линейная мера износа, как наиболее удобная и простая (h_3). За критерий изнашивания инструмента принимают износ h_3 по задней поверхности.

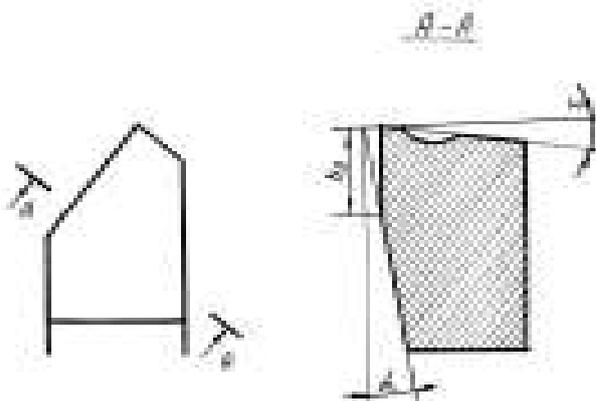


Рис.6.12. Износ резца по задней и передней граням

На точность обработки оказывает влияние износ (u) лезвия инструмента в направлении нормали к обрабатываемой поверхности, который называют размерным износом (рис. 6.13).

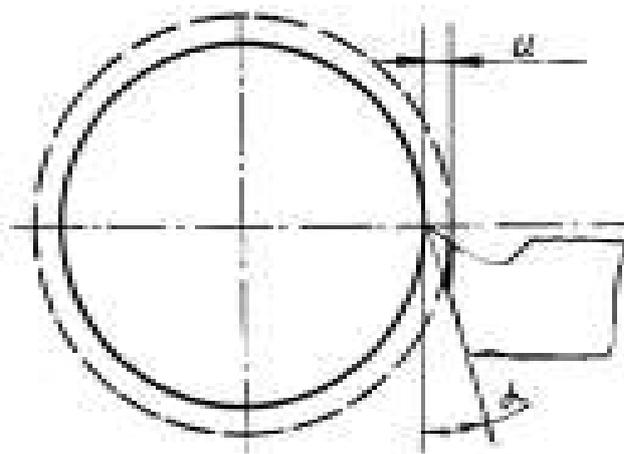


Рис.6.13. Схема образования размерного износа

Этот износ зависит от износа по задней грани инструмента, но не на участке главной режущей кромки, а на участке, прилегающем к вершине режущего инструмента. Поэтому вычисление размерного износа по формуле $u = h_3 \tan \alpha$ дает значительную погрешность, вследствие чего его определяют экспериментальным путем.

Погрешности, вследствие размерного изнашивания инструмента, будут равны:

для двусторонней обработки - $\Delta u = 2u$;

для односторонней обработки - $\Delta u = u$.

Следует отметить, что стойкость режущего инструмента выражается временем его работы между двумя последовательными повторными заточками. С точки зрения точности обработки основной является зависимость размерного износа “ u ” от пути резания:

$l = vT$, где l - путь, пройденный инструментом в металле, м; v - скорость резания, м/мин; T - время резания, мин. Эта зависимость представлена на рис. 6.14.

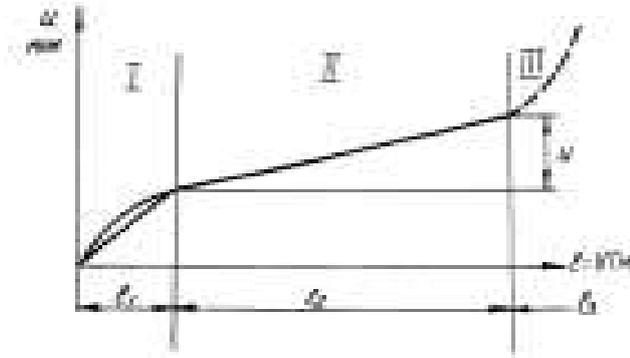


Рис. 6.14. Зависимость размерного износа резца от пути резания

В начальный период работы режущего инструмента (участок I; l_1) наблюдается повышенный его износ (кривая износа является выпуклой). Этот участок является незначительным, не превышает 1000 м и называется начальным износом (u_n).

Второй период (участок II; l_2) является основным и характеризуется нормальным износом инструмента, его длина составляет примерно 8000-30000 м. Этот участок прямолинеен, угол наклона прямой характеризует интенсивность размерного изнашивания инструмента.

Третий период (участок III; l_3 , кривая вогнута) соответствует быстрому изнашиванию: через короткий промежуток времени происходит разрушение инструмента. Работа на III участке недопустима.

Характеристикой интенсивности размерного изнашивания на втором участке является относительный износ (u_0) - размерный износ (мкм), отнесенный к 1000 м пути резания:

$$u_0 = \frac{1000u}{l}$$

Зная величину u_0 , можно определить размерный износ (мкм) для любого пути резания на участке II; l_2 :

$$u = \frac{u_0 l}{1000} \quad (6.8)$$

Для определения размерного износа на всем пути резания вновь заточенным инструментом необходимо учитывать начальный размерный износ (u_n). Обобщая результаты выполненных экспериментальных исследований, можно сделать вывод о том, что величину u_n следует учесть увеличением в формуле (6.8) пути резания на 1000 м:

$$u = \frac{u_0 (l + 1000)}{1000} \quad (6.9)$$

Величина относительного износа приводится в научно-технической литературе по вопросам технологии машиностроения / 9, 27 и др. /.

Режущий инструмент, который допускает корректировку настроечного размера (резцы, фрезы, шлифовальные круги, раздвижные развертки и т. п.), позволяет компенсировать влияние размерного изнашивания на точность обработки. Для жестких размерных и фасонных (профильных) инструментов такая компенсация исключена.

При обработке заготовок методом пробных рабочих ходов разовая установка инструмента исключает влияние размерного изнашивания на точность размера обрабатываемой поверхности, однако погрешности формы в результате воздействия этого фактора будут иметь место.

При обработке заготовок на настроенных станках своевременный контроль их размеров позволяет принимать решения по соответствующей корректировке наладки станка. При обработке заготовок в автоматическом режиме (например, на автоматических линиях) используют автоматические подналадчики, которые устраняют влияние размерного изнашивания на точность обработки.

Следует однако учитывать, что износ инструмента приводит к увеличению радиальной составляющей силы резания, что может привести к образованию дополнительной погрешности обработки от изменения деформаций технологической системы.

6.2.5. Температурные деформации технологической системы

В процессе механической обработки происходит нагрев системы станок—приспособление—инструмент—заготовка в результате выделения теплоты в зоне резания, в различных узлах металлорежущих станков вследствие трения, а также поступления теплоты от внешних источников. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что температурные деформации станков общего назначения оказывают незначительное влияние на точность обработки.

При конструировании прецизионных станков следует принимать необходимые меры, уменьшающие влияние колебания температуры его узлов на появление соответствующих погрешностей: подбор материалов для сопряженных деталей с малым коэффициентом расширения, изменение направления температурного деформирования отдельных узлов станка таким образом, чтобы оно не влияло на точность обработки. Для устранения влияния колебаний температуры окружающей среды, прецизионные станки устанавливают в помещении с постоянной температурой.

Нагревание заготовок в процессе обработки происходит благодаря теплоте резания. Основное количество теплоты аккумулируется в стружке (при точении, фрезеровании, наружном протягивании). В обрабатываемую заготовку переходит незначительное количество теплоты: примерно 3–9%. При сверлении же боль-

шая часть теплоты (более 50%) остается в заготовке.

Для уменьшения температурных деформаций обрабатываемых заготовок обработку следует вести с обильным охлаждением, чистовая обработка должна выполняться после черновой и получистовой обработки с перерывом, достаточным для охлаждения заготовки.

Температура рабочей поверхности резцов в зоне резания составляет 800 - 1000° С и выше; с отдалением от зоны резания температура стержня резца заметно снижается.

Зависимость удлинения резца от времени резания под действием теплоты приведена на рис. 6.15. В начале резания наблюдается быстрое повышение температуры резца и его соответствующее удлинение. Затем наступает тепловое равновесие, и удлинение резца прекращается. По результатам экспериментальных исследований установлена эмпирическая формула для расчета удлинения резца с пластиной из твердого сплава Т15К6 при установившемся тепловом равновесии / 16 /:

$$\Delta L_T = C \frac{L_p}{F} \delta \epsilon (t S_o)^{0,75} V^{0,5}, \quad (6.10)$$

где C - постоянная (при $t < 1,5$ мм, $S_o < 0,2$ мм/об, $V = 100 : 200$ м/мин $C = 0,45$); L_p - вылет резца, мм;

F - площадь поперечного сечения резца, мм²; $\delta \epsilon$ - временное сопротивление материала заготовки, МПа; t - глубина резания, мм; S_o - подача, мм/об; v - скорость резания, м/мин.

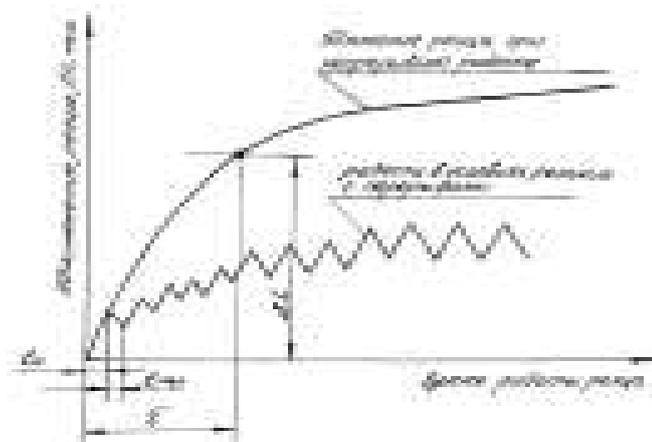


Рис. 6.15. Зависимость удлинения резца от времени его работы

Удлинение резца, соответствующее любому моменту времени (τ) от начала работы, определяют по формуле:

$$\Delta L = \Delta L_T (1 - e^{-\frac{\tau}{4}}), \quad (6.11)$$

где e - основание натуральных логарифмов.

Период наступления теплового равновесия обычно находится в пределах от 8 до 24 минут, в среднем его можно принять равным 16 мин. При обычных условиях работы удлинение резца может достигнуть 30-50 мкм. Время для полного охлаждения резца можно считать равным времени его нагревания.

Если резание при обработке заготовок производится с перерывами, то в зависимости от длительности пе-

рерыва резец охлаждается частично или полностью. При такой работе удлинение (ΔL_n) резца в момент наступления теплового равновесия получается меньше, чем при непрерывной его работе (рис. 6.15). Его определяют из формулы (6.10) с введением коэффициента K_n :

$$\Delta L_n = K_n \Delta L_T, \quad (6.12)$$

где ΔL_n — удлинение резца при ритмичной работе в момент наступления теплового равновесия

$$K_n = \frac{t_o}{t_o + t_n}, \quad (6.13)$$

где t_o — время работы резца; t_n — время перерывов.

Погрешности, вызываемые температурным деформированием режущего инструмента, можно практически исключить, если в зону резания подводить большое количество охлаждающей жидкости.

6.2.6. Погрешности настройки инструмента на размер

При автоматической обработке требуется предварительная установка (настройка) режущего инструмента относительно заготовки в такое положение, при котором обеспечивается размер обрабатываемой поверхности в соответствии с требованиями чертежа. Это положение режущего инструмента определяется установочным размером. Настройка инструмента в статическом состоянии системы станок-приспособление-инструмент-заготовка должна учесть все явления, которые происходят в процессе обработки (упругие деформации системы, температурные деформации и др.). Установочный размер не может быть выдержан абсолютно точно, он будет колебаться в определенных пределах, которые и определяют погрешность настройки инструмента, приводящей к образованию погрешности обработки. Погрешность настройки инструмента зависит от многих факторов (методы настройки, точность измерений при настройке и др.). Профессор В.М.Кован рекомендует с некоторым запасом надежности принимать допуск на настройку, равный одной десятой части допуска размера обрабатываемой поверхности.

Методы настройки станков на размер приведены в работах / 9, 30, 31 и др. /.

Следует отметить, что при проектировании технологических процессов необходимо учитывать погрешности, которые могут быть вызваны перераспределением внутренних напряжений в материале детали.

Погрешности, возникающие одновременно в процессе обработки, формируют суммарную или результирующую погрешность.

Суммарная погрешность является мерой точности конкретного метода обработки. Для определения ожидаемой суммарной погрешности обработки используются три метода:

- с помощью таблиц экономической точности обработки;
- статистический;
- расчетно - аналитический.

6.3. Экономическая точность обработки

Экспериментальными исследованиями установлено, что трудоемкость и себестоимость изготовления деталей связаны с точностью определенными зависимостями (рис. 6.16). Точность, соответствующая участку "А", является экономической точностью обработки. Обычно, когда говорят о точности какого-либо метода обработки, то имеют в виду значение точности, соответствующее некоторой точке на участке "А".

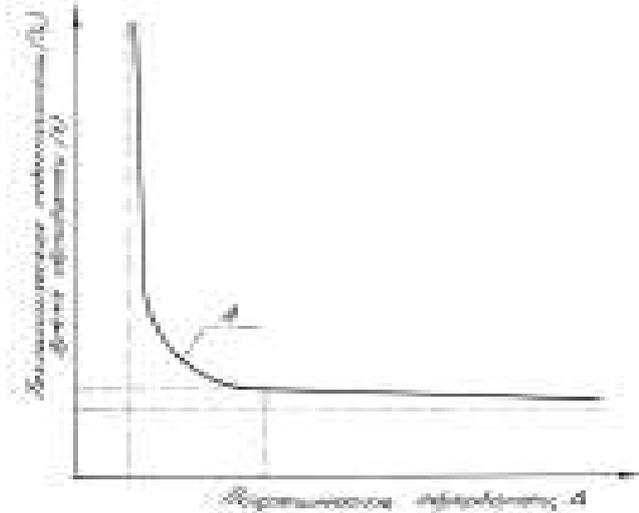


Рис.6.16. Зависимость трудоемкости и себестоимости от погрешности обработки

Экономическая точность различных методов обработки не является вполне определенной величиной. Она определяется всей производственной обстановкой и не остается постоянной с течением времени. По мере совершенствования оборудования изменяется экономическая точность обработки на нем. Учитывая изложенные обстоятельства, можно дать следующее общее определение экономической точности.

Экономической точностью какого-либо метода обработки на данном участке развития техники называют **точность, обеспечиваемую в нормальных условиях работы**, при использовании исправного оборудования, инструментов стандартного качества, персонала средней квалификации и при затрате времени и средств, не превышающих затрат для других, сопоставимых с рассматриваемым методом. Таблицы экономической точности обработки приводятся в различных справочниках по вопросам технологии машиностроения, например, в / 27 /.

6.4. Статистические методы исследования точности обработки и определения суммарной погрешности

Погрешности обработки можно подразделить на систематические и случайные.

Систематической погрешностью называют погрешность, которая для всех деталей рассматриваемой партии остается постоянной или же

закономерно изменяется при переходе от каждой детали к следующей. Например, погрешности обработки, образованные в результате погрешности настройки инструмента для данной настроенной партии, погрешность мерного режущего инструмента, геометрические неточности станка являются постоянными систематическими погрешностями для данной партии деталей.

Систематические погрешности могут быть переменными во времени. Например, погрешности, вызываемые размерным изнашиванием режущего инструмента.

Случайной погрешностью называют погрешность, которая для различных деталей рассматриваемой партии имеет различные значения, причем колебание этих значений в партии не подчиняется какой-либо закономерности.

Случайные погрешности вызываются действием факторов случайного характера. Например, колебание деформации системы станок-приспособление-инструмент-заготовка происходит в результате изменения нормальной составляющей силы резания (P_n), которое неизбежно возникает в результате колебаний в пределах установленного допуска размеров и твердости заготовки. К случайным следует отнести также погрешности установки и ряд других.

Случайные погрешности, суммируясь с систематическими, приводят к рассеянию суммарной погрешности, а, следовательно, - к рассеянию действительных размеров. Систематические погрешности можно заранее предвидеть и учесть соответствующими расчетами.

Случайные погрешности относят к категории случайных величин. Случайные величины и законы их распределения (рассеяния) изучаются в теории вероятностей и математической статистике, использование которых для исследования точности обработки позволяет учитывать случайные погрешности.

В главе 2 были рассмотрены основные положения теории вероятностей и математической статистики, которые используются при решении различных задач в технологии машиностроения.

Основными задачами статистического анализа технологических процессов является изучение их точности, стабильности и устойчивости во времени.

При статистическом изучении точности изготовления деталей задача сводится к сопоставлению поля фактического рассеяния суммарной погрешности обработки с допуском на размер, который должен быть обеспечен в результате выполнения данной операции. При изучении стабильности и устойчивости технологических процессов исходят из следующих определений этих двух понятий / 25 /.

Под стабильностью процесса понимают его способность сохранять постоянство характеристик рассеяния погрешностей во времени. Если в процессе изготовления данной партии деталей с одной настройки центр рассеяния \bar{X} и мера рассеяния σ суммарной погрешности обработки оставались постоянными, то такой процесс является стабильным.

Под устойчивостью процесса понимают его способность автоматически сохранять необходимую точность за время от настройки станка на размер до его поднастройки в связи с износом режущего инструмента. При этом центр рассеяния погрешностей, а также мера рассеяния могут изменяться во времени.

Таким образом, стабильность процесса является вероятностной характеристикой, а устойчивость – технологической. Обычно стабильный процесс является и устойчивым, но устойчивый может быть нестабильным.

Из всех законов распределения случайных величин наибольшее практическое значение имеет закон нормального распределения, изображаемый кривой распределения Гаусса (см. главу 2). Уравнение этой кривой имеет следующий вид (рис. 6.17):

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

где σ – среднее квадратическое отклонение, e – основание натуральных логарифмов.

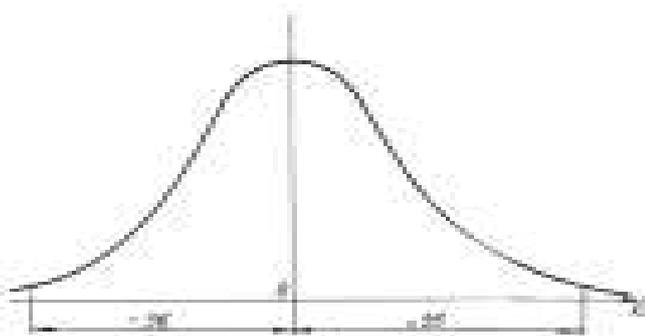


Рис.6.17. Кривая нормального распределения

Следует отметить, что практически вся (99,73%) площадь кривой нормального распределения находится в пределах $\pm 3 \sigma$.

Как указывается в главе 2, среднее квадратическое отклонение для дискретных (прерывистых) случайных величин определяется формулой:

$$\sigma = \sqrt{\frac{X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + \dots + X_n^2}{n}}$$

Кроме закона нормального распределения в математической статистике используют и законы распределения положительных величин, равной вероятности, закон Симпсона (распределение по треугольнику) и другие.

Практическое использование закона нормального распределения можно пояснить конкретным примером. После обработки партии заготовок (например, 100 шт.) на предварительно настроенном станке (по методу автоматического получения размеров) их размеры измеряют. Результаты измерений заносят в таблицу, в которой также отражаются следующие данные: интервалы значений действительных размеров

(случайные значения x); число деталей с действительными размерами данного интервала K_i (частота);

$m_x = \frac{K_i}{n}$ – относительная частота, или частость.

Сумма всех частот должна быть равна числу де-

талей в исследуемой партии: ($\sum_{i=1}^n K_i = n$), а сумма

всех частостей – единице ($\sum m_x = 1$). Полученное эмпирическое распределение можно представить графически (рис. 6.18). Полученная таким образом кривая получила название практической кривой распределения.

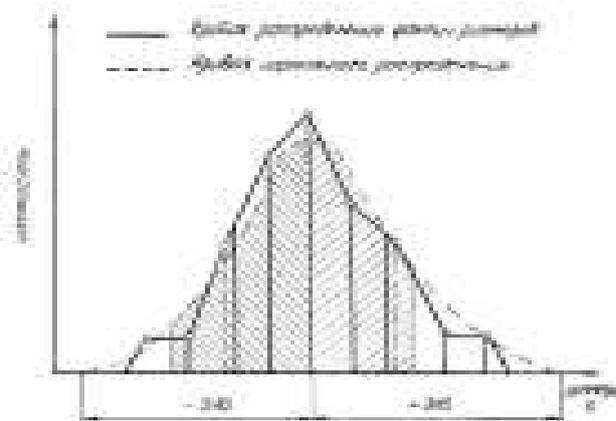


Рис.6.18. Кривая рассеяния фактических размеров и кривая нормального распределения

В теории вероятностей доказывается, что между частостью и вероятностью существует приближенное равенство, точность которого возрастает с увеличением числа наблюдений ($P(x) = \frac{m}{n} \approx \frac{K_i}{n}$, если $n \rightarrow \infty$).

Близость практической кривой распределения к кривой нормального распределения оценивается либо визуально, либо с помощью критериев, которые рекомендуются в курсе математической статистики. Для изучения распределения случайных величин в практических условиях используют две основные статистические характеристики:

1. \bar{X} – среднее арифметическое значение случайной величины

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i K_i}{n} \tag{6.14}$$

где X_i – середина интервала наблюдаемых значений X , разбитых на интервалы; K_i – частота значений X ; n – общее число наблюдений.

1. σ – среднее квадратическое отклонение случайной величины от ее среднего значения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 K_i}{n}} \tag{6.15}$$

По результатам многочисленных экспериментальных исследований машиностроителями сделан очень

важный практический вывод: если при изготовлении партии деталей на настроенном станке систематические погрешности были постоянными, то распределение действительных размеров в такой партии подчиняется закону нормального распределения.

В настоящее время для статистических исследований точности обработки и определения суммарной погрешности обработки используются два метода: метод кривых распределения и больших выборок; метод точечных диаграмм и малых выборок.

Выборкой называют часть деталей, отобранных из изучаемой партии определенным способом. Если в выборке имеется более 25 деталей, ее называют большой, при меньшем числе деталей ее называют малой.

Теорией выборочного метода доказывается, что если совокупность значений случайной величины x подчиняется какому-либо закону распределения, то и большая выборка из этой совокупности будет также подчинена этому же закону. При этом статистические характеристики распределения выборки (среднее арифметическое значение \bar{X} и среднее квадратическое отклонение s) будут близки по своим значениям к соответствующим характеристикам (\bar{X}_0 и σ) совокупности, из которых взята эта выборка. Для статистических исследований точности обработки методом кривых распределений обычно принимают объем выборки $m \geq 50$. При $m = 50$ погрешность определения \bar{X}_0 по значению \bar{X} составляет $\pm 0,14 S$, а при определении σ по S погрешность составляет $\pm 0,1 S$. Отмеченные приближения вполне допустимы для практических целей.

Метод кривых распределения заключается в следующем. При изготовлении деталей на настроенном станке берут текущую выборку (последовательно отбирают детали со станка по мере их изготовления) объемом $m \geq 50$. По определенной методике производят измерения деталей данной выборки. Результаты измерений заносят в специальную таблицу и строят практическую кривую распределения. Убедившись в близости этой кривой к кривой нормального распределения по соответствующей оценке, можно определить суммарную погрешность, а, следовательно, достигнутую точность обработки. Определяются значения σ , \bar{X} по формулам (6.14) и (6.15). Суммарная погрешность обработки $\Delta = 6 \sigma$. Сравнивая погрешность Δ с допуском T на размер, оценивают точность обработки (рис.6.19). Коэффициент точности (K_T) определяется отношением $T/6\sigma$ ($K_T = T/6\sigma$), /9/.

При условии правильной настройки станка обработка деталей может осуществляться без брака, если $K_T > 1,0$. При $K_T \leq 1,0$ весьма вероятно появление бракованных деталей, количество которых может быть определено соответствующими расчетами. Процесс обработки считается надежным при $K_T \geq 1,2$.

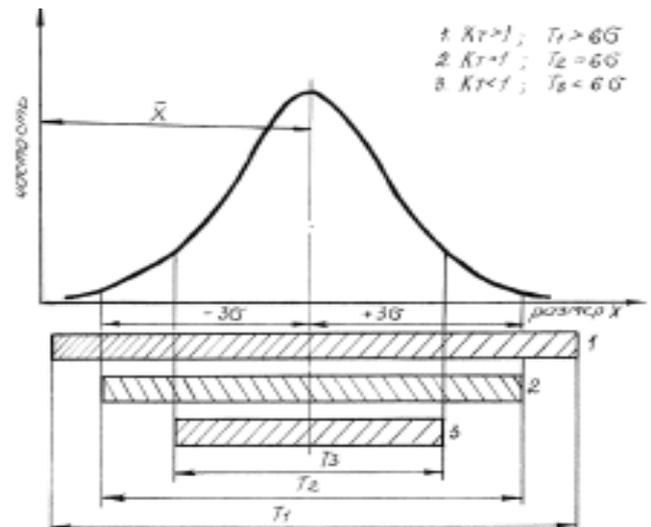


Рис.6.19. Оценка точности обработки по методу кривых распределения и больших выборок

Значение \bar{X} свидетельствует о качестве настройки станка. Может оказаться, что при хорошей точности, но неудовлетворительной настройке станка (\bar{X}_2) размеры некоторой части деталей выйдут за пределы поля допуска (рис.6.20) и они будут забракованы. Количество забракованных деталей определяется соответствующими расчетами с использованием справочной литературы (см. главу 2), /25/.

Метод кривых распределения и больших выборок позволяет получить объективную оценку точности выполнения данной операции на конкретном оборудовании. Однако при его использовании не учитывается последовательность обработки заготовки, что исключает возможность следить за динамикой изменения точности процесса и его настроенностью во времени. Отмеченные недостатки устраняются при использовании статистического анализа посредством малых выборок. Этот метод подробно изложен в специальной литературе /25 и др. /.

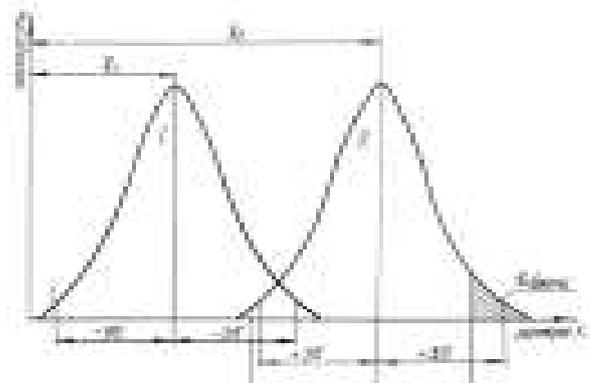


Рис.6.20. Схема оценки качества настройки станка

В производственных условиях наиболее удобным и простым является метод точечных диаграмм, в котором также используются малые текущие выборки. Однако такой метод не требует применения ряда, довольно сложных, вычислительных операций.

Точечные диаграммы дают наглядное представление об устойчивости и стабильности процесса. На рис. 6.21 приведены примеры таких диаграмм. Строятся две диаграммы: одна для наблюдения за средними выборками (\bar{X}), а другая – за размахом выборки (R).

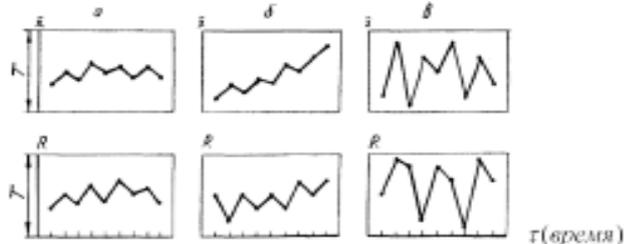


Рис. 6.21. Точечные диаграммы для средних \bar{X} и размахов R выборки стабильного (а), устойчивого (б), неустойчивого и нестабильного (в) процессов

Метод точечных диаграмм заключается в следующем. В процессе обработки детали берут со станка малые текущие выборки (обычно пять штук) в течение рабочей смены, через определенные промежутки времени (например, 15-30 минут). Детали измеряют универсальным измерительным инструментом с ценой деления шкалы не более 1/6 или 1/10 допуска на контролируемый размер. Затем вычисляют среднее арифметическое значение выборки \bar{X} .

Вычисляют также размах выборки R – разность между наибольшим (x_{\max}) и наименьшим (x_{\min}) размерами выборки: $R = x_{\max} - x_{\min}$. Размах характеризует рассеяние размеров в малой выборке. Между средним значением (\bar{R}) размаха ряда выборок и средним квадратическим отклонением (σ) для всей партии, из которой берутся выборки, существует определенная связь (формула ее приведена в курсах математической статистики).

Основной целью статистического анализа с помощью точечных диаграмм является установление степени устойчивости и стабильности процесса во времени (рис. 6.21). Причем, если изучаемый процесс оказывается неустойчивым и нестабильным по рассеянию, то необходимо выявить причины этого, устранить их и привести процесс в устойчивое состояние.

Рассмотренный метод точечных диаграмм используется при осуществлении предупредительного статистического контроля, который имеет много разновидностей. Рассмотрим одну из них – метод средних и размахов (рис. 6.22).

В этом методе наблюдение за ходом технологического процесса производится с помощью средних арифметических и размахов. Предварительно строят две диаграммы: одна для наблюдений за средним значением выборок (\bar{X}), а другая для наблюдений за размахом (R). По оси ординат диаграмм наносится шкала измерительного инструмента в пределах допуска на контролируемый размер детали, а по оси абсцисс указывается время взятия выборок или их номера. На диаграммы наносят контрольные линии V_T ; H_T ; $V_{\bar{X}}$; $H_{\bar{X}}$ и V_R .

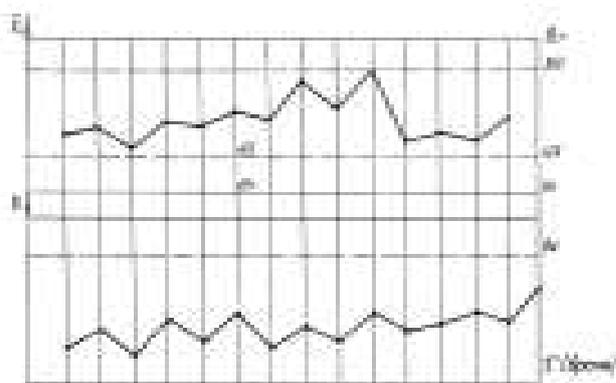


Рис. 6.22. Диаграмма для станконтроля по методу средних размахов

Линии V_T и H_T называют линиями верхнего и нижнего технических пределов; они соответствуют наибольшему и наименьшему предельным размерам, заданным чертежом. $V_{\bar{X}}$, $H_{\bar{X}}$ и V_R – контрольные значения амплитуды колебаний выборочных средних и размахов; их определяют по формулам, которые приведены в курсах математической статистики. Так, при текущей выборке ($n = 5$ штук) – $V_{\bar{X}} = V_T - 0,27T$;
 $H_{\bar{X}} = H_T + 0,27T$ $V_R \approx 0,82 T$, (T – допуск на размер).

Верхняя ($V_{\bar{X}}$) и нижняя ($H_{\bar{X}}$) контрольные линии устанавливают границы возможных колебаний выборочных средних (\bar{X}) при нормальном ходе процесса. Выход точки за границы этих линий является сигналом, по которому следует произвести подналадку станка. Выход точки (R) за линию V_R сигнализирует о недопустимом рассеянии размеров, вызванном неисправностями станка, которые необходимо устранить.

Рассмотренный метод позволяет следить за ходом процесса и изменением точности станка во времени. Выход точки за контрольные линии является предупреждением о том, что возможно появление брака. Следовательно, необходимо соответствующее вмешательство в обработку заготовки.

Метод точечных диаграмм и малых выборок широко применяется в крупносерийном и массовом производстве для предупредительного статистического контроля.

Статистические методы контроля не отражают степень влияния отдельных факторов на образование суммарной погрешности и, следовательно, не дают необходимой информации для управления точностью процесса обработки заготовок. Это является главным недостатком статистических методов, который в значительной мере устраняется при использовании расчетно-аналитического метода определения суммарной погрешности.

6.5. Расчетно-аналитический метод определения суммарной погрешности

Сущность метода заключается в том, что выявленные погрешности обработки суммируются по оп-

ределенным законам и таким образом определяется результирующая погрешность обработки.

В общем виде результирующая погрешность (Δ_{Σ}) при обработке партии деталей на настроенных станках может быть определена по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\text{С}} + \Delta_{\text{Р}},$$

где $\Delta_{\text{С}}$ – суммарная величина систематических погрешностей; $\Delta_{\text{Р}}$ – суммарная величина случайных погрешностей.

Суммарные систематические погрешности определяются алгебраическим сложением. Поэтому общая систематическая погрешность может быть меньше ее составляющих. Так как часть систематических погрешностей закономерно изменяется во времени, то результирующая погрешность обработки будет величиной переменной. Следует отметить, что разновидностями систематической погрешности являются погрешности формы, которые ограничиваются допуском на размер.

Случайные погрешности, подчиняющиеся закону нормального распределения, определяются суммированием по правилу квадратного корня:

$$\Delta_{\text{Р}} = \sqrt{\Delta^2 p_1 + \Delta^2 p_2 + \dots + \Delta^2 p_n}.$$

Систематические и случайные погрешности суммируются по правилу квадратного корня.

Примеры применения в практических условиях расчетно-аналитического метода приводятся в источниках / 9, 27 /.

Отметим принципиальные подходы к осуществлению расчетно-аналитического метода определения суммарной погрешности ряда авторов (условные обозначения, установленные авторами, оставлены без изменений).

Профессор И.М. Колесов выделяет три этапа любой операции технологического процесса: установку заготовки; статистическую настройку технологической системы и непосредственно обработку заготовки. Погрешности, возникающие на каждом из этапов операции, являются следствием проявления многих факторов и суммами частых отклонений, порождаемых действием этих факторов / 7 /. Профессор И.М. Колесов подробно рассматривает выделенные этапы, отмечая, что выявление необходимых мер и средств опирается на расчет допусков, которыми должны быть ограничены отклонения, вызываемые систематическими и случайными факторами. Исходным в расчете является первенство:

$$T \geq T_M(x)_t + T_t,$$

где $T_M(x)_t$ – часть поля допуска (Т), выделяемая для ограничения действия систематических факторов; T_t – часть поля допуска (Т), ограничивающая действия случайных факторов.

Имея представление о составе и степени влияния систематических факторов, частями поля допуска $T_M(x)_t$ нужно ограничить следующие факторы:

$$T_M(x)_t = T_H + T_{O_1} + T_{O_2} + T_{Y_{\text{пр}}} + T_{Y_{\text{нв}}} + T_{P_{\text{ви}}},$$

где T_H – поле допуска, ограничивающее погреш-

ность настройки станка; T_{O_1} и T_{O_2} – поля допусков, ограничивающие смещение $M(x)$ из-за тепловых деформаций технологической системы и самих заготовок при остывании; $T_{Y_{\text{пр}}}$ и $T_{Y_{\text{нв}}}$ – поля допусков, ограничивающие смещение $M(x)$ из-за изменений средних значений припуска и твердости заготовок, преобразуемых в изменение упругого перемещения y ; $T_{P_{\text{ви}}}$ – поле допуска, ограничивающее размерный износ инструмента. Центр группирования $M(x)$ должен быть совмещен в момент настройки станка с рабочим настроечным размером (A_p).

Аналогичным путем необходимо ограничить и действие случайных факторов. Не перечисляя эти факторы, отметим, что в их число входит поле допуска, ограничивающее погрешность установки.

В работе /29/ рассматривается вопрос о суммировании элементарных погрешностей. Отмечается такой случай обработки, когда каждая из элементарных погрешностей представляет собой звено размерной цепи. Тогда ожидаемую точность (Δ) можно представить как замыкающее звено и суммирование элементарных погрешностей следует производить алгебраически:

$$\Delta = E + \Delta y + \Delta_H + \Delta_I + \Sigma \Delta_T + \Sigma \Delta_{\text{СТ}},$$

где E – погрешность установки; Δy – погрешность формы обрабатываемой поверхности из-за копирования первичных погрешностей заготовки; Δ_H – погрешность настройки; Δ_I – погрешность от размерного износа инструмента; $\Sigma \Delta_T$ – сумма погрешностей от температурных деформаций звеньев технологической системы; $\Sigma \Delta_{\text{СТ}}$ – сумма геометрических погрешностей оборудования, влияющих на погрешность обработки.

Задача решается по методу “максимум-минимум”. При этом делаются некоторые оговорки. Все элементарные погрешности отнесены к направлению выдерживаемого размера. Слагаемое $\Sigma \Delta_{\text{СТ}}$ чаще всего связано с погрешностями формы изготавливаемой детали. В аналогичных формулах это слагаемое представляется как $\Sigma \Delta_{\text{Ф}}$ и суммирование ведут по соответствующим правилам. Обязателен учет взаимной компенсации геометрических погрешностей технологической системы. При обработке тел вращения Δ для диаметральных размеров следует определять без учета E . Анализ конкретного технологического процесса может привести к выводу, что в отдельных случаях следует пренебречь и другими слагаемыми. Однако для этого нужны научные обоснования. Расчет значения Δ является достаточно простым. Вместе с тем точность расчета оказывается низкой, а результат всегда завышенным. Даже для случаев обработки большой партии заготовок рассчитанное значение встречается редко, что характерно для расчетов по методу “максимум-минимум”.

В этой же работе / 29 / приводятся и другие методы суммирования элементарных погрешностей, которые являются разновидностями рассмотренного.

Метод расчетно-аналитического определения точности обработки на металлорежущих станках впервые был разработан профессором А.П. Соколовским / 23 /.

По его разработкам аналитический метод состоит

в том, что сначала определяются отдельные составляющие погрешности в зависимости от факторов, обуславливающих их появление, затем эти погрешности складываются по определенным правилам, в результате чего находится общая, суммарная погрешность обработки. Этот метод не исключает использование статистических методов. Отмечается и основной недостаток этого метода – большая трудоемкость расчетов. Поэтому выполнение таких полных исследований рекомендуется главным образом в крупносерийном и массовом производстве и при проектировании технологических процессов на обработку крупных деталей в тяжелом машиностроении.

Рассмотрим метод профессора А.П. Соколовского с некоторыми упрощениями, предложенными научными работниками кафедры технологии машиностроения Уральского политехнического института им. С.М.Кирова (УПИ – УГТУ). Применяя метод для станков токарной группы, на которых производится обработка наружных поверхностей деталей из прутка или штучных заготовок, закрепляемых в патроне, отметим, что он имеет смысл и значение, главным образом, для чистовых операций. Конкретные условия обработки исключают появление отдельных погрешностей обработки или их величины имеют пренебрежительно малые значения.

На основании статистических исследований точности обработки и теоретического анализа причин возникновения погрешностей обработки можно процесс изменения во времени размеров обрабатываемых деталей или их погрешностей выразить в виде следующих точностных диаграмм трех типов (рис.6.23).

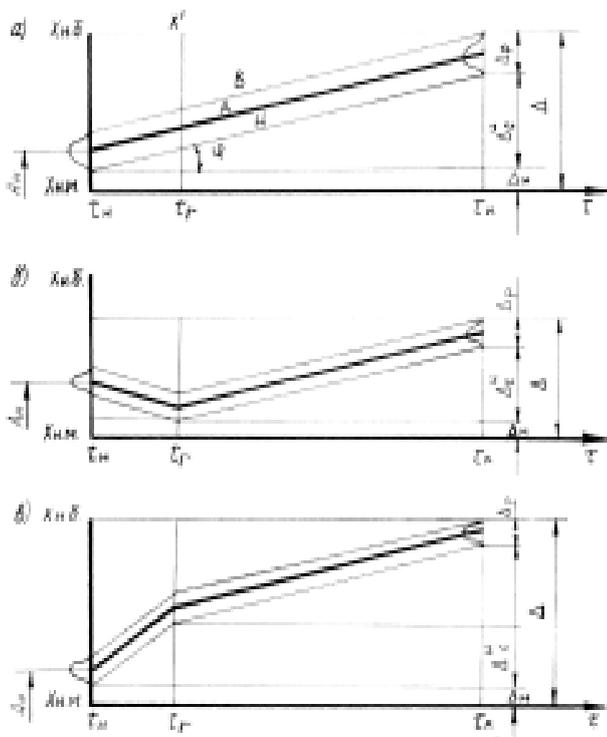


Рис.6.23. Диаграммы точности обработки наружных цилиндрических поверхностей

На этих диаграммах линия “А” характеризует изменения во времени средних значений закономерно изменяющихся погрешностей, линии “В” и “Н” – пределы колебаний случайных погрешностей, хотя фактически

эти пределы тоже изменяются во времени. В связи с износом режущего инструмента изменяется сила резания (P_y), следовательно, изменяются погрешности, вызываемые упругими деформациями технологической системы. Но при чистовых режимах резания эти изменения весьма ничтожны и можно, с достаточной для практики точностью, считать колебания случайных погрешностей во времени примерно одинаковыми.

На диаграммах приняты следующие обозначения:

$x_{нб}$ - наибольший предельный размер,

$x_{нм}$ - наименьший предельный размер,

Δ_H - погрешность настройки,

τ_H - время начала обработки,

τ_K - время окончания обработки,

τ_1 - время наступления теплового равновесия и окончания начального износа.

Введем обозначения:

Δ'_{tu} - погрешность обработки от температурных деформаций режущего инструмента в период работы до τ_1 ,

Δ'_u - погрешность обработки от начального размерного износа,

Δ_Σ - суммарная погрешность обработки.

Величина (Δ'_{tu}) определяется по формулам (6.10) или (6.12), а величина (Δ'_u) – по формуле (6.9). По результатам проведенных исследований принимается $\tau_1 = 16$ мин.

Диаграмма типа “а” имеет место тогда, когда работа производится с охлаждением, хорошо доведенным инструментом, в связи с чем начальный размерный его износ отсутствует, а также при работе без охлаждения таким же инструментом, когда время перерывов равно и больше машинного времени.

Диаграмма типа “б” имеет место тогда, когда при работе без охлаждения, в момент времени τ_1 ,

$$\Delta'_{tu} > \Delta'_u .$$

Диаграмма типа “в” имеет место в случае, когда работа производится с охлаждением, но имеет место начальный размерный износ или без охлаждения, но в момент времени τ_1 имеет место $\Delta'_u > \Delta'_{tu}$.

Путем сравнения Δ'_{tu} с Δ'_u можно определить тип диаграммы.

Говоря о суммарной погрешности обработки, обычно имеют в виду суммарную погрешность размера, полученного в результате обработки. На чертежах деталей обязательно указывают допуски на размеры, но не всегда – допускаемые погрешности формы. Однако в этих случаях погрешности формы должны находиться в пределах допуска на размер. При обработке партии деталей на настроенных станках суммарная погрешность обработки может быть выражена следующим уравнением:

$$\Delta_\Sigma = \Delta_C + \Delta_P + \Delta_\Phi , \tag{6.16}$$

где Δ_C – суммарная величина систематической

погрешности; Δ_P – суммарная величина случайной погрешности; Δ_Φ – суммарная величина погрешности формы.

Часть систематической погрешности может быть постоянной, другая часть – переменной погрешностью.

Из точечных диаграмм (рис.6.23) видно, что с момента времени τ_1 изменение суммарной величины систематических изменяющихся погрешностей происходит по закону прямой. Обозначим эту погрешность $(\Delta_C^U)^1$ и тогда можно записать:

$$(\Delta_C^U)^1 = \alpha + \beta (\tau_k - \tau_1) . \quad (6.17)$$

Случайные же погрешности в любой момент времени τ имеют примерно одинаковые значения и равны Δ_P . Таким образом суммарная погрешность для времени τ_1 будет равна

$$\Delta_\Sigma = \alpha + \beta (\tau_k - \tau_1) + \Delta_H + \Delta_P + \Delta_\Phi . \quad (6.18)$$

Определим значения отдельных слагаемых уравнения (6.18).

Погрешность формы (Δ_Φ) может возникать: от геометрических неточностей станка, от размерного износа и температурной деформации резца на участке длины одной детали. Но в данных конкретных условиях погрешности формы на длине одной детали получаются настолько малыми, что ими можно пренебречь.

Погрешности формы, возникающие от геометрических неточностей станка, зависят от состояния оборудования. Анализ этих неточностей позволяет сделать вывод о том, что они вызывают погрешности формы обрабатываемой поверхности, которые можно учесть, с некоторым запасом точности, умножив расчетную величину суммарной погрешности (Δ_Σ) на коэффициент $K_t = 1,15 - 1,2$ (где $K_t = 1,2$ следует принимать для изношенных станков).

Этот коэффициент называют коэффициентом запаса точности, с его помощью учитываются и другие второстепенные погрешности, не учитываемые при расчете.

Таким образом расчетная формула для определения суммарной погрешности обработки для заданного момента времени (τ_1) примет следующий вид:

$$\Delta_\Sigma = K_t [\Delta_P + \alpha + \beta (\tau_k - \tau_1) + \Delta_H] . \quad (6.19)$$

Рассмотрим отдельные слагаемые формулы (6.19). Суммарная величина случайной погрешности (Δ_P) может быть определена аналитически или экспериментально.

Для аналитического определения этой погрешности необходимо иметь данные, которые в практических условиях установить затруднительно. Решение этой задачи изложено в специальной литературе / 23 и др. /.

В условиях крупносерийного и массового производства величину (Δ_P) целесообразно определять статистическим методом, с помощью малых выборок, для конкретных условий обработки.

Принимается, что рассеяние величины случайной погрешности подчиняется закону нормального распределения. После определения по указанным методам величины среднего квадратического отклонения (σ) устанавливается величина Δ_P .

$$\Delta_P = 6\sigma . \quad (6.20)$$

При определении постоянной систематической погрешности (Δ_H) для данной настроенной партии можно воспользоваться рекомендациями, установленными практикой статистических методов настройки станков на размер, которые принимают допустимую погрешность настройки по пяти пробным деталям в пределах $\pm \sigma$ или $\Delta_H = 2\sigma$. На основании отмеченных

обстоятельств можно считать, что $\sigma = \frac{\Delta_P}{6}$ или

$$\Delta_H = \frac{2\Delta_P}{6} \approx 0,33\Delta_P . \quad (6.21)$$

Для определения закономерно изменяющейся во времени систематической погрешности по формуле (6.19) необходимо знать значения “ α ” и “ β ”. Величина “ α ” будет зависеть от типа диаграммы (рис.6.23).

Диаграмма типа “а”:

Учитывая, что $t_1 = 16$ мин по формуле (6.8) определяем:

$$\alpha_a = \frac{2u_o \cdot 16V}{1000} . \quad (6.22)$$

Диаграмма типа “б”:

$$\alpha_b = 0 . \quad (6.23)$$

Диаграмма типа “в”:

$$\alpha_v = \Delta' u - \Delta'' m u . \quad (6.24)$$

Значение коэффициента “ β ” не зависит от типа диаграммы, а зависит от угла α . С учетом формул (6.8), (6.9) можно записать:

$$\beta = \frac{2u_o \cdot V(\tau_k - \tau_1)}{(\tau_k - \tau_1) \cdot 1000} \text{ или}$$

$$\beta = 0,002 V u_o . \quad (6.25)$$

Расчеты точности обработки следует производить как проверочные, то есть сначала назначить режимы резания, а затем производить проверку на точность.

Если суммарная погрешность обработки будет больше допуска на изготовление детали, то необходимо внести коррективы в режимы резания или установить предельное время ((τ_k)) работы резца до подладки.

6.6. Методы настройки станков на размер

В крупносерийном и массовом производствах обычно работа производится на предварительно настроенных станках на размер, то есть режущему инструменту придается такое положение относительно заготовки, которое должно обеспечить автоматическое получение необходимых размеров обработки за период стойкости режущего инструмента.

При настройке станков на размер, прежде всего, необходимо установить настроечный (наладочный) размер, который надо стремиться получить на заготовке при настройке станка. Настроечный размер (A_H) – такое начальное значение среднего текущего размера на диаграмме точности обработки (рис.6.23), при котором исключается опасность случайного перехода действительных размеров обрабатываемых заготовок за непроходную границу поля допуска и достигается возможная наибольшая продолжительность работы до подналадки.

Методы настройки станков на размер, определение настроечного размера рассмотрены в литературе по технологии машиностроения / 7, 9, 30 и др. /.

Настроечный размер может быть определен по диаграммам точности обработки (рис.6.23).

Для диаграммы “а”:

$$A_H = x_{\min} + 0,5\Delta_P + \Delta_H = x_{\min} + 0,83 \Delta_P.$$

Для диаграммы “б”:

$$A_H = x_{\min} + 0,5\Delta_P + \Delta'_{mu} - \Delta'_u + \Delta_H = x_{\min} + 0,83 \Delta_P + \Delta'_{mu} - \Delta'_u.$$

Для диаграммы “в”:

$$A_H = x_{\min} + 0,83 \Delta_P.$$

Определив настроечный размер, можно осуществить настройку станка. Следует выделить **два основных метода настройки станка** на размер:

- Метод пробных деталей
- Метод настройки по эталонам

Метод пробных деталей заключается в том, что после предварительной настройки режущего инструмента обрабатывают несколько (пробных) деталей и по результатам их измерения делают заключение о величине и направлении необходимого смещения инструмента. Измерение деталей может производиться предельными и специальными калибрами. Однако более рациональной является настройка с помощью универсальных измерительных инструментов, цена деления которых должна быть равна (0,05...0,2) Т, где Т – допуск на размер обрабатываемой поверхности.

Обычно настройку производят по пяти пробным деталям, так как установлено, что с уменьшением числа пробных деталей против пяти точность настройки уменьшается, а при увеличении – более пяти – не дает значительного увеличения точности настройки. Поэтому пять пробных деталей являются оптимальным значением.

Настройка считается правильной, если среднее арифметическое размеров пяти пробных деталей \bar{D}

будет находиться в пределах:

$$\bar{D} = D_H \pm \frac{\Delta_H}{2}, \text{ где } D_H \text{ – настроечный размер;}$$

Δ_H – допуск настройки.

Метод настройки по пробным деталям требует значительных затрат времени на обработку пробных деталей, их измерение, корректировку положения инструмента. Кроме того, при этом методе настройки некоторое количество деталей может пойти в брак.

Этих недостатков лишен метод настройки по эталонам. Но он требует дополнительных затрат на изготовление эталонов. Однако в условиях крупносерийного или массового производства такие затраты вполне оправдываются.

Метод настройки по эталонам заключается в следующем. На станок вместо детали устанавливается эталон, размеры которого отличаются от размеров готовой детали и определяются расчетным или опытным путем. По этим эталонам и устанавливается режущий инструмент в нерабочем состоянии станка. Размер эталона должен отличаться от настроечного размера на величину поправки (Δ_{II}). Эталон имеет форму готовой детали. Его закалывают и шлифуют. При определении размеров эталона расчетным методом поступают следующим образом. Сначала определяют настроечный размер (D_H), затем определяют величину поправки (Δ_{II}), на которую надо увеличить или уменьшить настроечный размер, чтобы получить необходимый диаметр эталона ($D_э$). Эта поправка должна учитывать величину упругой деформации технологической системы и наличие остаточных микронеровностей на обработанной поверхности (рис.6.24).

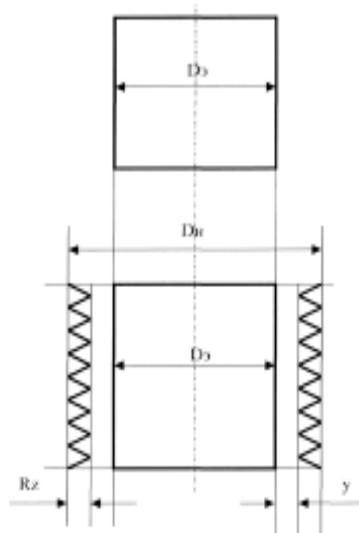


Рис. 6.24. Схема для определения размера эталона

Обозначим: $D_э$ – диаметр эталона; D_H – настроечный размер; R_z – высота остаточных микронеровностей; y – величина перемещения вершины резца.

Тогда величина поправки (Δ_{II}) для цилиндрических деталей будет равна $\Delta_{II} = 2 \cdot (y + R_z)$, рис. 6.24,

где $y = \frac{P_y}{j_c} = P_y \cdot \omega_c$. Следовательно,

$\Delta_{\Pi} = 2(P_y \cdot \omega_c + R_2)$, где ω_c – податливость станка.

По данным профессора А.А.Маталина / 9 / необходимо еще учитывать величину зазора в подшипниках шпинделя ($\Delta_{\text{шп}}$). При односторонней обработке

поправка $\Delta_{\text{шп}}$ равна половине диаметрального зазора (принимается, что шпиндель, нагруженный силой резания, смещается в горизонтальном направлении от рабочего на половину диаметрального зазора) и зависит от типа и марки станка. При двухсторонней обработке эта величина удваивается.

Диаметр эталона будет равен:

$D_{\text{Э}} = D_{\text{Н}} - \Delta_{\Pi}$ – для наружной обработки

$D_{\text{Э}} = D_{\text{Н}} + \Delta_{\Pi}$ – для внутренней обработки

Как показал опыт, погрешность определения самой поправки достигает 50 % ее значения. Вследствие этого, а также в связи с дополнительными погрешностями статической настройки (погрешность установки детали-эталона, погрешность установки резца по эталону и др.) она обычно не создает условий для получения точности заготовок выше 8-9-го квалитетов. Это приводит к необходимости дополнять статическую настройку динамической, проводя добавочное регулирование положения инструментов и упоров при обработке первых заготовок партии.

Для повышения точности настройки по эталонам рекомендуется установку режущего инструмента производить по щупу. В этом случае диаметр эталона выполняется меньше на величину $2a$ (рис. 6.25).

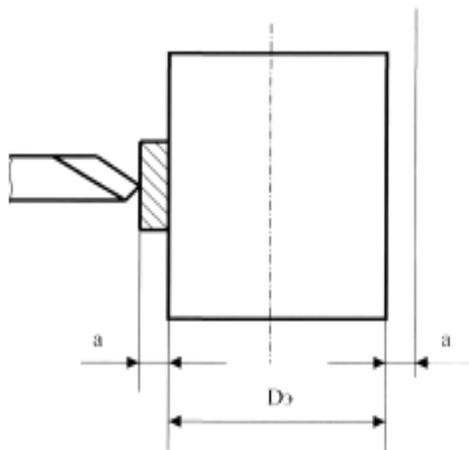


Рис. 6.25. Схема настройки режущего инструмента на размер по щупу

Сокращение продолжительности настройки станков при установке инструмента по эталонам, особенно при многорезцовой обработке, предопределяет широкое распространение этого метода при крупносерийном и массовом типах производства.

К числу больших преимуществ этого метода следует отнести также возможность настройки инструментальных блоков по эталонам вне станка на специальных оптических устройствах, что существенно повы-

шает точность настройки и сокращает простой станков во время ее проведения. Этот способ настройки часто применяется при многоинструментной обработке и является основным методом настройки станков с ЧПУ.

Для обеспечения требуемой точности обработки партии заготовок недостаточно осуществлять настройку станка. Под влиянием переменных систематических погрешностей, связанных с размерным износом режущего инструмента, его затуплением и температурных деформаций элементов технологической системы, в процессе обработки происходит смещение поля рассеяния размеров заготовки в пределах поля допуска на размер (рис. 6.20).

Для предотвращения появления брака через определенный промежуток времени необходимо произвести поднастройку (подналадку) станка.

Поднастройка станков производится либо вручную рабочим-настройщиком, либо автоподналадчиками, конструкции которых описаны в многочисленной научно-технической литературе.

Следует отметить, что использование адаптивных методов управления точностью обработки представляет большой практический интерес [3, 7, 30 и др.].

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

7.1. Общие понятия и определения

Качество поверхности деталей машин - совокупность геометрических и физико-механических свойств поверхностного слоя.

Геометрические свойства поверхности классифицируются по характеру и размеру отклонений и делятся на шероховатость поверхности (микрогеометрия), волнистость, погрешности формы (макрогеометрия).

Физико-механические свойства характеризуются в основном остаточными (внутренними) напряжениями, микротвердостью и микроструктурой.

Поверхность, ограничивающую деталь и отделяющую ее от окружающей среды, называют реальной поверхностью.

Номинальная поверхность - идеальная поверхность, номинальная форма которой задана чертежом или другой технической документацией.

Геометрические свойства обработанной поверхности определяются отклонениями реальной поверхности от номинальной. Погрешности формы и волнистость были рассмотрены в главе 6. Термины и определения шероховатости поверхности установлены ГОСТ 25142-82.

Шероховатостью поверхности называют совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенную с помощью базовой длины (рис. 7.1).

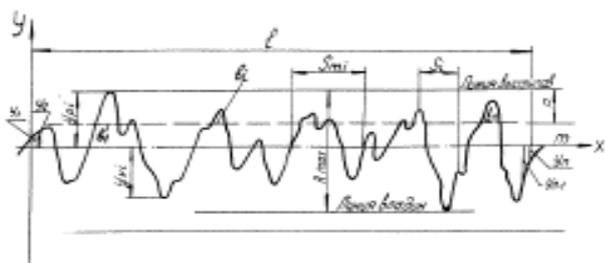


Рис. 7.1. Шероховатость поверхности

Базовая длина l - длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности.

Базовая линия (поверхность) - линия (поверхность) заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля (поверхности) и служащая для оценки геометрических параметров поверхности.

Значения параметров шероховатости поверхности определяются от единой базы, за которую принята средняя линия "m". Средняя линия m - базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднеквадратическое отклонение профиля до этой линии минимально (рис. 7.1). Приблизительно средняя линия оп-

ределяется по равенству площадей, заключенных по обе стороны между ней и линией контура профилограммы.

Шероховатость поверхности оценивается на длине L, которая может содержать одну или несколько базовых длин (l).

Числовые значения базовой длины выбирают из ряда: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм.

Отклонение у профиля - расстояние между любой точкой профиля и средней линией.

Параметры и характеристики шероховатости поверхности установлены ГОСТ 2789-73 (рис. 7.1).

Линия выступов профиля - линия, эквидистантная по отношению к средней линии и проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины. Линия впадин профиля - линия, эквидистантная по отношению к средней линии и проходящая через низшую точку профиля в пределах базовой длины.

Установлено шесть параметров шероховатости поверхности.

1. **Ra** - среднее арифметическое отклонение профиля - среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad \text{или} \quad (7.1)$$

$$Ra \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (7.2)$$

где l - базовая длина; n - число выбранных точек на базовой длине.

2. **Rz** - высота неровностей профиля по десяти точкам - сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубины пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5}, \quad (7.3)$$

где y_{pi} - высота i -го наибольшего выступа профиля; y_{vi} - глубина i -ой наибольшей впадины профиля.

3. **Rmax** - наибольшая высота неровностей профиля - расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины l .

4. **Sm** - средний шаг неровностей профиля - среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}, \quad (7.4)$$

где n - число шагов в пределах базовой длины l ;

S_{mi} - шаг неровностей профиля, равный длине

отрезка средней линии, ограничивающей неровность профиля.

5. S - средний шаг местных выступов профиля - среднее значение шага местных выступов профиля в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i, \quad (7.5)$$

где n - число шагов неровностей по вершинам в пределах базовой длины l ; S_i - шаг неровностей профиля по вершинам, равный длине отрезка средней линии между проекциями на нее двух наивысших точек соседних местных выступов профиля.

6. t_p - относительная опорная длина профиля - отношение опорной длины профиля (η_p) к базовой длине (l):

$$t_p = \frac{\eta_p}{l}. \quad (7.6)$$

Опорная длина профиля (η_p) - сумма длин отрезков b_i в пределах базовой длины, которые отсекаются на заданном уровне в материале профиля линией и эквидистантой по отношению к средней линии m :

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

Уровень сечения профиля (p) - расстояние между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля. Значения уровня сечения профиля выбирают из ряда: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 % от R_{max} .

Обозначение относительной опорной длины можно пояснить таким примером: в обозначении t_{60} 80 указана относительная опорная длина профиля $t_p = 80$ % при уровне сечения профиля $p = 60$ %.

Числовые значения параметров шероховатости поверхности R_a , R_z , R_{max} ; S_m , S , t_p приведены в ГОСТ 2789-73. Рекомендуется использовать предпочтительные значения параметров R_a , так как образцы для сравнения параметров шероховатости поверхности изготовляют именно с этими значениями R_a . Наиболее часто на чертежах приводятся высотные параметры R_a и R_z .

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

В обозначении шероховатости поверхности, вид обработки которой конструктор не устанавливает, применяют знак, изображенный на рис. 7.2 а; этот знак является предпочтительным. В обозначении шероховатости поверхности, которая образуется при удалении слоя материала (точение, фрезерование, сверление, шлифование, полирование, травление), используют знак, изображенный на рис. 7.2 б. В обозначении шероховатости поверхности, которая образуется без удаления слоя материала (литьем, ковкой, объемной штамповкой, прокатом, волочением и т. п.), при-

меняют знак, указанный на рис. 7.2 в; этот же знак применяют для обозначения поверхностей, не обрабатываемых по данному чертежу. Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис.7.3.

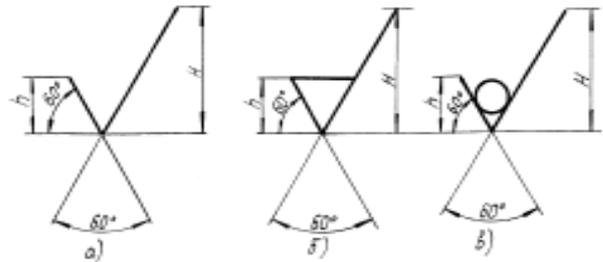


Рис.7.2. Обозначения шероховатости поверхности

Силы и температура резания оказывают влияние на формирование поверхностного слоя, поэтому его физико-механические свойства отличаются от исходного материала.

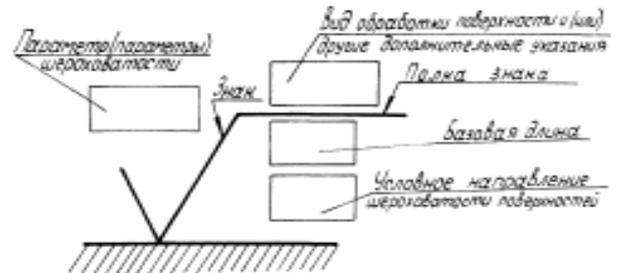


Рис.7.3. Структура обозначения шероховатости

Материал поверхностного слоя испытывает наклеп, разупрочнение; изменяется его структура, микротвердость; образуются остаточные напряжения. Наклеп поверхностного слоя оценивают по глубине (h_H) и степени наклепа (u_H), градиентом наклепа ($u_{гр}$), [14, 27]

$$u_H = \frac{H_{max} - H_{исх}}{H_{исх}} 100 \% ; \quad (7.7)$$

$$u_{гр} = \frac{H_{max} - H_{исх}}{h_H}, \quad (7.8)$$

где H_{max} и $H_{исх}$ - соответственно максимальная и исходная микротвердость поверхностного слоя металла.

Микротвердость поверхностного слоя определяется методом вдавливания алмазного наконечника с ромбическим основанием на приборах ПМТ-3, ПМТ-4 и ПМТ-5. Для этих целей исследуемую поверхность срезают под углом $0^\circ 30' \dots 2^\circ$. Таким образом, получается косой срез, который позволяет значительно увеличить глубину поверхностного слоя.

Структуру металла поверхностных слоев оценивают металлографическим анализом с помощью металлографических микроскопов.

Остаточные напряжения определяют расчетными и экспериментальными методами. При расчетных методах используют теоретические расчеты, которые оп-

ределяют значения и знак напряжений в результате силового и температурного напряжения в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала, формы и размеров детали. При этом методе нет надобности в разрушении детали. При экспериментальных методах (Н.Н. Давиденкова, Г. Закса и др.) остаточные напряжения определяют расчетами по деформации образца после снятия с него напряженного слоя. Следовательно, этот метод является разрушающим.

Для исследования состояния поверхностного слоя широко используют рентгеновский метод, с помощью которого определяют остаточные напряжения и наклеп.

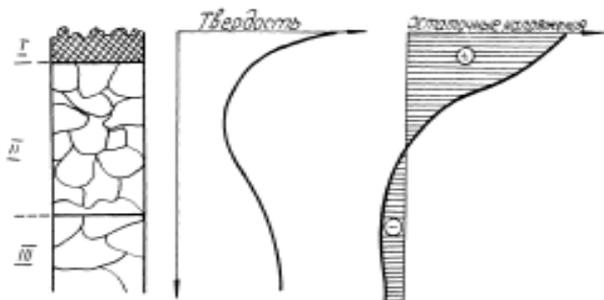


Рис. 7.4. Структура поверхностного слоя стальной детали

После обработки стальной заготовки в поверхностном слое можно выделить **три зоны** (рис. 7.4):

I - зона резко выраженной деформации; характеризуется большими искажениями кристаллической решетки металла, раздроблением зерен, высокой твердостью;

II - зона деформации; в этой зоне наблюдается вытягивание зерен, наволакивание одних зерен на другие, понижение твердости.

III - переходная зона; в этой зоне состояние слоя постепенно приближается к состоянию исходного материала.

Глубина поверхностного слоя зависит от метода и режимов обработки. Она составляет 1-2 мкм при очень тонкой обработке и до сотен микрон - при грубой.

7.2. Факторы, влияющие на качество обработанной поверхности

Параметр шероховатости поверхности зависит от многих факторов: метода обработки, режимов резания, геометрических параметров и качества поверхностей режущей части инструмента, пластической и упругой деформации обрабатываемого материала, жесткости системы станок-приспособление-инструмент-заготовка и связанных с ней вынужденных колебаний и вибраций при резании, смазочно-охлаждающей жидкости и др.

Нельзя для всех случаев практики заранее сказать, какие факторы играют главную роль, а какие - второстепенную.

Профессор П.Е. Дьяченко предложил следующую общую формулу, определяющую параметр шероховатости поверхностью:

$$R_z = R_p + R_{пл} + R_{упр} + R_l + R_{цар} + R_ж, \quad (7.9)$$

где R_p - расчетная высота шероховатости (доля высоты параметра шероховатости, вычисленная по

продольной подаче); $R_{пл}$ - доля высоты шероховатости, получающаяся вследствие пластического деформирования материала перед лезвием инструмента; $R_{упр}$ - доля высоты шероховатости, получающаяся за счет упругого восстановления материала после прохода режущего инструмента; R_l - доля высоты шероховатости, создаваемая микронеровностью лезвия инструмента; $R_{цар}$ - доля высоты шероховатости, образованная повреждением отходящей стружки, которая не всегда помещается в промежутках между зубьями многолезвийного инструмента; $R_ж$ - доля высоты шероховатости, образуемая за счет недостаточной жесткости технологической системы.

Кроме перечисленных факторов, на образование шероховатости могут оказывать влияние и другие факторы. Поэтому необходимо учитывать влияние лишь основных факторов, в значительной степени воздействующих на шероховатость поверхности.

На основании анализа выполненных научно-исследовательских работ можно сделать вывод о том, что шероховатость обработанной поверхности представляет прежде всего след рабочего движения части режущей кромки инструмента, контактирующей с обрабатываемым материалом. Высоту этой шероховатости определяют расчетным путем в зависимости от геометрических параметров режущей части инструмента (углов в плане - главного (φ) и вспомогательного (φ_1), радиуса (r_B) закругления вершины режущего инструмента и подачи.

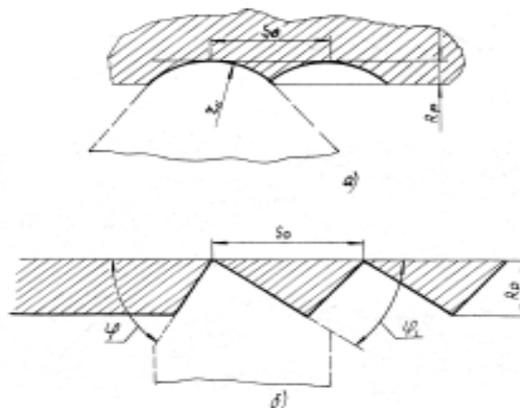


Рис. 7.5. Схема образования высоты шероховатости

Например, при точении возможны частные случаи (рис. 7.5):

1) расчетная высота неровности поверхности (R_p) образуется целиком закругленным участком режущей кромки (рис. 7.5 а):

$$R_p = \frac{S_0^2}{8r_B}, \quad (7.10)$$

где S_0 - подача, мм/об; r_B - радиус закругления резца при вершине, мм;

2) (R_p) образуется вершиной резца, у которой отсутствует радиус закругления (r_B) (рис. 7.5 б):

$$R_p = \frac{S_0 \sin \varphi \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)}. \quad (7.11)$$

Аналогичные формулы могут быть получены для

любых случаев образования расчетной высоты неровности поверхности. При некоторых условиях обработки фактическая шероховатость поверхности определяется ее расчетным значением, а влияние других факторов незначительно.

Наиболее сильное влияние на искажение расчетной высоты неровности поверхности оказывает пластическая деформация. При обработке материалов, которые не дают нароста, влияние пластической деформации на высоту шероховатости объясняется главным образом распространением волны деформации в сторону соседнего следа, а при обработке материалов, дающих нарост, как этой причиной, так и действием вершины нароста, благодаря чему образуются задиры материала на поверхности среза.

Влияние упругих деформаций на параметр шероховатости поверхности является следствием наличия на лезвии любого инструмента притупления. При взаимном перемещении резца и обрабатываемой поверхности наличие этого округления вызывает упругое деформирование материала около режущей кромки. Минув ее, материал заготовки приподнимается и занимает прежнее положение. Вследствие того, что конфигурация неровности довольно сложная, упругое восстановление материала может происходить в разной степени на различных участках обработанной поверхности. Вершина может упруго восстанавливаться больше или меньше, чем впадина, в результате чего происходят некоторые искажения высоты неровности.

Обрабатываемая поверхность формируется режущим инструментом. Поэтому неровности его лезвия в определенной степени копируются на этой поверхности. При определенных условиях этот фактор будет определяющим при формировании шероховатости обработанной поверхности (поперечное точение, протягивание, цилиндрическое фрезерование и др.).

При выборе или проектировании режущего инструмента, при установлении режимов резания, выборе состава смазочно-охлаждающей жидкости и техники ее подвода в рабочую зону необходимо стремиться к рациональному отводу стружки, так как в противном случае нельзя исключить ее отрицательного воздействия на формирование шероховатости обработанной поверхности.

Деформации и колебательные движения в технологической системе изменяют расчетную высоту неровности, меняя, таким образом, расчетный параметр шероховатости.

Отмеченные выше факторы, влияющие на параметр шероховатости поверхности, зависят от режимов резания, геометрических параметров режущего инструмента, жесткости технологической системы, механических свойств обрабатываемого материала и др.

Из параметров режима резания наиболее существенное влияние на процесс образования шероховатости поверхности оказывают скорость резания и подача.

Путем экспериментальных исследований установлена непосредственная связь между скоростью резания и высотой нароста материала на резце, от значения и этапов образования которого в значительной степени зависит шероховатость обработанной поверхности. На рис. 7.6 показано изменение высоты нароста

при изменении скорости резания, а на рис. 7.7 - зависимость параметра шероховатости от скорости резания. Приведенные зависимости можно разбить на четыре зоны.

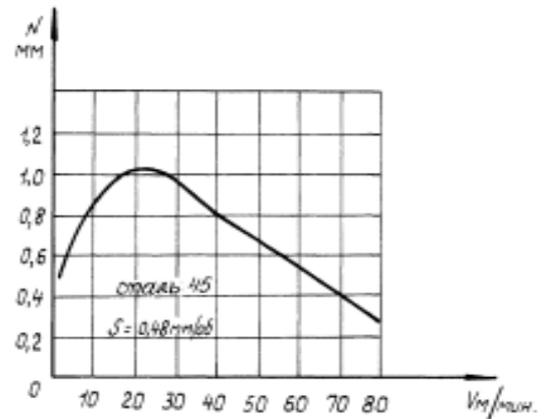


Рис. 7.6. Зависимость высоты нароста от скорости резания

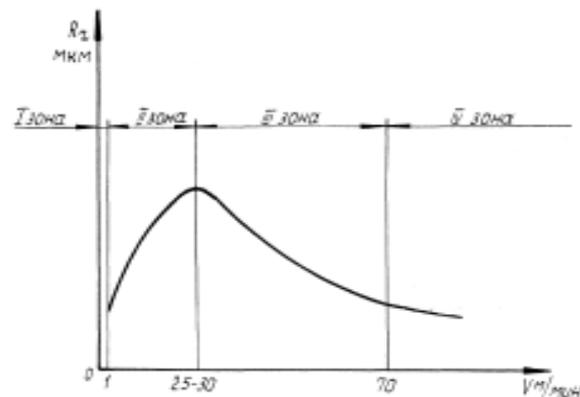


Рис. 7.7. Зависимость параметра шероховатости R_z от скорости резания

Первая зона соответствует весьма малым скоростям резания ($V = 1$ м/мин). Она характеризуется тем, что нарост в ней отсутствует, поверхность получается без надиров. Вторая зона соответствует скоростям резания от 1 до 25-30 м/мин. В этой зоне появляется нарост, достигая здесь наибольшей высоты. Обработанная поверхность имеет значительный параметр шероховатости. Третья зона соответствует скоростям резания от 25-30 до 80 м/мин; она характеризуется исчезновением нароста, при этом параметр шероховатости уменьшается. В четвертой зоне скорость резания более 80 м/мин, она характеризуется отсутствием нароста. В этой зоне параметр шероховатости мало отличается от расчетного значения и с изменением скорости резания изменяется незначительно, в основном за счет уменьшения степени пластического деформирования.

Рассмотренный характер зависимости величины шероховатости от скорости резания справедлив не только для точения, но и других видов механической обработки.

Исследования металлов, не обнаруживающих склонности к образованию нароста при обработке их резанием, показали, что параметр шероховатости не зависит от изменения скорости резания, рис. 7.8.

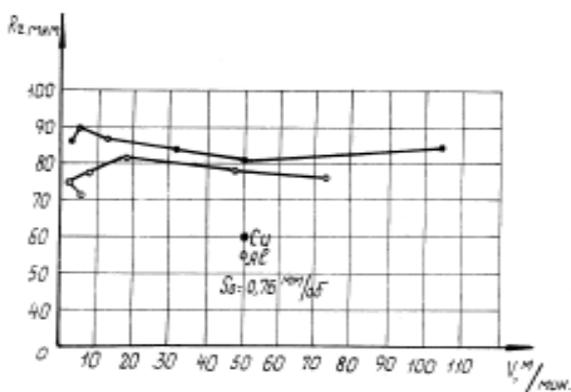


Рис. 7.8. Параметры шероховатости R_z при различных скоростях резания металлов, не склонных к образованию нароста

На рис. 7.9 показана зависимость параметра шероховатости обработанной поверхности от подачи при точении сталей. Из представленной зависимости видно, что чем больше подача, тем больше степень увеличения параметра шероховатости. Интенсивность этого приращения увеличивается особенно сильно на участке до величины 0,6-0,7 мм/об, а дальше принимает постоянное значение. При малых подачах ($S_0 \leq 0,2 - 0,25$ мм/об) уменьшение параметра шероховатости с уменьшением подачи весьма незначительно в связи с тем, что чем меньше подача, тем большую роль в формировании шероховатости начинают играть микронеровности лезвия инструмента.

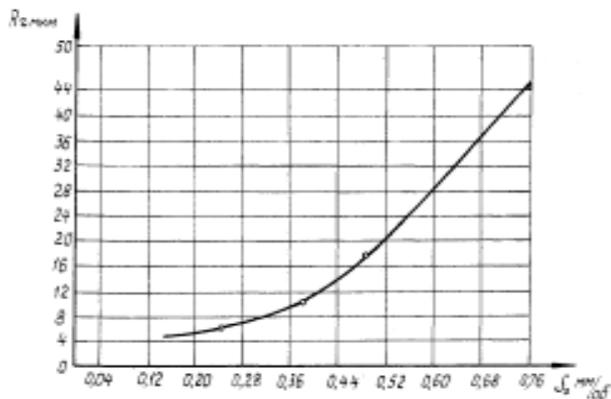


Рис. 7.9. Зависимость параметра шероховатости R_z от подачи

Глубина резания оказывает незначительное влияние на величину шероховатости поверхности. Однако изменение глубины резания при малых ее значениях (0,2-0,3 мм) может существенно изменить условия срезания стружки. В таких условиях влияние глубины резания на образование шероховатости поверхности значительно возрастает.

По результатам исследований влияния геометрической формы режущего инструмента на параметр шероховатости поверхности можно сделать следующие общие выводы. Передний угол γ , угол наклона режущей кромки λ , задний угол α - могут быть отнесены к второстепенным факторам, влияющим на формирование микропрофиля. Большее значение оказы-

вают радиус закругления при вершине r_b , углы в плане - главный φ и вспомогательный φ_1 . При увеличении радиуса закругления при вершине r_b параметр шероховатости уменьшается. С увеличением углов в плане φ и φ_1 параметр шероховатости поверхности увеличивается. Влияние вспомогательного угла в плане больше, чем главного угла.

Свойства и структура материала также оказывают влияние на шероховатость поверхности.

При увеличении хрупкости материала максимум зависимости $R_z = f(v)$ соответствует высоким скоростям, причем ордината, характеризующая этот максимум, уменьшается - происходит сглаживание кривой $R_z = f(v)$. При резании хрупких материалов зависимость $R_z = f(v)$ не имеет "горба" и выражается горизонтальной прямой. Стали с повышенным содержанием серы (автоматные стали) и стали с присадкой свинца после обработки резанием имеют меньший параметр шероховатости поверхности, чем углеродистая сталь, обработанная в одинаковых с ними условиях. Применение смазочно-охлаждающей жидкости способствует уменьшению параметра шероховатости поверхности.

На основе экспериментальных данных, производственного опыта установлено влияние различных методов обработки на параметры шероховатости обработанной поверхности. Этот материал приводится в научно-технической литературе по вопросам технологии машиностроения / 27, 29 и др./.

Увеличение скорости резания приводит к увеличению глубины наклепа. Однако при скоростях резания более 200 м/мин глубина наклепа уменьшается, в результате действия высоких температур происходит разупрочнение.

При обработке конструкционных сталей режущим инструментом с отрицательным передним углом и при скоростях резания 500-800 м/мин возникают остаточные напряжения сжатия. Увеличение подачи приводит к возрастанию глубины наклепа и остаточных напряжений. Изменение глубины резания существенно не влияет на глубину наклепа.

При увеличении заднего угла α до 3-15° и уменьшении главного угла в плане φ с 90 до 45° глубина наклепа уменьшается.

Обработка поверхностей инструментом с отрицательным передним углом γ 15 ... 45° приводит к образованию в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия.

Увеличение радиуса скругления режущей кромки приводит к возрастанию глубины наклепа и остаточных напряжений. С уменьшением твердости обрабатываемой стали увеличивается глубина наклепа.

Остаточные напряжения возрастают при увеличении сопротивления деформированию, а также при повышении твердости обрабатываемого материала.

7.3. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин

Качество поверхности оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей машин: износоустойчивость, усталостную прочность,

стабильность посадок деталей (зазоры, натяги), коррозионную стойкость и др.

В начальный период работы сопряженных поверхностей деталей машин, то есть в процессе их приработки, даже при небольшом давлении возможен разрыв масляной пленки в местах выступающих вершин шероховатостей; в результате происходит сухое трение, упругое и пластическое деформирование на этих участках, что приводит к интенсивному изнашиванию контактирующих поверхностей. Таким образом, после приработки параметр шероховатости поверхности будет отличаться от полученного после механической обработки.

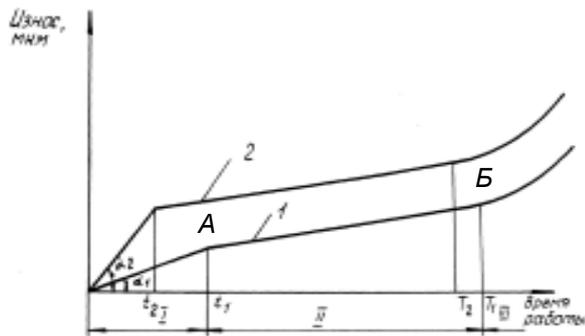


Рис. 7.10. Зависимость износа от времени работы сопряженной пары

На рис. 7.10 приведена типовая зависимость износа сопряженной пары от времени ее работы. В этой зависимости можно выделить две критические точки и три характерных участка, которые отмечаются также и в зависимости размерного износа резца от пути резания. Точка А представляет конец начального износа (приработки) на участке — участок I. Участок II характеризует нормальное, естественное изнашивание, медленно нарастающее в процессе эксплуатации. После определенного периода работы износ достигает таких размеров, когда дальнейшая эксплуатация машины становится практически невозможной (точка Б). При продолжении работы (участок III) износ растет чрезвычайно быстро. В точке Б необходима остановка машины и направление ее в ремонт.

На рис. 7.10 представлены зависимости износа от времени работы сопряженной пары с различными параметрами шероховатости. Рабочие поверхности пары I имеют меньший параметр шероховатости. Начальный износ (приработка) заканчивается в точках t_1 и t_2 .

Нормальный износ для всех случаев приблизительно можно характеризовать одинаковым углом наклона прямых, которые выражают зависимости износа от времени работы сопряженной пары и свойственны данным материалам и условиям работы. Таким образом, продолжительность работы трущихся пар 1 и 2 (T_1 и T_2) до границы допустимого износа будет различной в зависимости от шероховатости поверхности.

На начальный износ сопряженных деталей влияют также форма и направление неровности относительно направления скольжения поверхностей.

Проведенными исследованиями установлено, что шероховатость поверхности целесообразно снижать до определенного предела. При больших удельных давлениях и поверхностях с небольшой шероховатостью

может получиться так называемое "слипание" поверхностей вследствие действия сил межмолекулярного сцепления. Кроме того, некоторая шероховатость является как бы резервуаром для удержания смазки.

Наклеп, возникающий в поверхностном слое, уменьшает износ поверхностей в 1,5-2 раза.

Сопротивление материала усталости под действием переменной нагрузки возрастает одновременно с понижением параметра шероховатости поверхности, причем тем больше, чем более чувствителен материал детали к концентрации напряжений. Для легированных сталей падение усталостной прочности при переходе от полированного образца к обточенному может достигать 30-40%. Падение усталостной прочности объясняется концентрацией напряжений во впадинах неровностей поверхности. Концентрация напряжений тем больше, чем острее впадины. Мелкие надрезы поверхности, риски и тому подобное вызывают появление трещин, которые, развиваясь, могут привести к разрушению детали.

Наклеп и остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое повышают усталостную прочность, а остаточные напряжения растяжения снижают ее.

Шероховатость поверхности в значительной степени влияет на стабильность посадок деталей. Характер подвижной посадки изменяется в связи с изнашиванием сопрягаемых поверхностей. При неподвижных посадках большое значение имеет площадь опорных поверхностей. Реальные поверхности соприкасаются лишь верхушками гребешков, а не всей поверхностью, и это ослабляет прочность сопряжения. При соединении неподвижных посадок под действием пресса необходимо учитывать срезание (смятие) микронеровностей, что также ослабляет прочность соединения.

Если же соединение неподвижных посадок осуществляется благодаря тепловому воздействию (охлаждение вала или нагревание втулки), микронеровности способствуют повышению прочности соединений.

Установлено, что поверхности с меньшей шероховатостью меньше подвержены коррозии. Корродирующие вещества собираются на дне впадин неровностей поверхности. Распространяясь вглубь металла, они разрушают гребешки шероховатости, образуя новые, и т. д. Очевидно, чем меньше высота неровности, тем медленнее будет протекать коррозия. Поэтому в некоторых ответственных машинах, работающих в неблагоприятных атмосферных условиях, полируют даже те поверхности деталей, которые при обычных условиях эксплуатации можно было бы не обрабатывать.

Наклеп ускоряет коррозию в 1,5-2 раза. Это объясняется тем, что при пластическом деформировании поликристаллического материала в нем создаются микронеровности, способствующие возникновению большого числа очагов коррозии.

7.4. Понятие о технологической наследственности

Качество поверхности деталей машин определяется методами и режимами механической обработки. Его показатели могут быть улучшены путем применения как обычных методов, осуществляемых на опти-

мальных режимах, так и отделочно-упрочняющих методов обработки.

На финишных операциях механической обработки окончательно формируется поверхностный слой деталей машин. Однако на результат этого формирования оказывают влияние предшествующие операции, включая заготовительные. Это свидетельствует о существовании технологической наследственности.

Технологической наследственностью называют перенесение на готовое изделие в процессе его обработки погрешностей механических и физико-химических свойств исходной заготовки или свойств и погрешностей, сформированных у заготовки на отдельных операциях изготовления детали.

Целенаправленное формирование поверхностного слоя с заданными свойствами является одной из важнейших задач технологического процесса механической обработки заготовок. Припуски на обработку, а также последовательность выполнения операций устанавливаются с учетом технологической наследственности так, чтобы сохранить у детали положительные качества (наклеп поверхностного слоя, высокую поверхностную твердость, остаточные напряжения сжатия и др.) или, наоборот, устранить отрицательные качества - дефектный слой, различные виды отклонения формы и расположения поверхностей и др.

Управляя финишной операцией, можно получить поверхностный слой, отвечающий требованиям, заданным чертежом и техническими условиями.

Заданные требования достигаются также применением специальных отделочно-упрочняющих методов обработки деталей машин. Эти методы основаны на пластическом деформировании поверхностного слоя; благодаря их применению создается наклеп, обеспечивается повышение твердости поверхностного слоя, формируются остаточные напряжения сжатия, которые повышают усталостную прочность деталей.

Применение отделочно-упрочняющих методов обработки деталей машин способствует повышению их эксплуатационных свойств, что приводит к сокращению потребности в материалах, запасных частях и в конечном счете - к снижению расходов на изготовление и эксплуатацию машин.

В настоящее время применяют ряд методов упрочнения для придания поверхностным слоям деталей машин соответствующих свойств: химико-термические, поверхностное легирование, поверхностную термическую обработку, покрытие поверхностей твердыми сплавами и металлами, металлизацию поверхностей и некоторые другие.

Учитывая все возрастающий интерес к вопросу о технологической наследственности, которая имеет большое практическое значение, кратко рассмотрим ее основные положения.

Результаты выполненных исследований позволяют сделать вывод о том, что технологическая наследственность играет важную роль в обеспечении качества машиностроительных изделий / 29 /. Мы рассмотрим сокращенный вариант основных положений этого источника.

Современное машиностроение характеризуется обилием методов получения заготовок, форма которых

близка к форме готовых деталей. Такие заготовки в своей массе не могут играть роль деталей машин, так как не обладают геометрической точностью, их поверхности не могут образовывать качественные сопряжения двух объектов, а качество поверхностных слоев не обеспечивает заданные эксплуатационные требования.

Таким образом, качество детали, выраженное через определенные показатели, представляет собой совокупный результат условий, как формирования заготовок, так и обработки их резанием.

Генная инженерия в технике, рассматривая изменения и превращения, происходящие с заготовкой в процессе изготовления детали, во многом заимствует и использует понятийный аппарат и подходы биологической генетики. В частности, понятие "ген" трактуется как "химико - структурированная единица (элемент структуры), несущая набор (комплекс) наследственной информации - от шихтового материала через жидкую фазу к литому изделию и, далее, через все переделы, вплоть до эксплуатации деталей в машине и их рециклирования".

Используя терминологию в области живой природы, можно считать, что в технологии машиностроительного производства многие показатели имеют наследственную природу. Поэтому использование понятия "технологическая наследственность в машиностроительном производстве" вполне оправдано.

Рассмотрение производственных процессов изготовления изделий во времени, начиная с выбора материала для заготовки, ее обработки, сборки деталей позволяет установить причины явлений и условий регулирования параметров технологических процессов, в ходе которых формируются свойства изделий. При этом и появляются понятия о технологическом наследовании, технологической наследственности и наследственной информации в машиностроительном производстве.

Технологическим наследием называется явление *переноса свойств объектов* от предшествующих технологических операций к последующим. Эти свойства могут быть как полезные, так и вредные. *Сохранение же этих свойств у объектов* называют технологической наследственностью.

Такие термины являются достаточно емкими. С их помощью и по соответствующим методикам можно проследить за состоянием объекта производства в любой момент времени с учетом всех предшествующих технологических воздействий, имевших место в прошлом. В процессе передачи свойств важную роль играет так называемая наследственная информация. Она заключается в материале деталей и их поверхностных слоях. Информация представляет собой большой перечень показателей качества.

Очень существенным является установление общих закономерностей технологического наследования; определение количественной стороны технологического наследования таких параметров, как конструктивные формы заготовок и деталей, погрешности технологических баз, погрешности формы и пространственные отклонения заготовки, их волнистость, физико-механические свойства поверхностных слоев и др. Исключительно большое значение имеют наследственные погрешности при сборке.

Технологическая наследственность предусматривает взаимосвязь отдельных элементов системы. Под системой можно понимать как технологический процесс, так и сам объект обработки. Система, обозначенная с позицией технологической наследственности, представляет собой не разрозненное скопление отдельных элементов, а прочно связанную информационную сеть. Поэтому не имеет смысла рассматривать отдельно взятые, обособленные состояния обрабатываемого объекта. Такой подход не позволяет установить связь внутри системы.

Рассматриваемые системы находятся в динамическом режиме, то есть функционируют, переходят из одного состояния в другое за определенное время, что делает решение задачи по выявлению наследственных связей еще более сложными. Такие системы очень разнообразны, а, следовательно, характеризуются большой неопределенностью. Однако наличие наследственной информации, являющееся важнейшей особенностью таких систем, уменьшает разнообразие, упрощает систему, более того, становится возможным прогнозирование поведения системы.

Носителем наследственной информации является собственный материал изготавливаемой детали, а также ее поверхности с многообразием параметров, описывающих их состояние. Носители информации активно участвуют в технологическом процессе, проходя, по выражению профессора П.И.Ящерицына, через различные "барьеры" либо задерживаясь на них частично или полностью.

Самым существенным барьером являются термические операции. Отклонения фактической формы заготовок от идеальных вполне определенным образом передаются от одной операции к другой. В частном случае это явление может быть названо копированием. В ходе процесса различные пороки поверхностей деталей, в частности микротрещины, могут развиваться или "залечиваться" и т.д. Во всех этих и аналогичных случаях возникновение, изменение, ликвидация параметров детали характеризуются наследственной информацией.

Наследование свойств в ходе технологического процесса характерно как для детерминированных, так и для вероятностных систем.

Рассмотренные выше материалы позволяют сделать вывод о том, что процессом технологического наследия можно управлять с тем, чтобы свойства, положительно влияющие на качество детали, сохранять в течение всего технологического процесса, а свойства, влияющие отрицательно, ликвидировать в его начале. Следовательно, в общем виде нельзя однозначно ответить на вопрос о том, служит технологическая наследственность положительным или отрицательным явлением. На такой вопрос можно дать четкий ответ лишь применительно к конкретному технологическому процессу.

В источнике / 29 / подробно рассмотрены вопросы технологической наследственности при изготовлении деталей машин и сборке изделий.

Технологическое наследование проявляется не только в сфере производства, но и в процессах конструирования и эксплуатации изделий. Сущность насле-

дования конструктивных форм сводится к тому, что заготовки, имея, в зависимости от конструктивных особенностей, различные жесткость или температурную деформацию в разных точках, под действием сил резания или нагрева получают в ходе технологического процесса или эксплуатации неодинаковые перемещения, вызывающие погрешности формы готовых деталей. Сюда же относится возникновение погрешностей от неравномерной релаксации напряжений, наличие которых в различных точках заготовки связано с особенностями конструктивных форм деталей. Особое значение этот вид наследования имеет для прецизионных деталей, поскольку величины погрешностей могут быть соизмеримы с допусками.

Авторы источника / 29 / считают, что управление наследственными характеристиками должно быть представлено соответствующей системой организационных мероприятий, которые должны быть документально оформлены в виде технологических регламентов.

Под технологическим регламентом понимается директивный документ, определяющий основные элементы технологического процесса, технологические требования и требования к технологической среде. Все такие требования являются обязательными для выполнения на определенной группе предприятий. Регламенты разрабатывает ряд научно-исследовательских учреждений. Качество отдельных деталей обеспечивается за счет включения в регламенты определенных данных:

- перечня и порядка основных технологических операций;
 - изложения технологических операций с такими технологическими указаниями, невыполнение которых не допускается;
 - указаний о технологическом оборудовании и технологической оснастке;
 - методов и характеристик средств контроля, используемых в процессе изготовления деталей и сборки изделий, а также контроля, испытания и приемки готовых деталей и изделий;
 - указания основных производственных условий (помещений, температуры, освещенности, виброизоляции и т.д.);
 - методов и средств транспортировки, хранения и консервации полуфабрикатов, упаковки и транспортировки изделий, а также их длительного хранения.
- Технологические регламенты являются, на взгляд авторов, такими документами, которые концентрируют все требования к среде. Они содержат в компактном виде качественные и количественные показатели технологических процессов, выполняемых в определенной технологической среде.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЙ

8.1. Общие понятия о технологичности конструкции изделий

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

Из приведенного определения следует, что ТКИ – понятие относительное. Технологичность одного и того же изделия в зависимости от типа того производства, где оно изготавливается, и от конкретных производственных условий может быть различной.

Например, металлические отливки могут быть изготовлены литьем в кокиль или в песчано-глинистые формы. К отливкам, получаемым этими способами, предъявляются разные требования, которые необходимо учитывать при конструировании деталей.

В крупносерийном и массовом производстве технологичны будут отливки, изготовленные литьем в кокиль, так как трудоемкость и себестоимость изготовления деталей из этих отливок значительно ниже, чем из отливок, полученных с использованием песчано-глинистых форм. В свою очередь, последние будут технологичны в мелкосерийном и единичном производстве.

Основная задача обеспечения ТКИ заключается в достижении оптимальных трудовых, материальных и топливно-энергетических затрат на проектирование, подготовку производства, изготовление, монтаж вне предприятия-изготовителя, технологическое обслуживание (ТЛО), техническое обслуживание (ТО) и ремонт при обеспечении прочих заданных показателей качества изделия в принятых условиях проведения работ.

Различают производственную, эксплуатационную и ремонтную технологичность.

Производственная ТКИ заключается в сокращении средств и времени на конструкторскую подготовку производства, технологическую подготовку производства, процессы изготовления, в том числе контроля и испытаний, монтаж вне предприятия-изготовителя.

Эксплуатационная ТКИ заключается в сокращении средств и времени на подготовку к использованию по назначению, технологическое и техническое обслуживание, текущий ремонт, утилизацию.

Ремонтная технологичность заключается в сокращении средств и времени на все виды ремонта.

Главные факторы, определяющие требования к ТКИ, следующие:

- вид изделия, характеризующий главные конструктивные и технологические признаки, обуславливающие основные требования к ТКИ;
- объем выпуска и тип производства, определяющие степень технологического оснащения, механизации и автоматизации технологических процессов и

специализацию всего производства.

Необходимо отметить, что ТКИ является комплексным понятием. Она должна всесторонне учитывать технологические процессы изготовления заготовок, деталей, сборки сборочных единиц и комплексов и обеспечивать наименьшую трудоемкость и себестоимость этих процессов. Понятие ТКИ распространяется также на область их эксплуатации и ремонта.

По ГОСТ 14.201—83 обеспечение ТКИ является функцией подготовки производства, предусматривающей взаимосвязанное решение конструкторских и технологических задач, направленных на повышение производительности труда, достижение оптимальных трудовых и материальных затрат и сокращение времени на производство, в том числе монтаж вне предприятия-изготовителя, техническое обслуживание и ремонт изделия.

8.2. Показатели технологичности

Оценка технологичности конструкции изделия может быть двух видов – качественной и количественной.

Качественная оценка характеризует технологичность конструкции обобщенно, на основе опыта исполнителя. Качественная оценка при сравнении вариантов конструкции в процессе проектирования изделия предшествует количественной и определяет целесообразность последней. Количественно ТКИ оценивается показателем, значение которого характеризует степень удовлетворения требованиям к технологичности конструкций.

Количественная оценка ТКИ производится с помощью системы, включающей следующие показатели:

- базовые (исходные) показатели технологичности, которые являются предельными нормативами технологичности, обязательными для выполнения при разработке изделия; их указывают в техническом задании на разработку изделия или в отраслевых стандартах;
- показатели технологичности, достигнутые при разработке изделия;
- показатели уровня технологичности конструкции разрабатываемого изделия.

Число показателей должно быть минимальным, но достаточным для оценки технологичности.

ГОСТ 14.201-83 рекомендует перечень показателей технологичности. В методических рекомендациях МР 186-85 приведены основные и вспомогательные показатели ТКИ и методика их определения / 19 /.

К основным показателям ТКИ относятся трудоемкость и себестоимость изготовления изделия, материалоёмкость и энергоёмкость изделия.

Трудоемкость изготовления изделия. Трудоемкость изделия по сферам проявления подразделяется на производственную, ТЛО, ТО и ремонта. В соответствии с этим производственная трудоемкость изделия используется для оценки производственной технологичности конструкций, а трудоемкость ТЛО, ТО и ремонта – для оценки, соответственно, эксплуатационной и ремонтной технологичности конструкции изделий.

Абсолютная трудоемкость (T_a), затраченная на

изготовление, монтаж вне предприятия-изготовителя, ТЛО, ТО или ремонт изделия, выражается суммой нормо-часов, затраченных на технологические процессы, проведенные в одной из сфер:

$$T_a = \sum T_i, \quad (8.1)$$

где T_i – трудоемкость, затраченная на изготовление любой i -й составной части, нормо-час.

Себестоимость изделия – важный обобщающий показатель качества. Для оценки ТКИ пользуются показателем технологической себестоимости (S_T)

$$S_T = S_M + S_3 + S_{HP}, \quad (8.2)$$

где S_M – стоимость материалов, затраченных на изготовление изделия; S_3 – заработная плата производственных рабочих с начислениями; S_{HP} – накладные расходы, включающие расходы на энергию, потребляемую оборудованием, на ремонт и амортизацию оборудования, инструмента и приспособлений, на смазочные, охлаждающие, обтирочные и другие материалы, предусмотренные процессами проведения работ.

При необходимости, имея базовые показатели технологичности, можно определить уровень технологичности конструкции по трудоемкости и себестоимости.

Материалоемкость изделия характеризует количество материала, затраченного на производство изделия и его эксплуатацию, определяемое в единицах массы.

Материалоемкость изделия по сферам проявления подразделяют на производственную материалоемкость, ТЛО, ТО и ремонта.

Материалоемкость может характеризоваться удельной материалоемкостью ($K_{ум}$):

$$K_{ум} = \frac{M}{P}, \quad (8.3)$$

где M – сухая масса изделия; P – номинальное значение основного технического параметра (производительность, мощность и др.).

Коэффициентом применяемости материала ($K_{пр.ми}$) оценивается унификация материалов:

$$K_{пр.ми} = \frac{N_i}{N}, \quad (8.4)$$

где N_i – норма расхода данного (i -го) материала на изготовление изделия; N – норма расхода материалов на изготовление изделия.

Величину N_i можно определять не только для материалов определенной марки и профиля, но и для марок и видов профилей (заготовок) отдельно.

Сумма значений коэффициентов $K_{пр.ми}$ для всех i -х материалов равна единице: $\sum K_{пр.ми} = 1$.

Работы, связанные с анализом материалоемкости конструкций по применяемости материалов, должны сочетаться с работами по контролю в конструкторской документации рационального использования ограничительной номенклатуры материалов, профилей и размеров проката в соответствии с ГОСТ 2.111-68.

Энергоемкость изделия характеризует количество топливно-энергетических ресурсов, затраченных на его изготовление, монтаж вне предприятия-изготовителя, ТЛО, ТО, ремонт или утилизацию.

Показатели энергоемкости различаются в зави-

симости от сферы ТКИ и вида потребляемых топлива и энергии. Например, электроемкость изделия в изготовлении, затраты топлива при утилизации и т.п.

В МР 186-85 приведены вспомогательные показатели ТКИ и методы их определения. Отметим лишь некоторые из них. Это коэффициенты: унификации конструктивных элементов, применения типовых технологических процессов, точности обработки, шероховатости поверхности и др.

Выбор базовых показателей ТКИ является исходным этапом для отработки конструкции изделия на технологичность. Для определения базовых показателей за основу принимают статистические данные о ранее созданных конструкциях, имеющих общие конструкторско-технологические признаки с проектируемой конструкцией, данные аналогов или типовых представителей.

При инженерно-расчетном методе оценки ТКИ определяют и сопоставляют значения показателя K технологичности проектируемого изделия и соответствующего базового показателя $Kб / 19, 21 /$.

Наиболее распространены вычисления следующих показателей ТКИ: а) абсолютного – K ; б) сравнительного (уровня) – $Kу = K/Kб$; в) разностного $\Delta K' = |K - Kб|$; $K'' = |1 - Kу|$.

Следует отметить, что для расчета частных, комплексных и базовых показателей ТКИ, в том числе и для предварительных расчетов в процессе проектирования, используются различные методики, которые изложены в специальной научно-технической литературе [19 и др.].

8.3. Отработка конструкции изделия на технологичность

ТКИ обеспечивается следующими мероприятиями:

1. Отработкой конструкции на технологичность на всех стадиях разработки изделия, при технологической подготовке производства и (в обоснованных случаях) при изготовлении изделия.

Таким образом, отработка на технологичность должна стать неотъемлемой составной частью проектирования изделия. Она производится совместно разработчиками конструкторской и технологической документации.

2. Совершенствованием условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте изделий и фиксации принятых решений в технологической документации.

3. Количественной оценкой технологичности конструкции изделий.

4. Технологическим контролем конструкторской документации.

5. Подготовкой и внесением изменений в конструкторскую документацию по результатам технологического контроля, обеспечивающего достижение базовых значений показателей технологичности.

При проведении отработки конструкции изделия на технологичность всесторонне учитывают многие факторы, среди которых выделяют наиболее значи-

мые. Прежде всего, необходимо учитывать вид изделия, степень его новизны и сложности, его перспективность и объем выпуска. В центре внимания разработчиков должны быть условия изготовления, технического обслуживания и ремонта, монтажа вне предприятия-изготовителя. Учитывается также передовой опыт предприятия-изготовителя и других предприятий с аналогичным производством, новые высокопроизводительные методы и процессы изготовления. Необходимо тщательный анализ оптимальных условий конкретного производства при рациональном использовании имеющихся средств технологического оснащения и производственных площадей и планомерном внедрении новых передовых технологических процессов и средств производства. Определяется связь достигнутых показателей технологичности с другими показателями качества изделия.

Конструктивная и технологическая преемственность, точное определение которой приводится в ГОСТ 14.004-83, является одним из главных принципов наиболее целесообразной подготовки производства. Применение этого принципа позволяет максимально использовать все лучшее, что создано в процессе научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических разработок, освоено в производственных условиях и всесторонне проверено в эксплуатации. Известно, например, что при конструировании новых изделий машиностроения и приборостроения до 80% конструктивных решений переходит от изделия к изделию.

В ГОСТ 14.201-83 приведены комплексы работ: по снижению трудоемкости и себестоимости изготовления изделия и его монтажа вне предприятия-изготовителя; по снижению трудоемкости, стоимости и продолжительности технического обслуживания и ремонта изделия; по снижению материалоемкости изделия. К ним относятся: повышение серийности изделия и его составных частей при изготовлении (обработке, сборке, испытании) посредством стандартизации, унификации и обеспечения конструкторского подобия, применения высокопроизводительных и малоотходных технологических решений, основанных на типизации процессов и других прогрессивных формах их организации; применение высокопроизводительных стандартных средств технологического оснащения, обеспечивающих оптимальный уровень механизации и автоматизации труда в производстве; применение рациональных сортментов и марок материалов, рациональных способов получения заготовок, методов и режимов упрочнения деталей и другие.

8.4. Требования к технологичности конструкции деталей машин и сборочных единиц

Конструкция детали должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к изготовлению, эксплуатации и ремонту с помощью наиболее производительных и экономичных методов. Ее следует отрабатывать на технологичность комплексно, учитывая зависимость технологичности от следующих факторов: исходной заготовки детали; вида обработки в технологическом процессе изготовления; технологичности

сборочной единицы, в которую эта деталь входит как составная часть.

Сформулированные требования позволяют выделить основные общие положения, которые необходимо учитывать при конструировании деталей машин. Конструкция детали должна быть простой по конфигурации, должна состоять из стандартных и унифицированных конструктивных элементов или быть стандартной в целом. Необходимо предусматривать надежные технологические базы, обеспечивать необходимую жесткость. Конструкция должна быть такой, чтобы для ее изготовления можно было применять высокопроизводительные методы обработки.

Простая конфигурация детали – использование в ее конструкции стандартных и унифицированных элементов – позволяет избежать необходимости применения специального режущего и мерительного инструмента, упрощает выполнение технологических операций. Если поверхности детали не позволяют создать надежные технологические базы, то следует предусмотреть в чертеже для этих целей специальные поверхности, которые обеспечили бы выполнение технологического процесса с высокой производительностью и заданной точностью. Примерами такого решения могут служить центровые отверстия (гнезда) в валах.

Высокая жесткость заготовки позволяет осуществить более надежное закрепление заготовки на станке или в приспособлении, повысить режимы резания, что, в свою очередь, повысит производительность обработки.

Отработка конструкции изделия на технологичность должна обеспечивать на основе достижения технологической рациональности и оптимальной конструктивной и технологической преемственности конструкции изделия решение следующих основных задач: снижение трудоемкости и себестоимости изготовления изделия и его монтажа вне предприятия-изготовителя; снижение трудоемкости, стоимости и продолжительности технического обслуживания и ремонта изделия; снижение важнейших составляющих общей материалоемкости изделия – расхода металла и топливно-энергетических ресурсов при изготовлении, монтаже вне предприятия-изготовителя, техническом обслуживании и ремонте.

Вид заготовки в значительной степени определяет технологический процесс механической обработки детали и ее трудоемкость. Поэтому выбор вида заготовки имеет исключительное значение.

Рациональный способ получения заготовки устанавливают в зависимости от объема выпуска и типа производства. Заготовка по форме и размерам должна приближаться к форме и размерам готовой детали. Это способствует снижению объема механической обработки, трудоемкости и себестоимости изготовления детали. В чертеже детали должны найти отражение специфические требования получения различных видов заготовок: толщина стенок, литейные или штамповочные уклоны, ребра жесткости, внутренние полости, радиусы закругления кромок, радиусы перехода от одной поверхности к другой, плоскости разъема и т.п. Примеры конструктивных решений различных видов заготовок приведены на рис. 8.1.

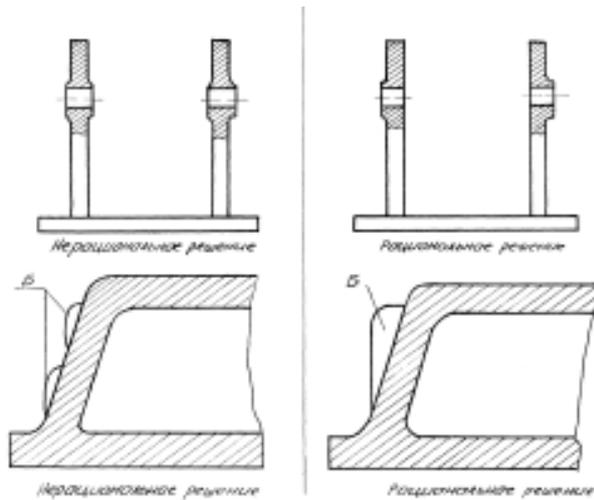


Рис.8.1. Примеры конструктивных решений, обеспечивающих технологичность деталей

Точность деталей машин по размерам, отклонениям геометрической формы, взаимному расположению, параметров шероховатости поверхностей устанавливаются в соответствии с требованиями к надежности машин в эксплуатации. Изменение степени точности, параметров шероховатости поверхности, площади обработки существенно влияет на трудоемкость и технологическую себестоимость. Это необходимо учитывать при конструировании деталей машин (рис. 8.2).

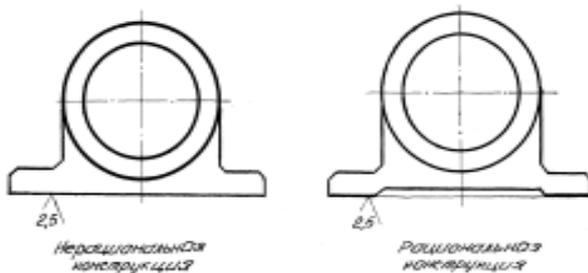


Рис.8.2. Пример уменьшения механической обработки деталей

Возможность одновременной обработки нескольких заготовок позволит уменьшить ее продолжительность (рис.8.3).

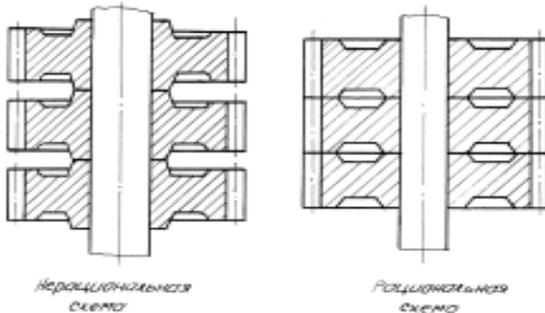


Рис.8.3. Различные схемы установки заготовок для их одновременной обработки

Конструкция детали должна обеспечить возможность удобства подвода режущего инструмента к обрабатываемой поверхности, свободного выхода его после окончания обработки (рис.8.4).

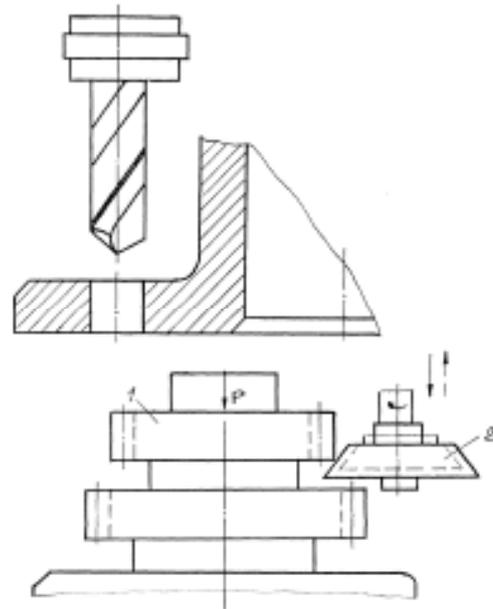


Рис. 8.4. Конструкция детали, обеспечивающая удобный подвод режущего инструмента к обрабатываемой поверхности и свободный его выход после окончания обработки

Ступенчатые цилиндрические поверхности следует располагать по возрастающим или убывающим ступеням от торца к торцу (рис.8.5).

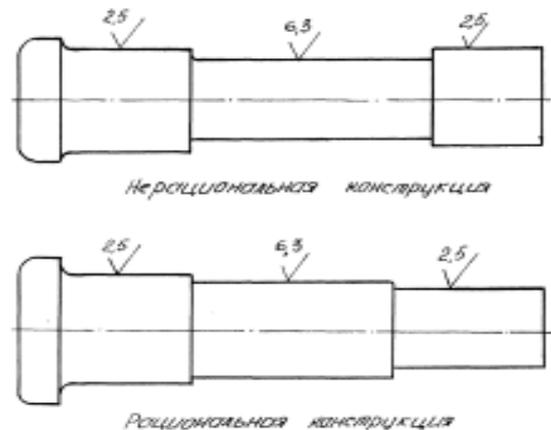


Рис.8.5. Различные расположения ступеней наружной цилиндрической поверхности

Если в конструкции изделия предусмотрены отверстия, необходимо учитывать следующее:

а) по возможности они должны быть сквозными (рис.8.6 а);

б) в глухих отверстиях следует предусматривать коническую поверхность от сверла (рис.8.6 б), точку для выхода инструмента (рис.8.6 в), нормальные условия при работе зенкером или разверткой (рис.8.6 г);

в) производительная обработка отверстий сверлением в значительной степени определяется нормальными условиями врезания и выхода сверла после окончания процесса резания (рис. 8.7);

г) удобные условия обработки отверстий с одной установки будут при параллельном расположении их осей (рис.8.8).

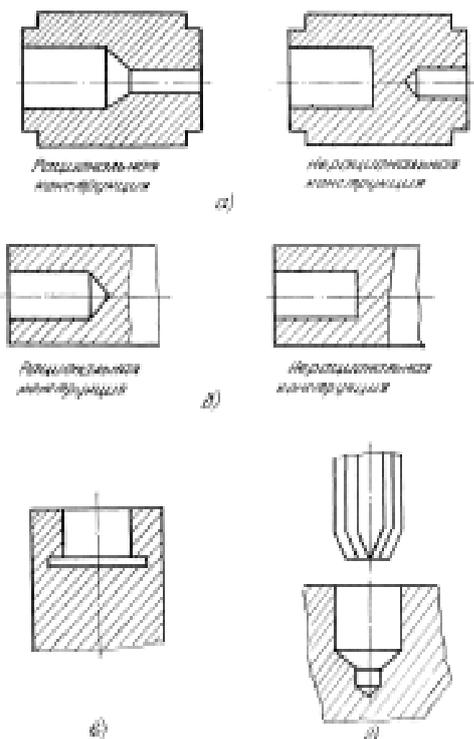


Рис.8.6. Примеры конструктивных решений, обеспечивающих технологичность отверстий в детали

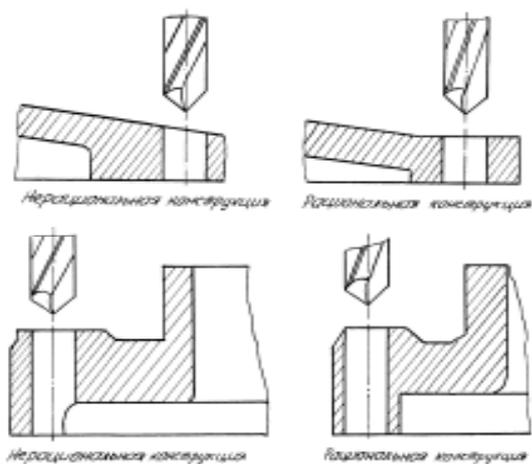


Рис.8.7. Различные условия резания и выхода сверла после окончания работы

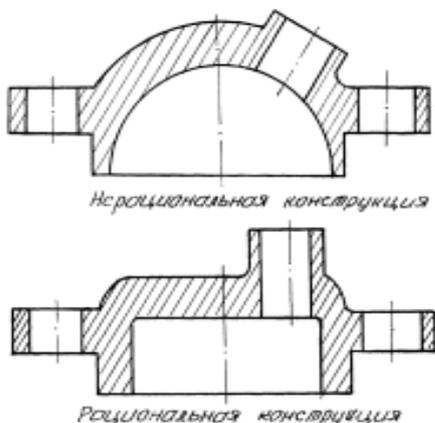


Рис.8.8. Различные конструктивные решения по расположению отверстий

В чертежах деталей машин следует учитывать особенности обработки резьбы и предусматривать наличие заходной фаски, которая облегчает начальный период резьбообразования, а также выточки для выхода инструмента на дополнительную длину для сбega резьбы (рис.8.9).

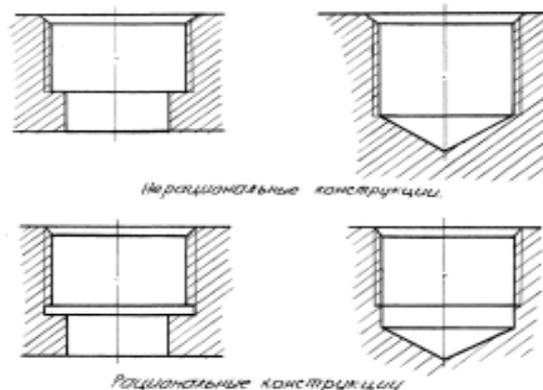


Рис.8.9. Примеры рациональных и нерациональных конструкций резьбовых отверстий

Проектировщик должен знать, что обработка плоскостей бобышек или платиков значительно упрощается, если они расположены на одном уровне, а выступающие элементы – ребра, выступы, приливы не должны мешать обработке плоских поверхностей производительными методами (рис.8.10).

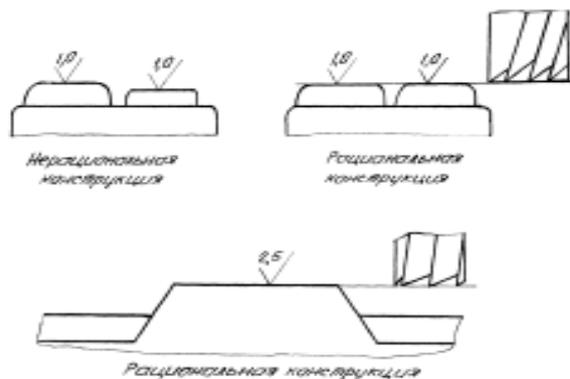


Рис.8.10. Примеры различного расположения обрабатываемых поверхностей

Приведенные примеры являются лишь частичными рекомендациями по рациональному выбору конструктивных решений отдельных элементов деталей машин. При окончательном выборе конструкции детали проектировщик совместно с технологом должен учитывать особенности различных методов обработки и конкретные возможности производства.

В общем случае конструкция детали должна обеспечивать возможность применения прогрессивных технологических процессов ее изготовления, в том числе типовых и групповых, "безлюдных", энергосберегающих, малоотходных.

При необходимости конструкция деталей должна быть такой, чтобы их можно было изготавливать на станках с ЧПУ, с применением роботов, быстросменных и групповых наладок, а также в условиях гибкой производственной системы (ГПС).

Технологичность деталей с точки зрения их об-

работки на станках с ЧПУ необходимо оценивать с двух позиций: собственно обработки на станке и ее программирования. Требования технологичности конструкции деталей для станков обычного исполнения и станков с ЧПУ, как правило, значительно отличаются.

Например, для обычных универсальных станков являются нетехнологичными сложные контуры деталей, описываемые математическими зависимостями (резьбы с переменным шагом, спирали и т.п.), для станков с контурной системой ЧПУ обработка подобных деталей затруднений не вызывает. Значительно большее значение для обработки на станках с ЧПУ имеет унификация размеров (канавок, отверстий, выточек отверстий, соотношение минимальных ресурсов и т.п.).

При обработке на сверлильных и расточных станках с ЧПУ надо стремиться к одинаковым диаметрам и глубине крепежных отверстий и сокращению различных диаметров всевозможными требованиями по точности и шероховатости.

При обработке на токарных станках с ЧПУ большое значение имеет ограничение форм и размеров канавок для выхода инструмента. Например, изменив форму канавки, можно ее обработать подрезным резцом (рис. 8.11 д). При этом исключается использование канавочного резца. Надо стремиться к сокращению применяемых типоразмеров режущего инструмента. С целью обеспечения подготовки управляющих программ, простановка размеров в чертеже деталей должна удовлетворять требованиям программирования.

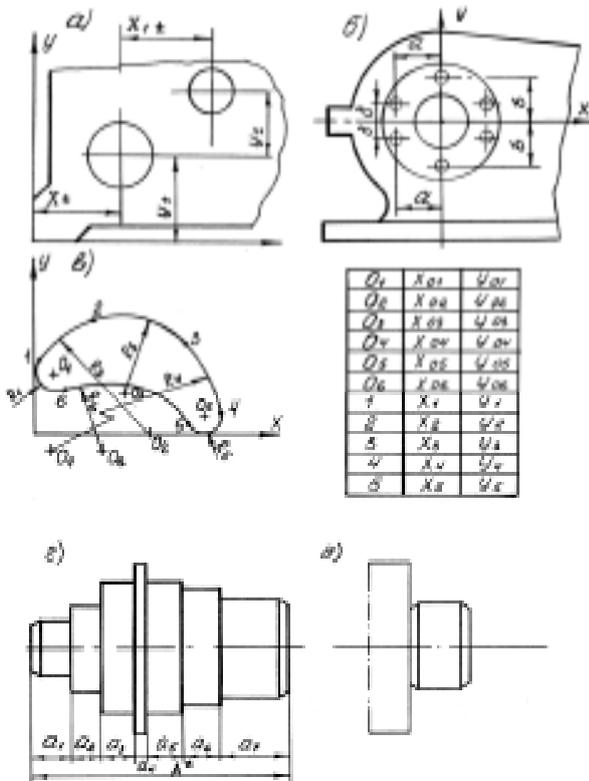


Рис. 8.11. Примеры особенностей обеспечения технологичности деталей, изготавливаемых на станках ЧПУ

Прежде всего, простановка размеров должна производиться в прямоугольной системе координат от единых конструкторских баз детали. Для этого необходимо выбрать начало координат и направление осей станка. В отдельных случаях следует отказаться от

принятой схемы простановки размеров. Так, например, расположение крепежных отверстий относительно основного обычно принято задавать центральным углом дуг между осями и радиусом от центра основного отверстия. В случае обработки отверстий на станках с ЧПУ схема простановки размеров представлена на рис. 8.11 б. Здесь, с целью сокращения ходов, при обработке за начало координат (исходная точка) выбрана ось основного отверстия. Размеры должны быть проставлены так, чтобы данные о каждом контуре были, по возможности, в одной проекции (рис. 8.11 а, б).

При обработке прямолинейных контуров плоских деталей на станке с ЧПУ в чертеже необходимо указать размеры радиусов дуг, координаты центров радиусов, координаты точек сопряжения (рис. 8.11 в). Учитывая особенности использования станков с ЧПУ, линейные размеры при обработке валов на токарных станках следует наносить цепочкой (рис. 8.11 г).

В общем случае нанесение размеров на чертежах деталей, изготавливаемых на станках с ЧПУ, должно быть таким, чтобы при обработке управляющей программы не вызвали необходимости их пересчета.

Технологичность конструкций сборочных единиц обеспечивается в комплексе с изделием, в которое данная сборочная единица входит как составная часть. Рациональное число деталей в сборочной единице должно быть выбрано с учетом целесообразного объединения нескольких деталей в одну и принципа агрегатирования и должно обеспечивать простейшую схему сборки. Следует предусматривать разделение изделия на самостоятельные сборочные единицы, допускающие независимую сборку, контроль и испытание. Это позволит производить параллельную сборку отдельных сборочных единиц и тем самым сократить производственный цикл сборки изделия. Особое внимание следует уделять компоновке сборочных единиц из стандартных и унифицированных частей, что приводит к увеличению серийности и, как следствие, - к снижению трудоемкости их изготовления. В компоновке сборочной единицы следует предусматривать возможность общей сборки без промежуточной разборки и повторных сборок составных частей, а также простоту замены составных частей с малым ресурсом.

Конструкция сборочной единицы должна обеспечивать удобные сборочные работы с применением экономически целесообразных средств технологического оснащения, применение средств механизации и автоматизации.

В конструкции сборочной единицы необходимо выделить базовую составную часть - основу для расположения остальных частей. Конструкция этой части должна быть такой, чтобы ее было удобно устанавливать на рабочем месте и чтобы можно было использовать конструкторские базы в качестве технологических и измерительных.

Следует стремиться к минимальному числу поверхностей и мест соединений составных частей. Конструкция соединения составных частей должна исключать дополнительную обработку. Выбор метода сборки для данного объема выпуска и типа производства следует производить на основе расчета и анализа размерных цепей.

ГЛАВА IX

ПРИПУСКИ НА ОБРАБОТКУ ЗАГОТОВОК

9.1. Понятие о припусках на обработку заготовок

При проектировании технологических процессов механической обработки заготовок необходимо установить оптимальные припуски, которые обеспечили бы заданную точность и качество обрабатываемых поверхностей.

Припуском называют слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности.

К свойствам обрабатываемого предмета труда или его поверхности относятся размеры, форма, твердость, шероховатость и т.п.

Припуски могут быть *операционные* и *промежуточные*. Операционный припуск – это припуск, удаляемый при выполнении одной технологической операции.

Припуск, удаляемый при выполнении одного технологического перехода, называют промежуточным.

Общий припуск, который удаляют в процессе механической обработки рассматриваемой поверхности для получения чертежных размеров, определяет разность размеров исходной заготовки и детали.

На припуск устанавливают допуск, который является разностью между наибольшим и наименьшим значениями припуска. Значения припусков и допусков определяют промежуточные (операционные) размеры.

Установление оптимальных припусков играет важную роль при разработке технологических процессов изготовления деталей. Увеличение припусков приводит к повышенному расходу материалов и энергии, введению дополнительных технологических переходов, а иногда и операций. Все это увеличивает трудоемкость и повышает себестоимость изготовления деталей.

Уменьшенные припуски не дают возможности удалять дефектные поверхностные слои материала и достигать заданных точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей; в ряде случаев они приводят к условиям, недопустимым для работы режущего инструмента, так как может быть оставлена зона с твердой литевой коркой или окалиной. В результате уменьшенные припуски приводят к браку.

Значение допуска на припуск оказывает существенное влияние на выполнение технологической операции. С уменьшением этой величины возрастает трудоемкость обработки. Большие допуски на припуски усложняют выполнение технологических операций на предварительно настроенных станках (методом автоматического получения размеров), снижают точность обработки и затрудняют использование приспособлений.

На рис. 9.1-9.3 приведены различные схемы рас-

положения припусков. На рисунках приняты обозначения: Z_i – припуск на выполняемом технологическом переходе – промежуточный припуск; L_i , D_i , d_i – размеры, полученные на выполняемом переходе; L_{i-1} , D_{i-1} , d_{i-1} – размеры, полученные на смежном предшествующем переходе.

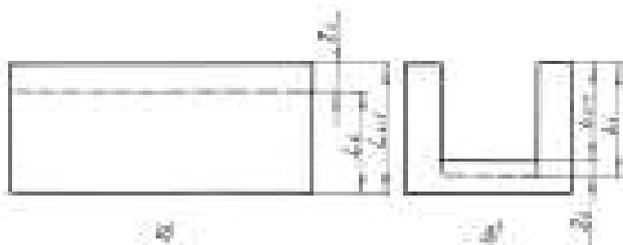


Рис.9.1. Припуски на обработку наружных и внутренних поверхностей

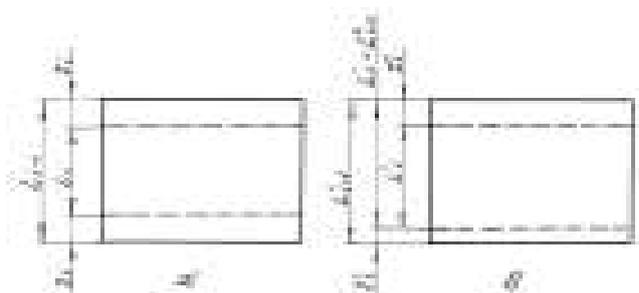


Рис.9.2. Припуски на обработку противоположных поверхностей

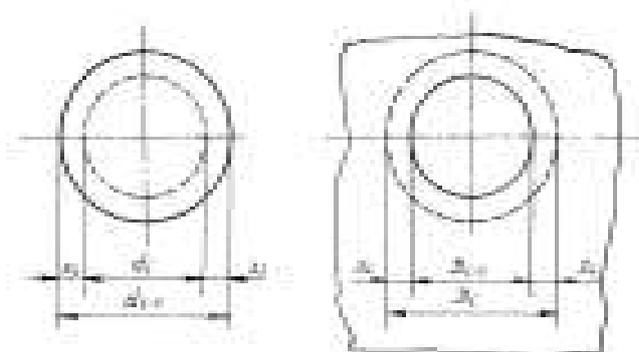


Рис.9.3. Симметричные припуски на обработку

Отмеченные для технологического перехода обозначения размеров и припуска используются также при выполнении технологической операции.

Из представленных схем можно определить:

$Z_i = L_i - L_{i-1}$ – для наружных поверхностей (рис. 9.1 а);

$Z_i = L_i - L_{i-1}$ – для внутренних поверхностей (рис. 9.1 б).

Общий припуск (Z_0) на обработку определяется размерами поверхностей исходной заготовки (L_3) и готовой детали (L_d):

$Z_0 = L_3 - L_d$ – для наружных поверхностей; (9.1)

$Z_0 = L_d - L_3$ – для внутренних поверхностей. (9.2)

Общий припуск можно представить также в виде:

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i, \quad (9.3)$$

где n – число технологических переходов; Z_i –

припуск на соответствующем переходе.

Припуски на обработку могут быть симметричными и асимметричными.

Симметричные припуски имеют место при обработке наружных и внутренних цилиндрических (и конических) поверхностей вращения, а также одновременной обработке противоположных поверхностей с одинаковыми припусками (рис.9.2 а; 9.3).

Из представленных схем можно определить припуск:

а) для наружных поверхностей

$$2Z_i = d_{i-1} - d_i;$$

$$2Z_i = L_{i-1} - L_i;$$

б) для внутренних поверхностей

$$2Z_i = D_i - D_{i-1};$$

$$2Z_i = L_i - L_{i-1}.$$

Асимметричный припуск будет в том случае, когда противоположные поверхности обрабатываются независимо одна от другой (рис.9.2 б):

$$Z'_i = L'_{i-1} - L'_i; Z''_i = L''_{(i-1)} - L''_i.$$

Односторонний припуск (рис.9.1) является частным случаем асимметричных припусков, когда одна из противоположных сторон не обрабатывается.

9.2. Методы определения припусков на механическую обработку

Имеется два основных метода определения припусков на механическую обработку поверхности: **опытно-статистический** и **расчетно-аналитический**.

Опытно-статистический метод еще находит широкое применение в машиностроении. При этом методе припуск устанавливают по стандартам и таблицам, которые составлены на основе обобщения и систематизации производственных данных передовых предприятий [1, 27 и др.]. Припуски на механическую обработку поковок, изготовленных различными методами, и отливок из металлов и сплавов определяются по таблицам ГОСТов, справочных данных, которые составлены на основании обобщения и систематизации производственных наблюдений ряда передовых предприятий.

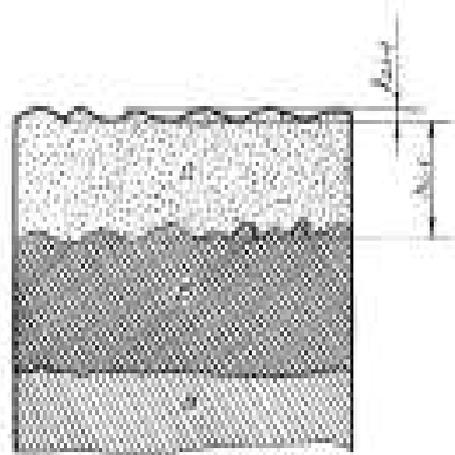
В этих ГОСТах припуски даны в зависимости от массы и габаритных размеров деталей, их конструктивных форм, заданных точности и параметра шероховатости обрабатываемой поверхности.

Существенный недостаток этого метода заключается в том, что припуски назначаются независимо от технологического процесса обработки детали без учета конкретных условий его выполнения; как правило, они завышены, так как рассчитаны на неблагоприятные условия, при которых припуск должен быть наибольшим во избежание брака. Отмеченный недостаток приводит к увеличению расхода материала и трудоемкости изготовления заготовок.

Основное преимущество опытно-статистического метода – экономия времени на установление припуска.

Расчетно-аналитический метод определения припусков на обработку разработан профессором

В.М.Кованом. При этом методе рассчитывают минимальный припуск на основе анализа факторов, влияющих на формирование припуска, с использованием нормативных материалов. Припуски на обработку определяют таким образом, чтобы на выполняемом технологическом переходе были устранены погрешности изготовления детали, которые остались на предшествующем переходе. Схема поверхностного слоя после обработки наружной поверхности заготовки показана на рис.9.4, где А – удаляемая дефектная часть поверхностного слоя; В – неудаляемая часть поверхностного слоя; В – исходная структура материала; Z_{i-1} – высота неровностей, характеризующая шероховатость поверхности; h_{i-1} – глубина дефектного поверхностного слоя.



А – удаляемая дефектная часть поверхностного слоя;
В – неудаляемая часть поверхностного слоя;
В – исходная структура

Рис.9.4. Схема поверхностного слоя после обработки наружной поверхности заготовки

Качество обработанной поверхности заготовки характеризуется шероховатостью, состоянием и глубиной поверхностного слоя. При расчетах величины припуска исходят из того, что шероховатость поверхности и дефекты поверхностного слоя, сформированные на предшествующем переходе (i - 1), должны быть удалены на выполняемом переходе (операции). При этом надо учитывать не полную глубину поверхностного слоя, а лишь его дефектной части. Необходимо стремиться оставить наклепанный поверхностный слой более износостойкий, чем нижележащие слои исходной структуры, а также способствующий получению меньшей шероховатости поверхности при ее обработке в зоне этого слоя.

Точность рассматриваемой поверхности (заготовки, обработанной на соответствующем переходе) характеризуется допусками на ее размеры, а также отклонениями формы и пространственными отклонениями.

При расчете припусков отклонения формы поверхности отдельно не учитывают. Принимают, что эти отклонения (овальность, бочкообразность, седлообразность, конусность, вогнутость, выпуклость и т.п.) не должны превышать допуска на размер и, как правило, должны составлять некоторую его часть.

Пространственные отклонения Δ_{Σ} (кривизна и коробление заготовки, эксцентricность отверстия относительно наружной поверхности, увод оси отверстия, отклонения от параллельности, перпендикулярности осей, плоскостей и т.п.) следует учитывать отдельно при расчете припусков на обработку.

Перечисленные отклонения проявляются в результате предшествующей обработки. На выполняемом переходе (операции) может возникнуть погрешность установки (Δy_i).

С учетом изложенного минимальный промежуточный припуск на выполняемом переходе в общем виде можно определить по формулам:

для асимметричных припусков

$$Z_i \min = (Rz_{i-1} + h_{i-1}) + |\bar{\Delta}_{\Sigma i-1} + \bar{\Delta}y_i|; \quad (9.4)$$

для симметричных припусков

$$2Z_i \min = 2[(Rz_{i-1} + h_{i-1}) + |\bar{\Delta}_{\Sigma i-1} + \bar{\Delta}y_i|]; \quad (9.5)$$

Общая величина двух пространственных отклонений определяется суммой векторов:

$$\bar{\Delta}_{\Sigma} = \bar{\Delta}_1 + \bar{\Delta}_2. \quad (9.6)$$

Для частных случаев – совпадающего и противоположного направления векторов, соответственно, зависимость (9.6) можно представить в виде:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_1 + \Delta_2; \quad \Delta_{\Sigma} = \Delta_1 - \Delta_2.$$

В ряде случаев предвидеть направление векторов трудно. В этих случаях пространственные отклонения определяются по правилам квадратного корня

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}. \quad (9.7)$$

Могут быть варианты, когда общее пространственное отклонение суммируется из нескольких составляющих, каждое из которых представляет собой вектор.

Погрешности установки были рассмотрены в главе 4.

При обработке плоскостей имеют место коллинеарные векторы $\Delta_{\Sigma i-1}$; Δy_i , тогда

$$|\bar{\Delta}_{\Sigma i-1} + \bar{\Delta}y_i| = (\Delta_{\Sigma i-1} + \Delta y_i). \quad (9.8)$$

При обработке наружных и внутренних поверхностей вращения векторы $\Delta_{\Sigma i-1}$ и Δy_i могут принимать любое угловое положение, предвидеть которое заранее не представляется возможным. Поэтому суммарное значение этих векторов определяется по правилу квадратического корня:

$$|\bar{\Delta}_{\Sigma i-1} + \bar{\Delta}y_i| = \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \Delta y_i^2}. \quad (9.9)$$

С учетом отмеченных положений формул (9.4) и (9.5) для конкретных видов обработки можно представить в следующем виде:

для асимметричного припуска при последовательной обработке противоположных плоских поверхностей

$$Z_i \min = (Rz_{i-1} + h_{i-1}) + (\Delta_{\Sigma i-1} + \Delta y_i); \quad (9.10)$$

для симметричного припуска при параллельной

обработке противоположащих плоских поверхностей

$$2Z_i \min = 2[(Rz_{i-1} + h_{i-1}) + (\Delta_{\Sigma i-1} + \Delta y_i)]; \quad (9.11)$$

для симметричного припуска при обработке наружных и внутренних поверхностей вращения

$$2Z_i \min = 2[(Rz_{i-1} + h_{i-1}) + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \Delta y_i^2}]; \quad (9.12)$$

Формулы (9.4), (9.5), (9.10), (9.11), (9.12) являются основными, общими для расчета припусков на механическую обработку. В ряде конкретных случаев отдельные составляющие отмеченных формул могут быть исключены.

Например:

1. При механической обработке заготовок из серого и ковкого чугуна слагаемое h учитывается только при выполнении первого технологического перехода, так как процесс резания не приводит к существенным изменениям поверхностного слоя.

2. При обработке цилиндрической поверхности детали, установленной в центрах, при бесцентровом шлифовании погрешность установки может быть принята равной нулю, тогда

$$2Z_i \min = 2[(Rz_{i-1} + h_{i-1}) + \Delta_{\Sigma i-1}].$$

3. Обработка отверстий плавающей разверткой и протягиванием не устраняет смещение и увод оси; в этом случае также отсутствует погрешность установки, следовательно, формула будет иметь вид:

$$2Z_i \min = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1}).$$

4. В тех случаях, когда целью обработки поверхности является лишь уменьшение параметров ее шероховатости (полирование, суперфиниширование), минимальный припуск определяется величиной

$$2Z_i \min = 2Rz_{i-1}.$$

Если при этом необходимо учитывать погрешности, связанные с настройкой инструмента на размер и его износом, не превышающим 0,5 допуска на обработку (T_i), минимальный припуск будет равен

$$2Z_i \min = 2Rz_{i-1} + 0,5T_i.$$

5. При шлифовании заготовок, после их термической обработки, поверхностный слой должен быть сохранен; следовательно, в расчетных формулах (9.10), (9.11), (9.12) будет отсутствовать слагаемое h_{i-1} .

9.3. Определение промежуточных размеров по технологическим переходам и операциям

При использовании расчетно-аналитического метода определения припусков на механическую обработку необходимо учитывать, что обработка партии однородных заготовок производится на предварительно настроенных станках. При такой обработке величина действительных припусков будет колебаться вследствие колебаний размеров заготовок, а также твердости их материала. Источники / 14, 21, 27 и др. / приводят следующие положения (рис. 9.5 и 9.6).

При обработке наружных поверхностей заготовок с наименьшим предельным размером получается минимальный припуск (Z_i). А с наибольшим предель-

ным размером – максимальный припуск ($Z_i \max$).

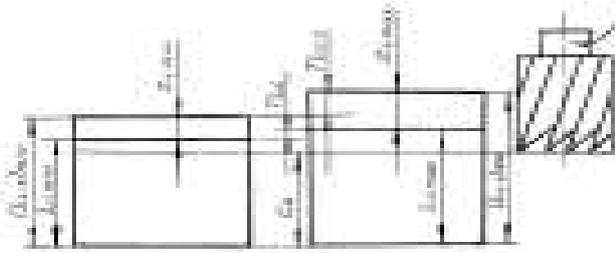


Рис.9.5. Схема для расчета припусков при обработке наружных поверхностей на предварительно настроенных станках

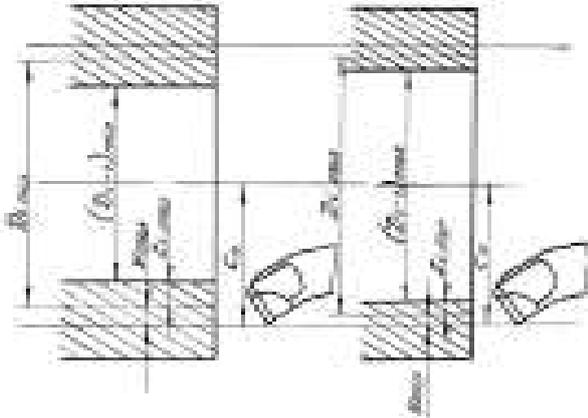


Рис.9.6. Схема для расчета припусков при обработке внутренних поверхностей на предварительно настроенных станках

Учитывая отмеченные обстоятельства, можно использовать зависимости:

для асимметричных припусков

$$Z_i \min = L(i-1) \min - L_i \min;$$

$$Z_i \max = L(i-1) \max - L_i \max;$$

$$Z_i \max = Z_i \min + T L(i-1) - T L_i;$$

для симметричных припусков

$$2Z_i \min = d(i-1) \min - d_i \min;$$

$$2Z_i \max = d(i-1) \max - d_i \max;$$

$$2Z_i \max = 2Z_i \min + T d(i-1) - T d_i.$$

При обработке внутренних поверхностей заготовок с наибольшим предельным размером получается минимальный припуск ($Z_i \min$), а с наименьшим предельным размером - максимальный припуск ($Z_i \max$). Поэтому для таких случаев получают следующие зависимости:

для асимметричных припусков

$$Z_i \min = L_i \max - L(i-1) \max;$$

$$Z_i \max = L_i \min - L(i-1) \min;$$

$$Z_i \max = Z_i \min + T L(i-1) - T L_i.$$

для симметричных припусков

$$2Z_i \min = D_i \max - D(i-1) \max;$$

$$2Z_i \max = D_i \min - D(i-1) \min;$$

$$Z_i \max = 2Z_i \min + T D(i-1) - T D_i.$$

Допуск на припуск определяется как разность между наибольшими и наименьшими значениями припуска:

$$TZ = Z_{\max} - Z_{\min};$$

$$TZ_i = T L_{i-1} - T L_i;$$

$$T Z_D = T D_{i-1} - T D_i;$$

$$T Z_D = T d_{i-1} - T d_i.$$

Расчет минимальных промежуточных припусков на обработку производят для определения расчетных размеров обрабатываемой поверхности по всем технологическим переходам от готовой детали до исходной заготовки. Расчетные формулы для этой цели определяют из зависимостей (9.1) - (9.4):

для наружных поверхностей

$$L(i-1) \min = L_i \min + Z_i \min; \quad (9.13)$$

$$L(i-1) \max = L(i-1) \min + T L_{i-1}; \quad (9.14)$$

$$d(i-1) \min = d_i \min + 2Z_i \min; \quad (9.15)$$

$$d(i-1) \max = d(i-1) \min + T d_{i-1}; \quad (9.16)$$

для внутренних поверхностей

$$L(i-1) \max = L_i \max + Z_i \min; \quad (9.17)$$

$$L(i-1) \min = L(i-1) \max + T L_{i-1}; \quad (9.18)$$

$$D(i-1) \max = D_i \max + 2Z_i \min; \quad (9.19)$$

$$D(i-1) \min = D(i-1) \max + T D_{i-1}. \quad (9.20)$$

Имея расчетные формулы (9.13 - 9.18) и заданные чертежом предельные размеры рассматриваемой поверхности, можно определить предельные размеры по всем технологическим переходам при обработке этой поверхности, включая размеры исходной заготовки.

Схема образования промежуточных размеров наружной цилиндрической поверхности при ее обработке черновым, чистовым и тонким точением приведена на рис. 9.7, где приняты следующие обозначения:

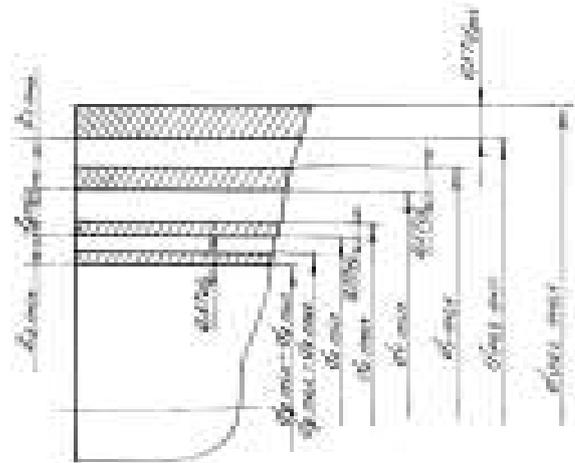


Рис.9.7. Схема расположения промежуточных припусков и допусков

$d \min = d_3 \min$; $d \max = d_3 \max$ – предельные размеры поверхности, заданные чертежом (они должны быть обеспечены при выполнении третьей операции тонким точением);

$2Z_3 \min$ – минимальный припуск на выполнение третьей операции определяется по формуле (9.12).

По формулам (9.13) и (9.14) рассчитывают предельные размеры поверхности после выполнения второй операции (чистовой обработки):

$$d_2 \min = d_3 \min + 2Z_3 \min;$$

$$d_2 \max = d_2 \min + T d_2.$$

Аналогично определяют размеры после черновой обработки:

$$d_1 \min \text{ и } d_1 \max; (d_{\text{зар}}) \min \text{ и } (d_{\text{зар}}) \max;$$

$$(d_{\text{зар}}) \min = d_1 \min + 2Z_1 \min;$$

$$(d_{\text{зар}}) \max = (d_{\text{зар}}) \min + T d_{\text{зар}}.$$

Рассмотренная схема образования промежуточ-

ных размеров справедлива для тех случаев, когда промежуточный припуск снимается за один рабочий ход при обработке на предварительно настроенных станках.

В тех случаях, когда обработка поверхности выполняется по методу последовательного приближения к заданному размеру (шлифование, хонингование, притирка и некоторые другие методы), схема образования промежуточных размеров несколько изменяется.

Если, например, схема обработки наружной цилиндрической поверхности предусматривает черновое и чистовое точение, а затем шлифование, то на последних рабочих ходах шлифования упругие деформации технологической системы будут незначительны и практически не принимаются во внимание. При такой обработке рабочий стремится закончить выполнение операции, когда действительный размер детали достигнет предельного значения соответствующего началу поля допуска ($d_3 \max = d \max$).

Следовательно, для рассмотренной схемы минимальный припуск отсчитывается от этого предельного размера ($Z_3 \min = d_2 \min - d \max$). По такой схеме рассматривается расчет припусков в некоторых источниках, например, в / 30 /.

Обработка заготовок методом индивидуального получения предельных размеров распространена в единичном производстве, в частности, в тяжелом машиностроении. Минимальный припуск при этом методе определяют также по формулам (9.10 - 9.12). Однако следует учитывать характерные особенности изготовления заготовок в единичном производстве, например то, что установка заготовки на станке осуществляется путем индивидуальной выверки. Поэтому в указанных формулах погрешность установки заменяют погрешностью выверки (Δ_B); она зависит от метода выверки.

В ряде случаев производится механическая обработка поверхностей заготовок сборочной единицы (например, обработка отверстий в корпусе редуктора). При такой обработке в расчетах минимального припуска необходимо учитывать относительные смещения деталей и другие относительные погрешности.

Порядок определения припусков расчетно-аналитическим методом, а также необходимые нормативные данные, которые используются при этом в справочной литературе по технологии машиностроения / 21 / и др.

В необходимых случаях, продиктованных конкретными условиями, общий припуск на механическую обработку целесообразно перераспределять, придерживаясь следующих рекомендаций:

1. 60 % суммарного припуска отводится для черновой, а остальная часть (40 %) – для чистовой обработки;

2. При черновой, получистовой и чистовой обработке общий припуск подразделяется соответственно – 45 %, 30 % и 25 %.

Следует отметить, что дальнейшим развитием расчетно-аналитического метода является вероятно-статистический метод, основные положения которого изложены в источнике / 31 /.

9.4. Краткие сведения о выборе способов получения заготовок

Одним из этапов разработки технологического процесса является выбор исходной заготовки и способа ее изготовления. В некоторых случаях решение этого вопроса предопределено рабочим чертежом детали. Размеры заготовки определяются по результатам расчета припусков на механическую обработку.

Основными способами получения заготовок является литье, обработка давлением, комбинированные способы. Детали изготавливаются также из сортового и фасонного проката. Получают распространение специальные способы получения заготовок.

Оптимальный вариант при выборе заготовки для изготовления конкретной детали определяется тщательным сравнительным технико-экономическим анализом, который необходимо провести для этой детали, изготавливаемой из определенного сплава, в определенных условиях производства / 1 /.

Вопросам производства заготовок в машиностроении посвящена специальная научно-техническая литература / 1, 27 и др. /.

Рассмотрим лишь общие краткие сведения о способах получения заготовок, позволяющих добиться снижения себестоимости изготовления деталей машин.

Чтобы приблизительно представить объем металлических отходов, можно привести такой пример. В бывшем СССР ежегодно более 5 млн тонн металла шло в стружку. Одновременно следует заметить, что образование каждой тонны стружки сопровождается расходом электроэнергии 430 кВт и работой металлорежущих станков в течение 140 часов. Это очень большие потери, но они неизбежны, так как современные требования к точности и качеству обрабатываемых поверхностей деталей машин, в основном, обеспечиваются обработкой металлов резанием. Практика машиностроительной технологии красноречиво свидетельствует о том, что только в одном случае из ста металлическая деталь может быть изготовлена без отходов в виде стружки. Неслучайно поэтому коэффициент использования металла в машиностроении не высок и составляет в среднем, примерно, 0,7; он несколько выше в крупносерийном и массовом производстве (0,85) и ниже – в единичном (0,5 - 0,6), / 21 /.

Большие потери металла вызывают необходимость создания технологических процессов, обеспечивающих наибольшее приближение формы и размеров заготовок к готовым деталям, то есть обеспечивающих получение заготовок, поверхности которых не требуют дальнейшей обработки или имеют минимальные припуски на последующую обработку резанием. К таким технологическим процессам относятся:

- точные специальные виды литья – в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, в металлические модели (кокиль), под давлением и ее разновидность – штамповка жидкого металла, центробежное литье;

- обработка металлов давлением – различные способы прокатки, горячая объемная штамповка и ее разновидности; плоскостная, объемная и комбинированная калибровка;

- листовая штамповка;
- порошковая металлургия;
- сварка для получения комбинированных заготовок;
- штамповка взрывом, штамповка выдавливанием в разъемных матрицах, изотермическая штамповка и т. п.

Применение литья в оболочковые формы вместо литья в песчаные формы повышает коэффициент использования металла до 0,8-0,85, обеспечивает параметр шероховатости поверхности $Rz = 20 \dots 160$ мкм и точность размеров, соответствующих 14-15-му качеству.

Параметр шероховатости поверхностей, полученных литьем под давлением, $Rz = 20 \dots 40$ мкм, а точность их размеров соответствует 12-му качеству. При тщательной доводке форм точность увеличивается и соответствует 10-11-му качеству. У таких заготовок, как правило, обработке резанием подвергаются лишь сопрягаемые поверхности.

Применяя в качестве предварительной зубообрабатывающей операции горячее накатывание, при обработке зубчатого венца можно сократить отходы металла до 40 %, повысить производительность обработки.

Деталепрокатные станки, разработанные во Всесоюзном научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте металлургического оборудования (ВНИИМЕТМАШ), могут изготавливать заготовки различных деталей (валов, осей, зубчатых колес, втулок, сверл) с большой производительностью и с незначительными отходами металла (2-3% вместо 27-28%).

Расчеты, проведенные на основе практических данных, показывают, что перевод каждого миллиона тонн проката черных металлов с обработки резанием на обработку пластическим деформированием и сваркой обеспечит экономию металлопроката в 250 тыс. тонн, при этом повышается производительность труда, сокращается 15 тыс. металлорежущих станков и более 20 тыс. рабочих.

Комбинированные сварные заготовки (листочварные, сварно-литые, штамповано-сварные, сварно-комбинированные) позволяют значительно сократить трудоемкость изготовления деталей и сборочных единиц. Достаточно отметить, что замена литых деталей сварными конструкциями может дать экономию металла до 30 %.

При порошковой металлургии исходное сырье в виде порошка прессуется или формируется в заготовку (или готовую деталь) заданных размеров и подвергается термической обработке (спеканию). Этот метод обеспечивает такие точность размеров поверхностей и их шероховатость, которые позволяют исключить механическую обработку. Если она все же необходима, то объем ее очень мал. Рассмотренная технология позволяет повысить производительность обработки в десять раз, сократить отходы производства: изготовление десяти тысяч тонн изделий (заготовок, деталей) из железного порошка высвобождает две тысячи рабочих, тысячу металлорежущих станков, экономит 20 тыс. тонн стального проката и сберегает 15 млн рублей. Порошковая металлургия позволяет также получать материалы с уникальными свойствами –

жаропрочные, коррозионно-стойкие, с повышенными фрикционными качествами.

В настоящее время проводятся большие работы по изысканию новых методов обработки, направленных на повышение качества металла, поиску новых материалов. Наряду с металлическими сплавами в современном машиностроении большое распространение получили полимерные и композиционные материалы.

В машиностроении достаточно широко используют разнообразные пластмассы, что позволяет экономить черные, цветные и легированные сплавы, приводит к снижению массы машины, сокращению трудоемкости их изготовления. Получают распространение и композиционные материалы (композиты), которые состоят из металлической или неметаллической основы (матрицы) и армирующего упрочнителя, распределение которого задано соответствующим образом. Одними из первых композитных материалов стали железобетон, текстолит и стеклопластик. В практику внедряются все новые и новые армирующие волокна графита (углеродные), бора, сапфира, карбидов и нитридов легких элементов. Прочность соответствующих композитов превышает прочность сталей на целый порядок; они обладают также достаточно большой жесткостью.

Композиты пока еще дороги, но принимаются соответствующие меры по снижению их стоимости. Они используются в авиационной и космической технике, начинают применяться и в других отраслях машиностроения.

ГЛАВА X

ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ

10.1. Общие положения

Техническое нормирование устанавливает технически обоснованную норму расхода производственных ресурсов – рабочего времени, энергии, сырья, материалов, инструментов и т.д. (ГОСТ 3.1109-82).

Нормой времени называют регламентированное время выполнения некоторого объема работ в определенных производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации.

Обычно за единицу объема работ, на который устанавливается норма времени, принимают операцию.

Под нормой выработки понимают регламентированный объем работы, который должен быть выполнен в единицу времени в определенных организационно-технических условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации:

$$N_{\text{выр}} = \frac{T}{t},$$

где $N_{\text{выр}}$ – норма выработки (в штуках, тоннах, метрах и т.п.); T – время, на которое рассчитывают норму выработки (час, смена, месяц); t – норма времени ($t_{\text{шт}}$ или $t_{\text{шт.к}}$).

В зависимости от методов разработки **нормы затрат труда** подразделяются на **технически обоснованные** и **опытно-статистические**.

Опытно-статистические нормы затрат труда устанавливаются на операцию не в результате расчета и анализа ее отдельных элементов и характеристик, а на основе опыта нормировщика и статистических данных о фактических затратах времени на аналогичные работы, выполненные ранее.

Опытно-статистические нормы применяют в условиях единичного и мелкосерийного производства. Они ориентированы на уже сложившиеся организационно-технические условия со всеми существующими недостатками. Следовательно, они не способствуют совершенствованию технологического процесса, улучшению организации труда и росту производительности труда.

Технически обоснованная норма времени выполнения технологической операции устанавливается инженерно-экономическими расчетами. При этих расчетах учитывают рациональные организационно-технические условия и эффективное использование средств технического оснащения и самого труда.

Для определения технически обоснованной нормы времени используют аналитический метод нормирования, разновидностями которого являются дифференцированный и укрупненный методы.

При дифференцированном методе операцию разделяют на отдельные элементы. Затем по каждому выделенному элементу операции рассчитывают необ-

ходимые затраты времени, которые затем суммируют.

Аналитический дифференцированный метод может быть аналитически-расчетным и аналитически-исследовательским.

При аналитически-расчетном методе продолжительность основного машинного и машинно-ручного времени определяют расчетом в зависимости от режимов работы и необходимой расчетной длины обрабатываемой поверхности.

Режимы работы определяются по соответствующим нормативам или определяются расчетным путем.

Необходимые затраты основного ручного, вспомогательного и подготовительно-заключительного времени, времени обслуживания рабочего места, времени на личные потребности определяются по нормативам времени. Нормативы времени разрабатываются на базе изучения и научного анализа трудовых процессов и режимов работы оборудования передовых предприятий. Нормативы могут быть межотраслевыми (общепромышленными), отраслевыми и местными (заводскими).

Аналитически-исследовательский метод предусматривает использование данных изучения, измерения затрат рабочего времени непосредственно на рабочих местах с помощью фотографии рабочего времени, хронометража и фотохронометража.

Обработанные и обобщенные данные используются для определения продолжительности машинно-ручных и ручных элементов основного и вспомогательного времени, величины подготовительно-заключительного времени и времени на обслуживание рабочего места. Время на личные потребности устанавливается на основе специальных исследований или определяется по нормативам. Машинное время определяется расчетным путем в зависимости от работы оборудования и необходимой длины обработки.

Аналитически-расчетный метод нормирования труда менее трудоемок по сравнению с аналитически-исследовательским. Нетрудно, однако, заметить, что точность расчетного метода ниже, так как нормативы времени не могут полностью учитывать организационно-технические условия и все особенности выполнения конкретной операции.

Поэтому в условиях крупносерийного и массового производства в начале освоения технологического процесса нормы времени устанавливают на основе аналитически-расчетного метода. Затем, при необходимости, производится уточнение и корректировка норм на основе аналогически-исследовательского метода.

Аналитический укрупненный метод нормирования позволяет в значительной мере сократить объемы работ по нормированию труда.

Наибольшее распространение получили следующие разновидности аналитического укрупненного метода:

I. Нормирование, основанное на разделении операции на укрупненные части; при этом разрабатывают укрупненные нормативы времени на комплексы приемов.

II. Нормирование по нормативам времени на выполнение отдельных технологических переходов, об-

работку поверхностей или комплексов поверхностей. В данном случае можно использовать следующие нормативы:

- нормативы на единицу длины обрабатываемой поверхности, где имеются таблицы основного времени на 100 мм длины обработки и вспомогательного времени, связанного с переходом; отдельно приводятся нормативы вспомогательного времени на установку и снятие детали;

- нормативы неполного штучного времени на станочные работы (обработку поверхности); в неполное штучное время на выполнение отдельных переходов или на полную обработку поверхностей включается основное время, в зависимости от режимов обработки и обрабатываемой длины, вспомогательное время (связанное с выполнением перехода, изменением режимов работы, сменой инструмента, пробными измерениями); время на обслуживание рабочего места и личные потребности; как и в первом способе отдельно приводятся нормативы вспомогательного времени на установку и снятие детали.

III. Нормирование по типовым нормам времени; при этом разрабатывают типовой технологический процесс, общий для группы сходных по конструкции деталей; на операции типового технологического процесса аналитически-расчетным методом устанавливают типовые нормы времени.

При изучении затрат рабочего времени используются следующие методы: фотография рабочего времени, хронометраж и фотохронометраж.

При фотографии рабочего времени его затраты изучаются путем наблюдения с последующими замерами их по видам на протяжении одной или нескольких смен; иногда фотография рабочего времени проводится лишь в некоторой части рабочего дня. При этом методе главное внимание уделяется выявлению потерь рабочего времени, а также изучению затрат подготовительно-заключительного времени, времени обслуживания рабочего места и времени, необходимого на отдых.

При помощи хронометража изучаются затраты времени на выполнение циклически повторяющихся ручных и машинно-ручных элементов операции. Хронометраж применяется для проектирования рационального состава и структуры операции, установления их нормальной продолжительности и разработки на этой основе нормативов, которые используются при расчете технически обоснованных норм времени, при изучении передовых методов работы с целью их распространения.

Фотохронометраж относится к комбинированному методу изучения затрат рабочего времени наблюдением, при котором фиксируются одновременно все затраты рабочего времени в течение смены. Фотохронометраж применяется для изучения затрат времени в тех же случаях, что и фотография рабочего времени и хронометраж.

10.2. Структура технически обоснованной нормы времени

Норма штучного времени – это норма времени на выполнение объема работы, равной единице нормирования, при выполнении технологической операции.

Единица нормирования определяется количеством производственных объектов или числа работающих, на которое устанавливается техническая норма.

Под технической нормой понимается:

- количество деталей, на которое устанавливается норма времени;
- количество изделий, на которое устанавливается норма расхода материала;
- число рабочих, на которое устанавливается норма выработки и т.д.

Для неавтоматизированного производства норма штучного времени устанавливается как сумма времен:

$$t_{шт} = t_o + t_b + t_{об} + t_{лп}, \quad (10.1)$$

где t_o – основное (технологическое) время; t_b – вспомогательное время; $t_{об}$ – время обслуживания рабочего места; $t_{лп}$ – время на личные потребности.

Сумму основного и вспомогательного времени называют оперативным временем ($t_{оп}$):

$$t_{оп} = t_o + t_b. \quad (10.2)$$

При изготовлении деталей и изделий партиями, кроме нормы штучного времени, устанавливается норма подготовительно-заключительного времени на эту партию ($t_{пз}$).

Штучно-калькуляционное время ($t_{шт-к}$) определяется как сумма штучного ($t_{шт}$) и подготовительно-заключительного времени ($t_{пз}$), отнесенного к одной детали:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + \frac{t_{пз}}{n_d}, \quad (10.3)$$

где n_d – число деталей в партии.

Основное (технологическое) время (t_o) – часть штучного времени, затрачиваемого на изменение и (или) последующее определение состояния предмета труда; основное время может быть машинным, машинно-ручным и ручным.

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

$$t_o = \frac{l_i}{V_s}, \quad (10.4)$$

где l – расчетная длина обработки (расчетная длина хода инструмента или заготовки в направлении подачи, мм); i – число рабочих ходов; V_s – скорость движения подачи, мм/мин.

Скорость движения подачи определяется как произведение частоты вращения шпинделя (n мин⁻¹) на подачу за один оборот (S_o мм/об); $V_s = n \cdot S_o$.

Величины n и S_o определяются по нормативам или расчетным путем. Расчетная длина обработки в общем случае будет иметь следующее выражение (рис.10.1)

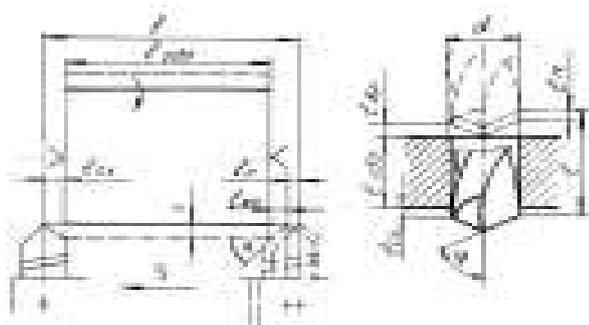


Рис.10.1. Схема для определения расчетной длины обработки

$$l = l_{\text{обр}} + l_{\text{вр}} + l_{\text{п}} + l_{\text{сх}} + l_{\text{стр}}, \quad (10.5)$$

где $l_{\text{обр}}$ – длина обрабатываемой поверхности в направлении подачи, мм; $l_{\text{вр}}$ – длина врезания инструмента, мм; $l_{\text{п}}$ – длина подвода инструмента к заготовке, мм; $l_{\text{сх}}$ – длина перебега (схода) инструмента, мм; $l_{\text{стр}}$ – общая длина рабочих ходов при взятии пробных стружек, мм (если это предусматривается).

Длина ($l_{\text{обр}}$) берется из чертежа обрабатываемой заготовки; значения $l_{\text{вр}}$, $l_{\text{п}}$, $l_{\text{сх}}$, $l_{\text{стр}}$ определяются по нормативам ($l_{\text{п}}$ и $l_{\text{сх}}$ примерно равны 1-2 мм).

Значение $l_{\text{вр}}$ можно определить расчетным путем (рис.10.1). Например, при точении - $l_{\text{вр}} = t \cdot \text{ctg}(\varphi)$, где t – глубина резания.

Формула (10.4) является общей формулой для всех видов станочных работ. Однако в зависимости от типа станка и конкретного вида работы могут быть свои особенности.

Вспомогательное время ($t_{\text{в}}$) – часть штучного времени, затрачиваемого на выполнение приемов, необходимых для обеспечения изменения и последующего определения состояния предмета труда.

Нормирование вспомогательного времени производят с помощью нормативов времени с различной степенью их укрупнения. В качестве примера можно привести комплексы приемов определения вспомогательного времени при работе на токарном станке в серийном производстве:

- время на установку и снятие детали;
- время, связанное с выполнением перехода (подвода инструмента к детали, установки инструмента на размер, включения вращения шпинделя и подачи, отвода инструмента, измерения детали при взятии пробной стружки и т.д.);
- время, связанное с изменением режима работы станка и сменой инструмента;
- время на контрольные измерения.

Вспомогательное время может быть перекрываемым и неперекрываемым. *Перекрываемое время* – время выполнения рабочим тех приемов, которые осуществляются в период автоматической работы оборудования. Это время в норму штучного времени не включается.

Неперекрываемое время – время выполнения рабочим приемов при остановленном оборудовании и время на машинно-ручные приемы.

Вспомогательное время может составлять до 20-35 % от штучного времени. Поэтому при проектировании технологических процессов следует тщательно выполнять возможные пути сокращения этого времени.

Время обслуживания рабочего момента ($t_{\text{об}}$) – часть штучного времени, затрачиваемая исполнителем на поддержание средств технологического оснащения в работоспособном состоянии и уход за ними и рабочим местом.

Обслуживание рабочего места подразделяют на организационное и техническое.

Затраты времени на техническое обслуживание ($t_{\text{т}}$) предусматривают выполнение работ на смену затупившегося инструмента, на регулировку и подналадку станка и другие.

Время на организационное обслуживание ($t_{\text{орг}}$) состоит из затрат времени по уходу за рабочим местом – опробование и осмотр оборудования, раскладка инструмента в начале и его уборка в конце смены, получение инструмента в течение смены от мастера или бригадира, чистка и смазывание оборудования в течение смены, уборка рабочего места и т.п.

Время организационного обслуживания устанавливают по нормативам времени в процентах от оперативного времени (до 4-8 %).

В массовом и крупносерийном производстве время технического и организационного обслуживания нормируют отдельно, причем время ($t_{\text{т}}$) определяют в процентах от основного времени.

Время на личные потребности ($t_{\text{лн}}$) – часть штучного времени, затрачиваемая человеком на личные потребности и, при утомительных работах, на дополнительный отдых. Это время определяется в процентах от оперативного времени; для механических цехов, примерно, составляет 2,5 %.

Подготовительно-заключительное время ($t_{\text{пз}}$) – интервал времени, затрачиваемый на подготовку исполнителя или исполнителей и средств технологического оснащения к выполнению технологической операции и приведению последних в порядок после окончания смены и (или) выполнения этой операции для партии предметов труда. Это время определяют по нормативам времени, в которые входят наладка средств технологического оснащения; ознакомление с работой (чертеж, карта технологического процесса, инструкции); получение материалов, инструментов и т.д.; после окончания обработки партии заготовок – сдача изготовленных деталей, снятие со станка технологической оснастки, приведение в рабочее состояние оборудования и т.д.

В некоторых случаях в формулу (10.1) вводится время неустраимых перерывов ($t_{\text{пр}}$). Оно предусмотрено технологическим процессом и организацией производства, его определяют в каждом конкретном случае. Неустраимые перерывы могут иметь место, например, в поточном производстве вследствие разной производительности смежных рабочих мест.

К технико-экономическим показателям оценки эффективности изготовления изделий относится тру-

доемкость. Трудоемкостью называют количество времени, затраченное человеком на технологический процесс изготовления единицы продукции (деталь, сборочная единица, изделие). Единицей измерения трудоемкости является человеко-час.

Станкоемкостью называют время, в течение которого станок или несколько станков заняты выполнением отдельных или всех операций по обработке заготовок. Единицей измерения станкоемкости является станко-час. Станкоемкость служит для расчета числа станков, необходимого для выполнения одной или нескольких операций или всех операций обработки.

При выполнении станочных операций нередко используют многоинструментную обработку. Она характеризуется тем, что поверхности заготовки обрабатываются параллельно, параллельно-последовательно или последовательно при постоянной установке заготовки (заготовок) и неизменном положении инструмента (инструментов), которое обеспечивается специальной настройкой.

Режимы обработки в этом случае устанавливаются по специальным нормативам или на основании расчета по определенной методике.

Структура нормы штучного времени определяется зависимостью (10.1).

Основное (машинное) время рассчитывают по формуле (10.4) для каждого суппорта. Общее же основное время ($t_{\text{общ}}$) определяется в зависимости от схемы обработки.

При последовательной обработке:

$$t_{\text{о.общ}} = \sum_{i=1}^h t_{\text{о.с.}}^{\text{посл.}}, \quad (10.6)$$

где h – число суппортов или число последовательно работающих инструментов; $t_{\text{о.с.}}^{\text{посл.}}$ – основное (машинное) время для каждого суппорта или каждого инструмента.

При параллельной обработке:

$$t_{\text{о.общ}} = t_{\text{о.с.макс}}^{\text{пар}}, \quad (10.7)$$

где $t_{\text{о.с.макс}}^{\text{пар}}$ – наибольшее основное время одного из суппортов или одного из инструментов.

При параллельно-последовательной обработке:

$$t_{\text{о.общ}} = \sum_{i=1}^h t_{\text{о.с.}}^{\text{посл.}} + t_{\text{о.с.макс}}^{\text{пар}}. \quad (10.8)$$

Методы определения других составляющих нормы штучного времени для многоинструментной обработки те же, что и для методов обработки одним инструментом.

В мелко- и среднесерийном производстве находят все большее распространение станки с ЧПУ. Имеются специальные нормативы, по которым устанавливают режимы резания и определяются отдельные элементы нормы штучного времени при работе на этих станках.

Время обслуживания и время на личные потребности определяют в сумме (K) по нормативам в процентах от оперативного времени.

По нормативам определяют также вспомогательное время на выполнение отдельных приемов – установку и снятие заготовки ($t_{\text{в.у}}$), контрольные измерения ($t_{\text{в.и}}$), работы и команды, связанные с выполнением операции ($t_{\text{в.он}}$).

Время выполнения ручной вспомогательной работы ($t_{\text{в.р}}$), не перекрываемое временем автоматической работы станка, будет равно:

$$t_{\text{в.р}} = t_{\text{в.у}} + t_{\text{в.и}} + t_{\text{в.он}}. \quad (10.9)$$

Время (t_a) автоматической работы станка по программе учитывает два элемента:

$$t_a = t_{\text{о.а}} + t_{\text{в.а}}, \quad (10.10)$$

где $t_{\text{о.а}}$ – основное программное время; $t_{\text{в.а}}$ – вспомогательное программное время

$$t_{\text{о.а}} = \sum_{i=1}^m \frac{l_i}{V_{si}}, \quad (10.11)$$

где m – число участков обработки; l_i и V_{si} – соответственно, расчетная длина обработки и скорость движения подачи на i -м участке.

$$t_{\text{в.а}} = t_x + t_{\text{ост}}, \quad (10.12)$$

где t_x – время автоматической вспомогательной работы; $t_{\text{ост}}$ – время технологических остановок – остановок вращения шпинделя и подачи для проверки размеров, осмотра или смены инструмента и т. п.

Норма штучного времени

$$t_{\text{шт}} = (t_a + t_{\text{в.р}} K_{\text{т.в.}}) \cdot \left(1 + \frac{K}{100}\right), \quad (10.13)$$

где $K_{\text{т.в.}}$ – поправочный коэффициент на время ручной вспомогательной работы, учитывающий размер партии; K – суммарное время на обслуживание рабочего места, на отдых и личные надобности, в процентах от оперативного времени.

Использование станков с ЧПУ открывает широкие возможности для многостаночной работы. В источниках / 10, 17 / подробно рассмотрены вопросы нормирования станочных операций, в том числе при многостаночной работе и особенности нормирования труда в гибких производственных системах.

10.3. Определение квалификации работы

При нормировании станочных операций определяется также квалификация выполняемой работы по тарифно-квалификационному справочнику – нормативному документу, разработанному на научной основе.

В нем даны тарифно-квалификационные характеристики для всех профессий. Эти характеристики определяют производственно-технические условия труда, объем и уровень необходимых профессиональных знаний. В справочнике приводятся примеры работ, типичные для каждого разряда профессии. Справочник является основой для установления разряда работ и присвоения квалификации рабочему.

Тарифная сетка создается для дифференциации уровня оплаты труда по разрядам. Она представляет собой совокупность действующих тарифных разрядов и соответствующих им размеров заработной платы за единицу времени (час), то есть тарифных сеток.

ГЛАВА XI

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИН

11.1. Основные принципы технологической классификации деталей

Конструкторско-технологическое подобие деталей определяется совокупностью признаков.

При классификации деталей по конструктивным характеристикам берут за основу следующие основные признаки: геометрическую форму; функциональный, параметрический, конструктивный признаки; служебное назначение, наименование.

В соответствии с ЕСКД на все детали машиностроения и приборостроения установлены шесть классов: 71, 72, 73, 74, 75, 76.

Основным признаком деления (кроме класса 76) является геометрическая форма. **Классы деталей** содержат следующую номенклатуру:

- **класс 71** – тела вращения типа колец, дисков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, штоков и др. В этом классе классифицируются детали – тела вращения, которые делятся на три диапазона по соотношению длины детали L к наибольшему наружному диаметру D ; с $L \leq 0,5D$; $0,5D < L < 2D$ и с $L > 2D$.

Параметрический признак, характеризующий отношение L/D , позволяет детали типа дисков, колец, фланцев, шкивов отделить от деталей типа втулок, стаканов, пальцев и деталей типа валов, шпинделей, осей штоков и т.п.

- **класс 72** – тела вращения с элементами зубчатого зацепления; трубы, шланги, сегменты и т.п.; изогнутые из листов, полос и лент; аэрогидродинамические, корпусные, опорные, емкостные; подшипников.

- **класс 73** – тела вращения; корпусные, опорные, емкостные.

- **класс 74** – не тела вращения; плоскостные, рычажные, грузовые, тяговые, аэрогидродинамические, изогнутые из листов, полос, лент; профильные и т.п.

- **класс 75** – тела вращения и (или) не тела вращения; кулачковые, карданные; с элементами зацепления, арматура; санитарно-технические, пружинные, ручки, крепежные и др.

- **класс 76** – детали технологической оснастки, выполняющие самостоятельные функции (сверла, метчики, пластины режущие, матрицы, пуансоны и т.д.).

Представители деталей перечисленных классов представлены на рис. 11.1.

В пределах одного класса детали подразделяются на подклассы, группы, подгруппы и виды.

Технологическая классификация деталей машиностроения и приборостроения при неизменных основных принципах ее построения охватывает детали всех отраслей промышленности основного и вспомогательного производства и является логическим продолжением и дополнением перечисленных выше классов деталей классификатора ЕСКД / 14 /.

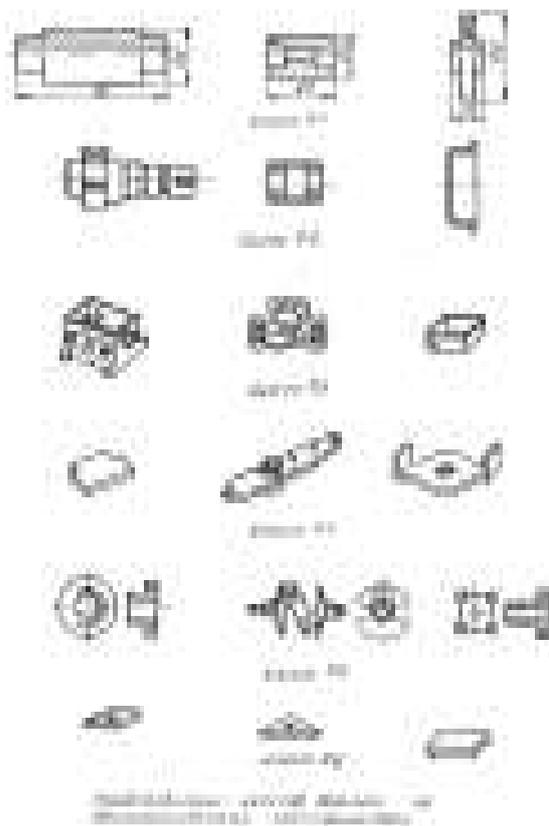


Рис.11.1. Представители классов деталей по ЕСКД

В основу технологической классификации положены следующие основные признаки классификации деталей / 14, 32 /: размерная характеристика, группа материала, вид деталей по технологическому методу изготовления, вид исходной заготовки, качество, параметр шероховатости, технологические требования, характеристика термической обработки, толщина и поверхность покрытия, характеристика толщины, площадь формирования, дополнительная характеристика, характеристика массы и др.

Технологический классификатор / 14, 30, 32 / составлен по целому ряду видов деталей по методу изготовления кодируемых в следующем порядке:

- 1 – детали, изготовленные литьем;
- 2 – детали, изготавливаемые ковкой и объемной штамповкой;
- 3 – детали, получаемые листовой штамповкой;
- 4 – детали, обрабатываемые резанием;
- 5 – детали, подвергаемые термической обработке;
- 6 – детали, изготавливаемые формообразованием из полимерных материалов и резины;
- 7 – детали с покрытием;
- 8 – детали, подвергнутые электро-физико-химической обработке;
- 9 – детали, изготавливаемые порошковой металлургией.

Коды деталей по технологическому классификатору вместе с кодами деталей по классификатору ЕСКД являются исходной информацией, которая используется предприятиями на стадиях конструкторской и технологической подготовки производства.

Детали кодируют буквенно-цифровым алфавитом кода / 14, 30, 32 /. В структуре кода за каждым при-

знаком закрепляют определенный разряд (позицию) и число знаков. Система буквенно-цифрового кодирования, как правило, однозначная. Она включает цифры от 0 до 9 и прописные буквы русского алфавита от А до Я, кроме буквы З.

Структура обозначения детали установлена ГОСТ 2.201-80 и состоит из:

$$\frac{\text{XXXX}}{\text{I}} \quad \frac{\text{XXXXXXXX}}{\text{II}} \quad \frac{\text{XXX}}{\text{III}}$$

I – код организации разработчика; *например*, АБВГ;

II – код классификационной характеристики по ЕСКД;

III – порядковый регистрационный номер; *например*, 033.

Структура кода классификационной характеристики по классификатору ЕСКД состоит из 6 знаков.

$$\frac{\text{XX}}{\text{IV}} \quad \frac{\text{X}}{\text{V}} \quad \frac{\text{X}}{\text{VI}} \quad \frac{\text{X}}{\text{VII}} \quad \frac{\text{X}}{\text{VIII}}$$

IV – класс, V – подкласс, VI – группа, VII – подгруппа, VIII – вид.

Технологическое кодовое обозначение деталей имеет длину – четырнадцать знаков. Оно состоит из двух частей: кодовое обозначение классификационных характеристик группировок основных признаков (постоянная часть) – шесть знаков и кодовое обозначение, характеризующее вид детали по методу ее изготовления (переменная часть) – восемь знаков.

$$\frac{\text{XXXXXXXX}}{\text{IX}} \quad \frac{\text{XXXXXXXX}}{\text{X}}$$

IX – код группировок основных признаков;

X – вид признаков, характеризующих вид детали по технологическому методу изготовления.

Структура кода группировок основных признаков

$$\frac{\text{XXX}}{\text{XI}} \quad \frac{\text{XX}}{\text{XII}} \quad \frac{\text{X}}{\text{XIII}}$$

XI – размерная характеристика;

XII – группа материала;

XIII – вид детали по технологическому методу изготовления.

Структура кода признаков, характеризующих вид детали по технологическому методу изготовления:

$$\frac{\text{XX}}{\text{XIV}} \quad \frac{\text{XX}}{\text{XV}} \quad \frac{\text{X}}{\text{XVI}} \quad \frac{\text{X}}{\text{XVII}} \quad \frac{\text{X}}{\text{XVIII}} \quad \frac{\text{X}}{\text{XIX}}$$

XIV – вид исходной заготовки;

XV – качество;

XVI – параметр шероховатости поверхности или отклонения формы и расположения поверхности;

XVII – характеристика технических требований;

XVIII – вид дополнительной обработки;

XIX – характеристики массы.

Структура конструкторско-технологического кода детали, состоящего из кода классификационной характеристики по ЕСКД и технологического кода, имеет вид:

$$\frac{\text{XXXXXXXX}}{\text{II}} \quad \frac{\text{XXXXXXXX}}{\text{IX}} \quad \frac{\text{XXXXXXXXXX}}{\text{X}}$$

Структура полного конструкторско-технологического кода детали, состоящего из обозначения детали по ГОСТ 2.201.80 и технологического кода, обозначается видом

I	II	III	IX	X
XXXX	XXXXXX	XXX	XXXXXXXX	XXXXXXXXXX
Обозначение детали по ГОСТ 2.201-80			Технологический код детали	

Примеры формирования конструкторско-технологического кода детали приводятся в литературе по технологии машиностроения, например / 30, 32 и др. /.

Технологическая классификация создает предпосылки для решения следующих основных задач: анализа номенклатуры деталей по их конструкторско-технологическим характеристикам; группирования деталей по конструкторско-технологическому подобию для разработки типовых и групповых технологических процессов; повышения серийности и концентрации производства деталей; тематического поиска и заимствования ранее разработанных типовых и групповых технологических процессов.

Технологическая классификация деталей машин открывает широкие возможности по использованию систем автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления машин и внедрению автоматизированной системы технологической подготовки производства (АС ТПП).

Основной целью технологической классификации деталей является снижение трудоемкости и сокращение сроков технологической подготовки производства.

11.2. Основные понятия и общие положения

Технологические процессы разрабатываются при проектировании новых и реконструкции существующих заводов, а также при организации производства новых объектов на действующих заводах. Кроме того, корректировка или разработка новых технологических процессов имеет место на действующих заводах, которая вызывается текущими конструктивными усовершенствованиями объектов производства и необходимостью систематического использования новейших достижений науки и техники.

При проектировании новых и реконструкции существующих заводов разработанные технологические процессы являются основой всего проекта. Они определяют потребные оборудование, рабочую силу, производственные площади, технологическую оснастку (приспособления и инструмент), материалы, энергетику, транспортные средства и др. Аналогичное назначение у технологических процессов при постановке производства новых объектов на действующем заводе; при этом выявляют возможность использования имеющегося и необходимость приобретения нового технологического оборудования и оснастки.

Технологические процессы подразделяют на три вида: **единичный, типовой и групповой.**

Технологический процесс изготовления изделий одного наименования, типоразмера и исполнения не-

зависимо от типа производства относится к единичному технологическому процессу.

Технологический процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками называют *типовым технологическим процессом*.

Групповой технологический процесс – это технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

По степени детализации описание технологических процессов подразделяют на маршрутное, операционное, маршрутно-операционное.

Маршрутное описание технологического процесса заключается в сокращенном описании всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов.

Операционное описание технологического процесса характеризуется полным описанием всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов:

Маршрутно-операционным описанием технологического процесса называют сокращенное описание технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с полным описанием отдельных операций в других технологических документах.

К общим правилам разработки технологических процессов следует отнести следующие.

Разрабатываемый технологический процесс должен быть прогрессивным и обеспечивать выполнение всех требований чертежа и технических условий, повышение производительности труда и качества изделий, сокращение трудовых и материальных затрат на его реализацию, уменьшение вредных воздействий на окружающую среду. Прогрессивность технологического процесса оценивается по показателям, установленным отраслевой системой аттестации технологических процессов.

Технологический процесс разрабатывают на изготовление изделий, конструкция которых отработана на технологичность с учетом необходимости получения значений базовых показателей этой технологичности.

Технологический процесс должен соответствовать требованиям техники безопасности и промышленной санитарии, изложенным в системе стандартов безопасности труда (ССБТ), инструкциях и других нормативных документах.

Известно, что за несколько последних десятилетий в технологии производственных процессов происходят качественные изменения, которые сопровождаются ростом отрицательного воздействия на окружающую среду. Поэтому вопросы экологии должны быть в центре внимания при разработке технологических процессов.

Имеющиеся типовые или групповые технологические процессы являются основой для разработки новых технологических процессов, а в случае их от-

сутствия в качестве такой основы принимают ранее принятые прогрессивные решения в действующих единичных технологических процессах изготовления аналогичных изделий.

Для разработки технологических процессов используют исходную информацию, которую подразделяют на базовую, руководящую и справочную.

11.3. Последовательность проектирования технологических процессов изготовления машин

Вопросы проектирования технологических процессов изготовления машин изложены в учебной и научно-технической литературе / 2, 3, 6, 7, 9, 14, 21, 28, 30, 31 и др. /.

Последовательность разработки технологического процесса изготовления машины, как решение прямой (проектной) задачи, направлена от конечного результата, то есть машины в сборе, к изготовлению деталей и получению заготовок. Необходимость придерживаться такой последовательности объясняется тем, что построение технологических процессов изготовления деталей подчинено процессу сборки, а выбор способов получения заготовок и простановка размеров в их чертежах находятся в зависимости от технологического процесса изготовления деталей. Только придерживаясь такой последовательности можно обеспечить технологией формирования размерных связей в машине, диктуемых ее служебным назначением / 7 /.

Для проектирования технологического процесса изготовления машин необходимы следующие исходные материалы:

- описание машины, подлежащей изготовлению, с четким определением ее служебного назначения;
- технические требования и нормы точности, вытекающие из служебного назначения машины;
- чертежи сборочных единиц и деталей машин;
- общее количество машин, планируемых к выпуску в единицу времени (год, квартал, месяц);
- условия, в которых будет осуществляться изготовление машины (проектируемый или действующий завод, возможности использования имеющихся средств технологического оснащения, а также целесообразность приобретения или изготовления этих средств и др.);
- местонахождение завода (играет немаловажную роль в решении вопросов по специализации и кооперированию, снабжению и пр.);
- наличие и перспективы подготовки кадров;
- плановые сроки подготовки и освоения новой машины и организации ее выпуска.

Перечисленные исходные данные позволяют приступить к проектированию технологических процессов изготовления машин, которое осуществляется в следующей последовательности:

1. Изучение служебного назначения машины, технических требований, норм точности и критический анализ их соответствия служебному назначению.
2. Ознакомление с объемом выпуска машины, ее

сборочных единиц и деталей дает возможность определить тип производства.

3. Изучение рабочих чертежей машины и их критический анализ, с точки зрения возможности выполнения машиной ее служебного назначения, а также технологичности конструкции машины.

4. Проектирование технологических процессов сборки машин и ее сборочных единиц.

5. Изучение служебного назначения деталей, технических требований, норм точности и критический анализ их соответствия своему служебному назначению, а также анализ технологичности конструкции деталей.

6. Выбор наиболее экономичных способов получения заготовок.

7. Проектируется технологический процесс изготовления деталей.

8. Определение средств технологического оснащения и при необходимости оформление заказов на их проектирование и изготовление.

9. Внедрение технологических процессов изготовления машины в производство; внесение в эти процессы корректив для направления потребностей, обнаруженных во время внедрения.

В источниках / 2, 3, 7 и др. / подробно рассмотрено содержание каждой ступени изложенной последовательности.

11.4. О связях в машине и производственном процессе ее изготовления

Профессор И.М. Колесов в специальной главе источника / 7 / рассматривает вопросы связей в машине и производственном процессе.

Отмечается, что машину следует рассматривать не как механическое соединение разнообразных деталей и совокупность разрозненных, независимых друг от друга явлений, происходящих в ней, а как связное, представляющее собой единое целое. Все, что составляет машину (материалы, придаваемые им формы, размеры, относительное положение) органически связано между собой. Работа машины обеспечивается действием многочисленных связей между явлениями различного физического содержания, и только благодаря этому машина производит продукцию.

Производственный процесс реализует требуемые связи в изготавливаемой машине с помощью своих связей между объектами и явлениями, сопровождающими его.

Строение связей в производственном процессе предопределяется связями в конструкции изготавливаемой машины и экономическими соображениями, вследствие чего связи производственного процесса имеют строгую направленность и целеустремленность, находясь в зависимости от связей в конструкции изготавливаемой машины.

Таким образом, вопросы связей и связанности самих связей чрезвычайно важны в процессе создания машины, поскольку через их структуру и свойства определяются качество, себестоимость изготавливаемой машины и уровень производственного процесса / 7 /.

В различных главах источника / 7 / рассмотрены следующие вопросы:

- Построение системы множеств, включающих связи свойств материалов и размерные связи в процессе производства машин.
- Реализация размерных связей в машине в процессе сборки.
- Формирование свойств материала и размерных связей в процессе изготовления детали.
- Свойства технологической информации и информационные связи.
- Временные и экономические связи производственного процесса.

ГЛАВА XII

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

Сборка – образование соединения составных частей изделия. Соединение может быть разъемным или неразъемным. К видам соединений относятся: запрессовка, свинчивание, сварка, пайка, клепка, склеивание и т.п.

Сборка подразделяется на общую сборку, объектом которой является изделие в целом и на узловую, объектом которой является составная часть изделия, то есть сборочная единица.

По стадиям процесса различают **виды сборки:**

Предварительную – сборку заготовок составных частей или изделия в целом, которые в последующем подлежат разборке (*например*, разборка с целью определения размера компенсатора).

Промежуточную – для совместной дальнейшей обработки сборочной единицы (*например*, корпус и собранная с ним крышка растачиваются совместно по размеру диаметра подшипника).

Под сварку (может вводиться как сборочная операция в поточной линии).

Окончательную – сборку, после которой разборка не предусмотрена.

По методу образования соединений существуют **виды сборки:**

Слесарная – сборка изделия или его составной части при помощи слесарно-сборочных операций.

Монтаж – установка изделия или его составных частей в месте использования. **Электромонтаж** – монтаж электроизделий, имеющих токоведущие элементы.

Сварка, пайка, клепка, склеивание.

В зависимости от типа производства затраты времени на сборку от общей трудоемкости изготовления машин составляют, % / 9 /: в массовом и крупносерийном производствах – 25-35; в единичном и мелкосерийном – 35-40.

В зависимости от условий, типа и организации производства сборка имеет различные организационные формы. По перемещению собираемого изделия

сборку подразделяют на стационарную подвижную, по организации производства – непоточную, поточную, групповую / 14 /. Групповую сборку изделия или его составной части осуществляют в условиях групповой организации производства.

Оборудование сборочных цехов условно можно подразделить на *две группы: технологическую*, предназначенную непосредственно для выполнения работ по осуществлению различного сопряжения деталей, их регулировке и контролю в процессе узловой и общей сборки; *вспомогательную* – для механизации вспомогательных работ, объем которых достаточно большой. Удельный вес вспомогательных работ в общей трудоемкости сборки составляет 30–40 % - в серийном производстве и 10–15 % - в массовом.

Более подробно вопросы по организационным формам сборки и оборудованию сборочных цехов рассмотрены в источниках / 2, 9, 14, 18 /.

Основной и наиболее важной частью технологической подготовки сборочного производства является проектирование технологических процессов сборки.

Технологический процесс сборки представляет собой часть производственного процесса, содержащую действия по установке и образованию соединенных составных частей заготовки или изделия. Основным элементом технологического процесса является сборочная операция.

Сборочная операция – технологическая операция установки и образования соединения составных частей заготовки или изделия.

Сборочная операция состоит из технологических переходов, которые представляют собой законченную часть операции сборки, выполняемая над определенным участком сборочного соединения (узла) неизменным методом выполнения работы при использовании одних и тех же инструментов и приспособлений /9/.

Приемом (элементом) сборочного процесса *называется* отдельное законченное действие рабочего в процессе сборки (подготовки к сборке) изделия или узла /9/.

В состав технологического процесса сборки, в качестве технологических операций или переходов, включаются разнообразные сборочные работы, *например*: соединение сопрягаемых деталей посредством приведения в соприкосновение их сборочных баз; проверка точности взаимного расположения собираемых деталей и узлов и внесение, если это необходимо, соответствующих направлений путем регулировки, пригонки или подбора; фиксация положения деталей и узлов, обеспечивающего правильность выполнения или целевого назначения при работе машины. К технологическому процессу сборки относятся также операции, связанные с проверкой правильности действия отдельных механизмов, узлов и машины в целом (точность, плавность движений, бесшумность, надежность функционирования смазочной системы и т.п.). Сюда же относятся все необходимые по содержанию работы операции по очистке, промывке, окраске и отделке изделия или составляющих его сборочных соединений и деталей / 9 /.

Базовая деталь – деталь, с которой начинают сборку изделия, присоединяя к ней сборочные единицы или другие детали.

Базовая сборочная единица – сборочная единица, с которой начинают сборку изделия, присоединяя к ней детали или другие сборочные единицы.

Чтобы установить последовательность сборки машины, необходимо проанализировать ее конструкцию и выявить сборочные единицы, входящие в ее состав. В зависимости от сложности конструкции сборочные единицы подразделяют на комплекты, подузлы и узлы / 7 /.

Такая классификация приведена профессором И.М. Колесовым / 7 /. Она отличается от тех определений, которые установлены стандартами (*например*, “комплект”, “узел”).

Под комплектом понимается сборочная единица, к базовой детали которой присоединены одна или несколько других деталей.

Подузлом называется сборочная единица, на базовую деталь которой установлены несколько деталей и не менее одного комплекта.

Положив в основу дальнейшего усложнения сборочных единиц присоединение к базовой детали, как минимум, одной предшествующей сборочной единицы, получают более сложные сборочные единицы.

Узел первого порядка представляет собой базовую деталь, на которой смонтирован хотя бы один подузел, несколько комплектов и деталей.

Следующий по сложности сборочной единицы является **узел второго порядка**. На его базовой детали смонтированы один или несколько узлов первого порядка, подузлов, комплектов и деталей.

Последней наиболее сложной сборочной единицей является сама машина, на базовой детали которой смонтированы не менее чем узел высшего порядка, узлы, подузлы, комплекты и отдельные детали.

Основой любой сборочной единицы является базовая деталь. Ее функция сводится не только к соединению одних сборочных единиц и деталей к другим, но и к обеспечению их относительного положения в машине.

По данным профессора М.П. Новикова на многих машиностроительных предприятиях широко используют термины “группа” и “подгруппа” / 18 /.

Группа – сборочная единица, для которой целесообразна самостоятельная организация производства. В группу могут входить детали, другие группы и покупные изделия. Группа, в свою очередь, может входить в другую группу или непосредственно в изделие.

Подгруппа – составная часть группы. Если она входит непосредственно в группу, ее условно называют подгруппой первого порядка. Если она входит в подгруппу первого порядка, то ее именуют подгруппой второго порядка. Соответственно, могут быть подгруппы третьего и большего порядков.

Следовательно, порядок входящей подгруппы на единицу больше базовой. Таким образом, группа или подгруппа состоит из отдельных деталей или деталей и подгруппы соответствующих порядков.

Общие исходные данные, необходимые для решения задач при проектировании технологических процессов изготовления машин, были приведены в главе 11. Эти данные содержат сведения о базовой информации. Кроме базовой информации необходима руководящая

справочная информация – паспортные данные оборудования и его технологические возможности; методы сборки машин; нормативы времени; режимы обработки; стандарты на технологическую оснастку и т.д.

Обобщая материалы различных источников / 2, 7, 9, 14, 18 и др. /, можно выделить последовательность этапов при разработке технологических процессов сборки.

- В зависимости от объема выпуска устанавливается целесообразная организационная форма сборки, при необходимости определяется ее такт.

- Осуществляется анализ сборочных и рабочих чертежей деталей с позиций отработки конструкции на технологичность.

- Производится размерный анализ конструкций собираемых изделий; выполняются расчеты размерных цепей и устанавливаются рациональные методы достижения точности сборки (полная, неполная, групповая взаимозаменяемость, регулировка, пригонка).

- Определяется целесообразная в данных условиях степень дифференциации или концентрации сборочных операций.

- Устанавливается последовательность соединения всех сборочных единиц и деталей изделия, и составляются схемы общей сборки и узловых сборок изделия.

- Определяются наиболее производительные, экономичные и технически целесообразные способы соединения, проверка положений и фиксации всех составляющих изделие сборочных единиц и деталей. Составляется содержание технологических операций сборки, и задаются методы контроля и окончательных испытаний изделия.

- Выбирается необходимое стандартное технологическое и вспомогательное оборудование и технологическая оснастка (приспособления, режущий, монтажный и измерительный инструмент); при необходимости проектируются специальные средств технологического оснащения.

- Трудоемкость сборки должна быть примерно одинакова для большинства сборочных единиц.

- Производится техническое нормирование сборочных работ, и рассчитываются экономические показатели сборки.

- Оформляется техническая документация процесса сборки.

При расчленении изделия на составные части необходимо учитывать:

- сборочную единицу не следует расчленять в процессе сборки, транспортирования и монтажа;

- сборочным операциям предшествуют подготовительные и пригоночные работы, которые выделяются в самостоятельные операции, поскольку они связаны с такими видами обработки, как опилка, шлифование, притирка, сверление отверстий, гибка и т.п.;

- габаритные размеры сборочных единиц устанавливаются с учетом наличия подъемно-транспортных средств;

- сборочная единица должна состоять из небольшого числа деталей и сопряжения, так излишняя дифференциация приводит к усложнению организации сборочных работ;

- передача на сборку отдельных деталей должна быть минимальной, исключением являются базовые детали;

- изделие следует расчленять так, чтобы его конструкция позволяла осуществлять сборку с наибольшим числом сборочных единиц.

Последовательность сборки может быть представлена в виде схемы, являющейся условным изображением порядка комплектования изделия и узлов / 14 /. Схемы сборки позволяют наглядно представить весь технологический процесс, проверить правильность намеченной последовательности операций. В некоторых источниках такие схемы называют технологическими схемами сборки.

На схемах каждый элемент изделия обозначен прямоугольником, в котором указываются наименование составной части, ее индекс и количество (рис. 12.1) / 28 /.

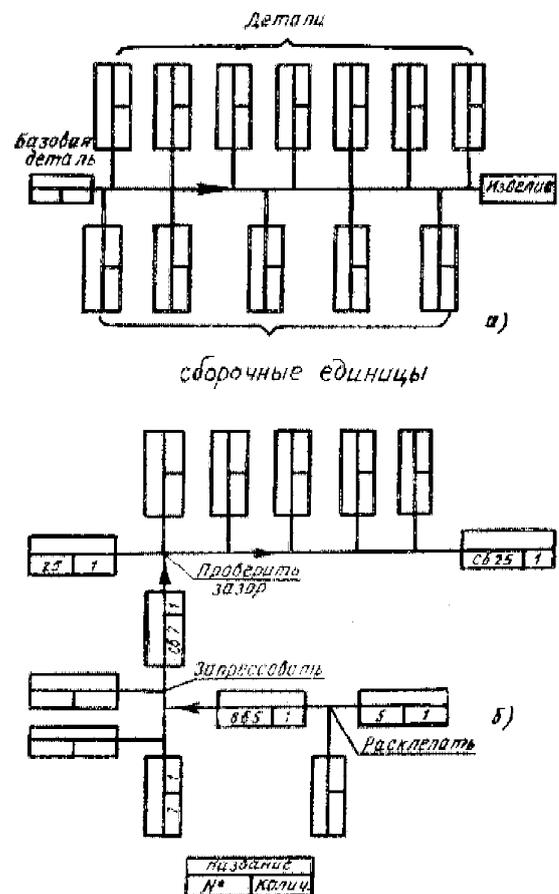


Рис. 12.1. Схема сборки: а - общей; б - узловой

Процесс сборки изображается на схеме горизонтальной линией в направлении от прямоугольника с указанием базовой составной части (детали или сборочной единицы) до прямоугольника, символизирующего готовое изделие (или сборочную единицу). Выше горизонтальной линии показывают (в порядке последовательности сборки) прямоугольники, условно обозначающие детали, а ниже – прямоугольники, условно изображающие сборочные единицы. Для каждой сборочной единицы первого и более высоких порядков могут быть построены аналогичные схемы (рис. 12.1).

Учитывая, что некоторые крупные изделия транс-

портируются к заказчику в разобранном виде, при разработке схемы сборки таких изделий одновременно составляют и схемы их демонтажа.

После разработки схем сборки устанавливают состав необходимых сборочных, регулировочных, пригоночных, подготовительных и контрольных работ и определяют содержание технологических операций и переходов.

В условиях единичного производства ограничиваются разработкой маршрутных технологических карт, руководствуясь, в значительной мере, технологическими схемами сборки. Сборку выполняют высококвалифицированные рабочие, которые сами выбирают приемы сборочных работ, пользуясь чертежом изделия; при этом широко применяют пригоночные работы.

В серийном производстве разрабатывают маршрутно-операционные и операционные технологические карты и, при необходимости, выпускают технологические инструкции, комплектовочные карты, ведомость оснастки и другие документы, применяя единую систему технологической документации.

Процесс сборки расчленяется на общую сборку и сборку узлов, а также технологические операции и переходы.

При формировании технологической операции в ее состав, по возможности, включаются однородные работы, что способствует специализации сборщиков. В целях синхронизации операций, необходимой для организации поточной сборки и крайне желательной при всех формах ее организации, состав технологической операции устанавливается с учетом трудоемкости отдельных элементов сборочных работ.

Пригоночные работы, испытания и контроль выделяются в отдельные операции. Проектирование технологии сборки вновь осваиваемых процессов может быть упрощено при использовании типовых технологических процессов / 18 /. Известно, что содержание технологии для многих однотипных соединений и сборочных единиц по существу одинаково. Например, к числу одинаковых могут быть отнесены операции: напрессовка подшипников качения на валы; установка подшипников в корпус; запрессовка в охватывающую деталь втулок, пальцев, осей; постановка и закрепление на валах зубчатых колес, шкивов, маховиков; сборка различных типов резьбовых и клепаных соединений.

Основой типизации является рациональная классификация сопряжения узлов на основе общности их конструктивных и технологических признаков.

В источнике / 18 / приведены примеры типизации технологических процессов сборки. В частности, одним из разработанных классификаторов некоторые объемы сборочных работ определяют:

- Класс работ – крупный комплекс сборочных работ, для выполнения которого можно образовать самостоятельный производственный участок.
- Подклассы работ – объединяют в пределах класса меньшие комплексы работ, связанные общим характером их выполнения.
- Группа работ – несколько видов сборочных работ в пределах данного подкласса, выполняемых на однотипном оборудовании.
- Подгруппа работ представляет собой опреде-

ленный объем работ, выполняемых в пределах данной группы с использованием однотипной оснастки.

Ниже приведено содержание классов и подклассов.

Класс 1 – подготовительные работы, в который включены подклассы: комплектовка, рихтовка, разметка.

Класс 2 – транспортные работы с подклассами: перемещение, установка.

Класс 3 – досборочные работы с подклассами: обработка отверстий, обработка двух поверхностей.

Класс 4 – сборочные работы; этот класс включает подклассы: свободная постановка, крепежные работы, запрессовка, подбор деталей и комплектов, смазка, контрольные и проверочные работы.

Класс 5 – электромонтажные работы.

Класс 6 – окрасочные работы – объединяет подклассы: подготовка поверхности, грунтовка, шпаклевка, шлифование, окраска, сушка, консервация, упаковка.

Класс 7 – специальные (штамповочные) работы.

Классы 5 и 7 не подразделяются на подклассы, группы и подгруппы.

Большой экономический эффект может быть достигнут при использовании на сборке в мелкосерийном производстве рациональных методов крупносерийного производства путем внедрения групповых технологических процессов. Различные виды сборочных работ, а также использование средств технологического оснащения при сборке подробно изложены в источниках / 2, 7, 9, 14, 18, 28 и др. /.

Важной составной частью проектирования технологического процесса сборки является нормирование слесарно-сборочных работ / 14, 28 /.

Для определения штучного, оперативного и штучно-калькуляционного времени используют формулы, приведенные в главе 10. При поточной сборке в состав штучного времени включается время (t_r) на транспортирование собираемого изделия, если оно не перекрывается другими элементами штучного времени. Нормирование сборочных работ ведется по нормативам времени на слесарно-сборочные работы.

К основным показателям сборки относят:

- действительный такт выпуска,
- ритм,
- производительность сборочного рабочего места,
- коэффициент загрузки рабочего места или поточной линии.

Расчет этих показателей приведен в источниках / 9, 14, 18 и др. /.

В зависимости от типа производства различают **пять методов достижения точности** замыкающего звена при сборке:

- 1) полной взаимозаменяемости;
- 2) неполной взаимозаменяемости;
- 3) групповой взаимозаменяемости;
- 4) регулировка;
- 5) пригонка.

Эти методы были изложены в главе 3; они также отражены в источниках / 7, 9, 14 и др. /.

ГЛАВА XIII

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

13.1. Основные этапы разработки технологических процессов

Разработка технологических процессов состоит из взаимосвязанных этапов, для которых определены конкретные задачи, а также основные документы и системы, обеспечивающие решение этих задач.

Анализ исходных данных для разработки технологического процесса

Располагая конструкторской документацией на изделие, необходимо ознакомиться с назначением и конструкцией предмета труда, а также с требованиями его изготовления и эксплуатации.

Одним из основных документов для решения задач на данном этапе являются сведения о программе выпуска изделия, которые используют при выборе типа производства.

Другой основной документ – архив производственно-технической документации – дает возможность получить необходимые сведения о производственных условиях, в которых намечено выполнять технологический процесс (средства технологического оснащения, площади, транспортные средства и др.).

Анализ исходных данных позволяет выявить перечень дополнительной справочной информации, необходимой для разработки технологического процесса, а также осуществить дополнительный контроль чертежа и технических условий.

Определение типа производства

На первом этапе разработки технологических процессов тип производства ориентировочно может быть определен в зависимости от массы детали и объема выпуска по табл. 13.1 / 30 /.

Таблица 13.1
Годовая программа выпуска деталей по типам производства

Тип производства	Годовой объем выпуска деталей одного наименования, шт.		
	легкие, до 20 кг	средние, 20...300 кг	тяжелые, более 300 кг
<i>Единичное</i>	до 100	до 10	1...5
<i>Мелкосерийное</i>	101...500	11...200	6...100
<i>Среднесерийное</i>	501...5000	201...1000	101...300
<i>Крупносерийное</i>	50001...50000	1001...5000	301...1000
<i>Массовое</i>	свыше 50000	свыше 5000	свыше 1000

Могут быть и другие рекомендации по предварительному определению типа производства / 15, 30, 31 /.

Тип производства влияет на построение технологических процессов изготовления изделий и организацию работы на предприятии.

После окончательной разработки технологических процессов для определенного участка или цеха на всю номенклатуру изготавливаемых деталей тип производства определяют по коэффициенту закрепления операций.

После установления типа производства опреде-

ляют его организационно-техническую характеристику. При этом решают следующие задачи:

- определяют форму организации производственного процесса; для поточного производства выбирают тип поточных линий;
- устанавливают степень механизации и автоматизации поточных линий;
- определяют режим работы участка, линии и фонды времени технологического оборудования;
- рассчитывают такт выпуска изделий крупносерийного и массового производства или величины партий их запуска в производство.

Количество деталей в партии (n) рассчитывают по формуле:

$$n = \frac{N \cdot a}{T},$$

где N – объем выпуска в год; T – количество дней в планируемом периоде выпуска; a – периодичность запуска, дней.

Можно также рекомендовать при групповой форме организации производства упрощенную формулу / 13 /:

$$n = \frac{N}{S_n},$$

где S_n – количество запусков в год, (для крупносерийного производства $S_n = 6$; для среднесерийного – 12; мелкосерийного – 24).

Выбор действующего типового, группового технологического процесса или поиск аналога единичного процесса

Технологический процесс разрабатывают на основе типового или группового технологического процесса. Для этого по технологическому классификатору деталей формируют технологический код. По коду изделие относится к определенной классификационной группе и действующему для нее типовому или групповому технологическому процессу, который является информационной основой при разработке рабочего технологического процесса /14, 30 / . При отсутствии соответствующей классификационной группы технологический процесс разрабатывают как единичный.

Технологический код разрабатывают на основе технологического классификатора. Вопросы, связанные с технологической классификацией деталей, подробно рассмотрены в главе 11.

Выбор исходной заготовки и методов ее изготовления

В конструкторской документации устанавливают материал и марку изделия, необходимую термическую обработку. В определенных случаях учитывают предпочтительный метод получения исходной заготовки (штамповка, литье и др.).

Используя эти данные, классификатор заготовок, документацию на типовой или групповой технологический процесс, стандарты и технические условия на заготовки и исходный материал, технолог определяет вид исходной заготовки и выбирает метод ее изготовления.

Заготовку выбирают исходя из минимальной се-

бестоимости готовой детали для заданного годового выпуска. Чем больше форма и размеры заготовки приближены к форме и размерам готовой детали, тем дороже она в изготовлении, но проще и дешевле ее последующая механическая обработка, меньше расход материала. Задача решается на основе минимизации суммарных затрат средств на изготовление заготовки и ее последующую обработку.

Следует отметить, что особенно важно правильно выбрать заготовку и назначить оптимальные условия ее изготовления в массовом автоматизированном производстве, в том числе на станках с ЧПУ.

Процесс механической обработки заготовок диктует следующие основные требования к ним: они должны иметь равномерные минимальные припуски и качество материала, оптимальную точность размеров поверхностей в обрабатываемой партии, требуемую обрабатываемость резанием и удовлетворительное состояние поверхностей.

Эти требования справедливы для любой обработки, но особое значение они приобретают в автоматизированном производстве, а также при использовании станков с ЧПУ.

Стабильность характеристик качества заготовок существенно влияет на протекание технологических процессов. В автоматизированном производстве при этом создают такие условия для осуществления статистически управляемого процесса, обеспечивающего получение деталей с заданными параметрами качества при минимальных затратах времени на регулирование хода технологического процесса.

При низкой точности размеров заготовок, увеличенных припусках, больших колебаниях твердости материала, плохом состоянии необработанных баз нарушается безотказность работы приспособлений, ухудшаются условия работы инструментов, снижается точность обработки, возрастают простои оборудования.

Технико-экономическое обоснование и рекомендации по выбору исходной заготовки изложены в источниках / 1, 9, 13, 14, 15, 30 и др./.

Выбор технологических баз

Решение задач, связанных с выполнением данного этапа, подробно рассмотрено в главе 4.

Составление технологического маршрута обработки

На этом этапе определяют последовательность выполнения технологических операций или уточняют эту последовательность по типовому или групповому технологическому процессу.

Составление технологического маршрута – это решение сложной многовариантной задачи, в результате которого принимают общий план обработки изделия, намечают содержание технологических операций, определяют состав технологического оснащения.

Для решения этой задачи приводим методические рекомендации. При этом надо учитывать, что различные детали машин образуются сочетанием разнообразных поверхностей. Наиболее распространены цилиндрические и плоские поверхности. Многие детали машин имеют винтовые и зубчатые поверхности. Для облегчения их изготовления и эксплуатации они стан-

дартизованы. Редко используют специальные фасонные поверхности (фасонные кулачки, копиры и т. п.).

По ГОСТ 21495-76 все **поверхности деталей** изделий машиностроения можно разделить на **четыре вида**:

1) *исполнительные поверхности* – поверхности, с помощью которых деталь выполняет свое служебное назначение;

2) *основные базы* – поверхности, с помощью которых определяют положение данной детали в изделии;

3) *вспомогательные базы* – поверхности, с помощью которых определяют положение присоединяемых деталей относительно данной;

4) *свободные поверхности* – поверхности, не соприкасающиеся с поверхностями других деталей.

Поверхности первых трех видов можно объединить в одну основную группу.

Обеспечение заданной точности и качества поверхностей основной группы с наименьшими затратами труда и издержками производства является главной задачей технологического процесса.

Заданные точность и качество основной группы поверхностей, размеры, масса и форма детали дают возможность определить необходимые методы окончательной обработки этих поверхностей, что предопределяет выбор средств технологического оснащения (СТО). Каждому методу окончательной обработки предшествуют промежуточные методы и соответствующие СТО. При этом исходят из того, что каждый последующий метод должен быть точнее предыдущего. *Например*, в чертеже детали задано отверстие по 7-му качеству с шероховатостью $Ra = 0,63$. Одним из возможных методов окончательной обработки такого отверстия является развертывание, которое можно осуществить, выполнив предварительную его обработку сверлением, зенкерованием и черновым развертыванием.

Одновременно устанавливают методы обработки вспомогательных поверхностей.

Решение задачи по выбору методов обработки всех поверхностей детали сводится к определению содержания технологического процесса, выявлению необходимости осуществления трех стадий обработки: черновой, чистовой и отделочной.

На первой стадии выполняют операции черновой обработки всех поверхностей. На этой стадии удаляется основная масса материала. Обработка сопровождается интенсивным нагревом заготовки и инструмента, большими силами резания, которые требуют соответствующих сил закрепления заготовки и приводят к значительным деформациям технологической системы – источникам образования погрешностей обработки. Удаление большого количества материала позволяет выявить дефекты заготовок (*например*, раковины в отливках и др.), которые могут быть своевременно устранены или станут основанием для прекращения дальнейшей обработки вследствие непригодности заготовки. После черновой обработки возникают деформации заготовки в результате перераспределения остаточных напряжений в ее материале, которое наиболее интенсивно происходит при снятии с заготовки наружных слоев материала.

Для выполнения черновых операций выбирают наиболее мощное и менее точное оборудование, а также используют рабочих более низкой квалификации, чем при выполнении чистовых и отделочных операций.

На второй стадии осуществляются операции чистовой обработки, в результате которых завершается обработка одних поверхностей или происходит подготовка других поверхностей к последующей, более точной обработке.

Третья стадия – отделочная обработка; на этой стадии обрабатывают поверхности с точностью по 6-7-му качеству и получают параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,32$ мкм и менее / 27 /.

Отделочные методы обработки предусматривают в конце технологического процесса в силу выделения черновых операций в самостоятельную первую стадию, а также из опасения повреждения окончательно обработанных поверхностей во время многократных установок заготовок на оборудовании и при транспортировании.

Следует отметить, что разделение технологического процесса на указанные три стадии обработки не во всех случаях целесообразно. Например, при обработке заготовки с повышенной точностью и качеством поверхностей технологический процесс начинается с чистовой и даже с окончательной обработки. Если заготовка жесткая, поверхности небольших размеров могут быть окончательно обработаны в начале технологического процесса. При обработке заготовок из пруткового материала на револьверных станках и автоматах не отделяют черновую обработку от чистовой.

Выделение различных стадий обработки в самостоятельные (черновую, чистовую и отделочную) не может быть ограничением в решении вопроса о целесообразности концентрации операций.

При разработке технологического маршрута необходимо учитывать требования к взаимному расположению поверхностей. Если, например, предъявляются высокие требования к соосности поверхностей вращения, следует стремиться к их обработке в одной операции с одной установкой.

В связи с невысокими требованиями к точности и качеству свободных поверхностей их обработка заканчивается на стадии чистовых или даже черновых операций и по возможности включается в качестве перехода в операции, где обрабатываются поверхности основной группы.

На ранее обработанных поверхностях производится нарезание зубьев, шлицев, резьбы, фрезеруются лыски, канавки, сверлятся отверстия и др. Обработку этих видов выделяют в самостоятельные операции.

В начале технологического маршрута, используя первоначальные базы, обрабатывают поверхности, которые будут использованы в качестве технологических баз для дальнейшей обработки.

При формировании содержания операции учитывают возможность объединения тех переходов, которые могут быть выполнены на одном станке. Формирование операций и выбор СТО в значительной мере определяются условиями производства. В поточном производстве, например, содержание операции опре-

деляют из условия, чтобы их длительность была равна или кратна такту выпуска. А для этого, в необходимых случаях, требуется применять специальные СТО.

На выбор последовательности обработки оказывает влияние возможность сокращения путей транспортирования деталей.

В тяжелом машиностроении обрабатывают крупногабаритные и тяжелые заготовки, что вызывает необходимость сокращения числа их перестановок со станка на станок. Это характерно также для мелкосерийного производства.

При разработке технологического маршрута важно определить, когда будет выполняться термическая обработка. Технологический процесс будет проще и экономичнее, если механическая обработка не прерывается термическими операциями. Это возможно предусмотреть, если заготовка подвергается только предварительной термической обработке, которая заключается в отжиге, нормализации или улучшении материала заготовки.

После выполнения черновых операций, в случае необходимости, в технологическом процессе предусматривается промежуточная термическая обработка:

- для улучшения обрабатываемости малоуглеродистых, в том числе легированных малоуглеродистых стальных заготовок, предусматривается нормализация;
- старение предусматривается для крупных отливок ответственных деталей с целью снятия остаточных напряжений в материале заготовки.

После термической обработки (закалка и отпуск) заготовки, до получения $HRC_3 40$ необходимо использовать для дальнейшей механической обработки абразивные инструменты. Это необходимо учитывать при составлении технологического маршрута.

При наличии в технических условиях требования повысить твердость отдельных поверхностей (чаще до $HRC_3 55...60$) посредством их цементации и последующей закалки необходимо науглероживать эти поверхности. Все другие поверхности должны быть защищены от цементации различными способами: омеднением, повышенным (на глубину цементации) припуском, который удаляют после цементации, но до закалки, а также комбинацией отмеченных способов.

Поверхности, подлежащие цементации, предохраняют от омеднения, покрывая их диэлектриком, чаще лаком.

В маршрутной технологии механической обработки предусматривается технический контроль соответствия параметров требованиям, заданным чертежом и техническими условиями. Технолог должен установить необходимость контроля отдельных элементов процесса и место этого контроля, он назначает методы и средства контроля; особое внимание обращают на операции, где обеспечиваются высокие требования к точности и качеству обрабатываемых поверхностей.

Рекомендации по составлению технологического маршрута обработки изложены в источниках / 2, 9, 13, 14, 24, 30, 31 /.

Разработка технологических операций

Основные задачи, которые решаются на этом этапе, следующие:

- определение рациональной структуры операции,

что позволяет разработать или уточнить содержание и последовательность переходов в операции;

- выбор средств технологического оснащения, что является основанием для заказа новых СТО, в том числе средств контроля и испытаний;

- выбор средств механизации и автоматизации выполнения операции, а также выбор внутрицеховых средств транспортирования заготовки, назначение и расчет режимов обработки.

Для решения перечисленных задач технолог должен располагать: документацией на типовые, групповые или единичные технологические операции; классификатором технологических операций; стандартами, каталогами на СТО; документацией по выбору технологических нормативов.

В главе 4 было отмечено, если технологическая база не совпадает с конструкторской, необходимо пересчитать размеры, определяющие взаимное расположение поверхностей, а в главе 9 рассмотрены вопросы расчета припусков на механическую обработку. Отмеченными обстоятельствами объясняется необходимость введения таких технологических размеров (промежуточных и окончательных), которые обеспечили бы требования чертежа. Технологические размеры устанавливаются в результате размерного анализа технологического процесса изготовления детали с помощью решения размерных цепей методом максимума-минимума.

Размерный анализ технологического процесса выполняют после того, как разработан маршрутный технологический процесс изготовления детали, а для каждой ее поверхности установлены число и последовательность переходов и операций с указанием необходимости определения соответствующих операционных технологических размеров.

Нормирование технологического процесса

На основании исходных данных производят расчет и нормирование затрат труда на выполнение процесса, определяют разряд работ и дают обоснование профессий его исполнителей (глава 10). На этом же этапе выполняют расчет норм расхода необходимых материалов. При выполнении расчетов и нормировании используют нормативы времени и расхода материалов, классификаторы разрядов работ и профессий, методики разработки норм времени.

Определение требований техники безопасности

Стандарты системы безопасности труда и соответствующие инструкции позволяют разработать требования по технике безопасности и производственной санитарии применительно к условиям конкретного производства (шум, вибрация, радиация, загазованность, опасные и вредные вещества в воздухе рабочей зоны и т. п.). На этом этапе решают также вопросы обеспечения устойчивости экологической среды.

Расчет экономической эффективности технологического процесса

Используя методику расчета экономической эффективности технологических процессов, выбирают из них оптимальный вариант.

Оформление технологической документации

На основании стандартов ЕСТД технологический

процесс оформляют документально, производят нормоконтроль документации, согласуют ее со всеми заинтересованными службами и утверждают.

Виды технологической документации определены ГОСТ 3.1102-81.

13.2. Построение операций технологического процесса обработки заготовок

Степень концентрации и дифференциации операций является важнейшим принципом при построении операции технологического процесса механической обработки заготовок деталей машин.

Концентрацией операций называют соединение нескольких простых технологических переходов в одну сложную операцию.

Дифференциацией операций называют разделение операции на несколько более простых.

При концентрации операций сокращают число установов заготовок на станок, широко применяют многоинструментную обработку одной или нескольких поверхностей, а также многоместную обработку. При этом повышается точность взаимного расположения обрабатываемых поверхностей, производительность обработки за счет снижения основного и вспомогательного времени, сокращается длительность производственного цикла, упрощается календарное планирование, возрастают требования к точности станка, его технологическим возможностям. Рабочий высокой квалификации вынужден выполнять как окончательную, так и предварительную обработку.

При дифференциации операций точную чистовую обработку выполняют на высокоточном оборудовании с использованием рабочих высокой квалификации; предварительную черновую обработку производят простейшими и высокопроизводительными методами на простых станках рабочие более низкой квалификации.

В технологических процессах современного машиностроения применяют оба принципа в зависимости от конкретных условий.

Для технологических процессов единичного и мелкосерийного производства характерны операции, построенные на принципе их концентрации. По этому же принципу разрабатывают технологические процессы в крупном и тяжелом машиностроении с использованием переносных станков.

В среднесерийном производстве применяются оба принципа: концентрация операций предусматривается для обработки на станках с ЧПУ и быстропереключаемых агрегатных станках и автоматах, а дифференциация – на переменнo-поточных линиях групповой обработки.

При использовании принципа концентрации операций в массовом и крупносерийном производстве применяют многошпиндельные автоматы, автоматизированные производственные системы, станки с ЧПУ. Если же используют поточные и автоматические линии с применением высокопроизводительного, простого, специального оборудования, то может быть применен принцип дифференциации. При разработке технологической операции стремятся уменьшить штучное время.

Степень концентрации операций, возможность снижения штучного времени в значительной степени зависят от выбранной схемы построения операций. Различные схемы построения станочных операций имеют различные возможности совмещения технологических переходов. Штучное время для выполнения операции определяют по формуле (10.1), где составляющие $t_{об}$, $t_{оп}$, $t_{п}$ берут в процентах от оперативного времени, а t_0 – от основного. Таким образом, решающее влияние на структуру штучного времени оказывает оперативное время: $t_{оп} = t_0 + t_в$. Поэтому анализ схем построения станочных операций целесообразно проводить по составляющим этого времени.

Для более полной и наглядной характеристики возможностей перекрытия вспомогательного времени его целесообразно разделить на пять составляющих:

1) $t_{вс}$ – время установки заготовки для ее обработки на станке и время ее съема со станка по окончании обработки;

2) $t_{уп}$ – время, затраченное на управление станком;

3) $t_{инд}$ – время, затраченное на индексацию, - включает время поворота и фиксации шпиндельных блоков, столов и барабанов, несущих заготовки, а также линейное перемещение в другие позиции столов с заготовками или суппортов с инструментами, время поворота револьверных и резцовых головок; время поворота делительных приспособлений и кондукторов; время, затраченное на перемещение заготовок в новые позиции;

4) $t_{см}$ – время смены инструмента в процессе выполнения отдельных переходов операции (например, время установки и смены инструмента в быстросменном патроне сверлильного станка и др.);

5) $t_{изм}$ – время установки инструмента на размер и время, затраченное на контрольные измерения при работе по методу пробных рабочих ходов и промеров; в большинстве случаев $t_{изм}$ не удается перекрыть основным временем, однако при применении активных методов измерения (автоматизированных) такое перекрытие возможно.

Схемы станочных операций можно подразделить по различным признакам:

- одноместные и многоместные – по числу одновременно устанавливаемых для обработки заготовок;
- одноинструментные и многоинструментные – по числу участвующих в обработке инструментов;
- последовательного, параллельного и параллельно-последовательного выполнения, определяемые последовательной или параллельной работой инструментов, а также последовательным или параллельным расположением нескольких заготовок по отношению к режущим инструментам.

Различное сочетание отмеченных признаков образует различные схемы станочных операций.

Для анализа этих схем в табл. 13.2 представлены формулы определения составляющих оперативного времени.

А. Одноместные схемы

1. Последовательная обработка (рис. 13.1)

1.1. Одноместная одноинструментная схема (рис. 13.1 а)

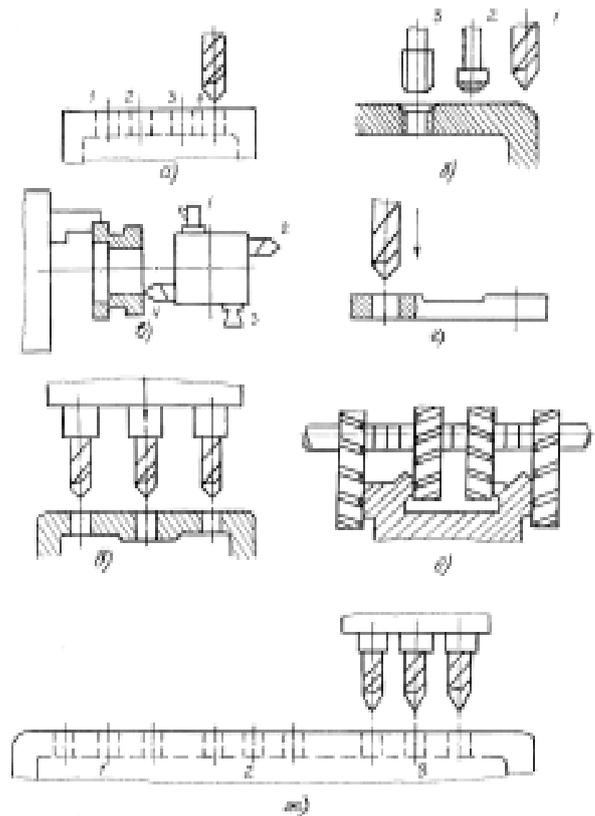


Рис. 13.1. Схема одноместной обработки

1.2. Одноместная схема при обработке заготовки несколькими инструментами (рис. 13.1 б, в)

1.3. Одноместная схема при выполнении однопереходной операции (рис. 13.1 в)

2. Параллельная обработка (рис. 13.1 д, е)

3. Параллельно-последовательная обработка (рис. 13.1 ж)

Б. Многоместные схемы

Многоместные схемы построения станочных операций можно подразделить на три группы:

I. Заготовки устанавливаются на станке и обрабатываются станко-партией (N)

1. Последовательная обработка (рис. 13.2 а, б)

2. Параллельная обработка (рис. 13.2 в, г)

3. Параллельно-последовательная обработка (рис. 13.2 д, е)

II. Заготовки (или группы заготовок) устанавливаются на станке независимо одна от другой и обрабатываются поочередно.

В этих схемах время на установку и снятие заготовки перекрывается основным временем (полностью, если $t_{вс} < t_0$).

1. Последовательная обработка (рис. 13.3 а)

2. Параллельная обработка (рис. 13.3 б)

3. Параллельно-последовательная обработка (рис. 13.3 в)

При параллельной и параллельно-последовательной обработке одновременно обрабатывается N' заготовок.

III. Заготовки обрабатываются на непрерывно вращающемся столе или барабане (рис. 13.4)

Эта группа многоместных схем характеризуется наиболее благоприятными условиями для совмеще-

ния элементов оперативного времени. Здесь преобладают схемы параллельно-последовательной обработки, а также последовательные – при определенных размерных соотношениях обрабатываемых поверхностей и инструментов.

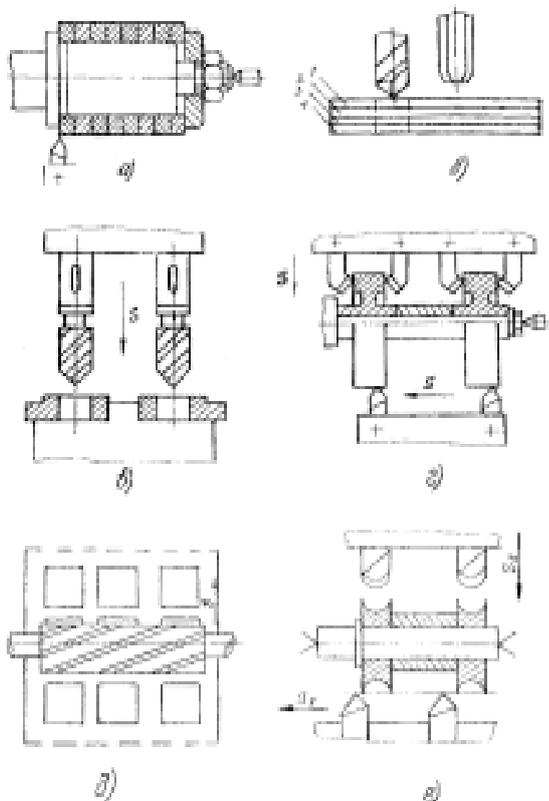


Рис.13.2. Схемы многоместной обработки с одновременной

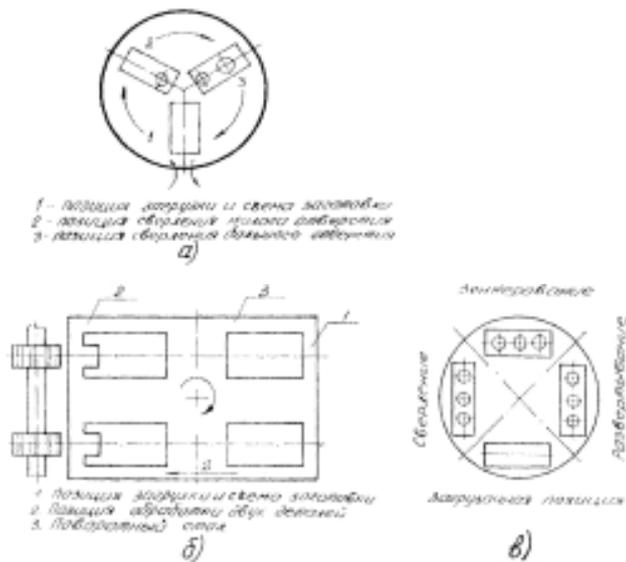


Рис.13.3. Схемы многоместной обработки с раздельной установкой заготовок

Такие схемы осуществляют на станках с непрерывно вращающимися столами или барабанами. Установку и снятие заготовок производят на ходу станка в его загрузочной зоне. Основное время обработки одной заготовки определяют делением времени оборота стола или барабана на число установленных на нем заготовок, а вспомогательное - полностью пере-

крывается основным временем, следовательно, оно не будет учтено при расчетах штучного и оперативного времени ($t_b = 0$).

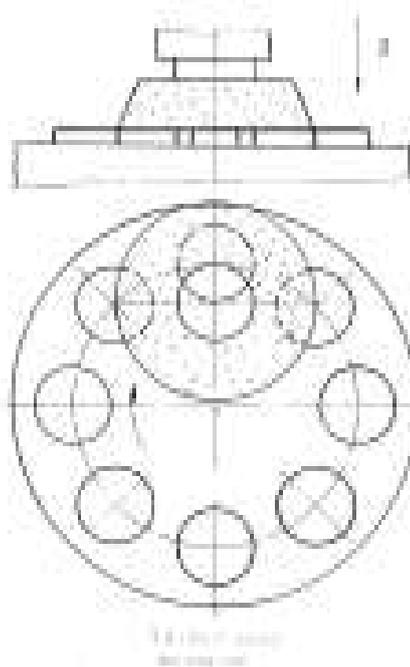


Рис. 13.4. Схемы многоместной обработки заготовок на непрерывно вращающемся станке

При рассмотрении различных схем станочных операций необходимо рассматривать конкретные производственные условия. Следует учитывать увеличение расчетной длины обработки, сложность установки и снятия заготовок при многоместной обработке.

Таблица 13.2
Формулы для определения составляющих оперативного времени

Схема обработки	Рисунок схемы	t_o	t_b
А. Одноместные схемы			
1	Рис.13.1		
1.1	Рис.13.1 а	$t_o = \sum_{i=1}^n t_{oi}$	$t_b = t_{yc} + t_{yn}$
1.2	Рис.13.1 б, в	$t_o = \sum_{i=1}^n t_{oi}$	$t_b = t_{yc} + t_{yn} + t_{си}$ или $t_b = t_{yc} + t_{yn} + t_{инд}$
1.3	Рис.13.1 з	$t_o = t_{oi}$	$t_b = t_{yc} + t_{yn}$
2	Рис.13.1 д, е	$t_o = t_{oi} l_i$	$t_b = t_{yc} + t_{yn}$
3	Рис.13.1 ж	$t_o = \sum_{i=1}^n t_{oi} l_i$	$t_b = t_{yc} + t_{yn} + t_{си}$ или $t_b = t_{yc} + t_{yn} + t_{инд}$
А. Многоместные схемы			
Группа I	Рис.13.2		
1	Рис.13.2 а, б	$t_o = \sum_{i=1}^n t_{oi} / N$	$t_b = t_{yc} + t_{yn} + t_{си} / N$ или $t_b = t_{yc} + t_{yn} + t_{инд} / N$
2	Рис.13.2 в, з	$t_o = t_{oi} l_i / N$	$t_b = t_{yc} + t_{yn} + t_{си} / N$
3	Рис.13.2 д, е	$t_o = \sum_{i=1}^n t_{oi} l_i / N$	$t_b = t_{yc} + t_{yn} + t_{си} / N$ или $t_b = t_{yc} + t_{yn} + t_{инд} / N$
Группа II	Рис.13.3		
1	Рис.13.3 а	$t_o = t_{oi} l$	$t_b = t_{yn} + t_{инд}$
2	Рис.13.3 б	$t_o = t_{oi} l / N'$	$t_b = \frac{t_{yn} + t_{инд}}{N'}$
3	Рис.13.3 в	$t_o = t_{oi} l / N'$	$t_b = \frac{t_{yn} + t_{инд}}{N'}$
Группа III	Рис.13.4	Отражено в тексте	$t_b = 0$

n – количество технологических переходов

$t_o l_i$ – время лимитирующего (наиболее длительного) перехода

При проектировании операции с параллельными и параллельно-последовательными схемами обработки рост производительности, в зависимости от числа инструментов в наладке, происходит в каждом отдельном случае до определенного предела. Дальнейшее увеличение числа инструментов снижает производительность в связи с увеличением времени технического обслуживания (t_t) на их смену и регулировку и снижение скорости резания / 9, 22, 30 /. На оптимальное совмещение переходов влияет также себестоимость обработки. Штучное время ($t_{шт}$) и себестоимость обработки, в зависимости от числа инструментов в наладке, изменяются по-разному. Рациональное совмещение технологических переходов в каждом конкретном случае определяется в зависимости от взаимного расположения обрабатываемых заготовок, размещения инструментов в зоне обработки и возможностью удаления из нее стружки. Недостаточная жесткость заготовок, а также приспособлений может явиться причиной отказа от параллельного выполнения переходов. Обработку поверхностей с высокими требованиями к точности и шероховатости выделяют в особую операцию, применяя одноместные одноинструментные последовательные, а часто и однопроходные схемы.

Конфигурация и габаритные размеры обрабатываемой заготовки определяют возможное количество заготовок в многоместных схемах, порядок расположения заготовок на столе или в приспособлении, сложность наладки станков и величину холостых ходов при многоместной обработке

13.3. Выбор технологического оборудования

Выбор начинается с анализа формирования типовых поверхностей деталей и сборочных единиц, а также отдельных методов их обработки, с учетом назначения и параметров изделия. Результаты анализа должны вывить значения основного, штучного времени и затрат на выполнение работ различными методами. Лучшим вариантом считается тот, показатели которого минимальны.

При проектировании технологических процессов необходимо располагать всеми данными, характеризующими технологическое оборудование (паспорта различных моделей оборудования, каталоги и т. п.).

Выбирая оборудование, следует руководствоваться следующими основными правилами:

- размеры рабочей зоны оборудования должны соответствовать габаритным размерам обрабатываемых заготовок (одной или нескольких);
- необходимо обеспечить заданные точность и качество обрабатываемой поверхности; это особенно важно при чистовой и отделочной обработке;
- мощность, жесткость и кинематическая схема оборудования должны соответствовать оптимальным режимам обработки;
- требуемая производительность оборудования должна соответствовать заданной программе выпуска;
- возможностями механизации и автоматизации;
- учитывать стоимость оборудования.

13.4. Выбор средств технологической оснастки

Выбор технологического оборудования определяющий и выбор средств технологической оснастки, порядок которого определен ГОСТ 14.305-73. При выборе технологической оснастки осуществляется обширный комплекс взаимосвязанных работ:

- анализ конструктивных характеристик изготавливаемого изделия (габаритные размеры, материал, точность, параметр шероховатости и т. д.), а также изготовления изделия (схемы базирования и фиксации, вид технологической операции, организационная форма процесса изготовления и т. д.);

- группирование технологических операций, что позволяет установить наиболее приемлемую систему технологической оснастки и повысить коэффициент ее использования;

- определение исходных требований к технологической оснастке и на основании этих требований – отбор конструкций оснастки из имеющейся номенклатуры и определение необходимых расчетных данных для проектирования и изготовления новых конструкций;

- выдача технических заданий на разработку и изготовление технологической оснастки.

Конструкции оснастки определяют с учетом стандартных и типовых решений для данного вида технологических операций на основе габаритных размеров изделий, вида заготовок, характеристики материала изделий, точности параметров и конструктивных характеристик поверхностей изделия, технических схем базирования и фиксации заготовок, характеристик оборудования и объемов производства.

Вспомогательный инструмент подбирают к станку по уже выбранному режущему (рабочему) инструменту для данного перехода и операции технологического процесса. Он должен иметь, с одной стороны, установочные поверхности и элементы крепления, соответствующие режущему (рабочему) инструменту, а с другой – поверхности установки и элементы крепления, соответствующие посадочным местам станка.

Решают вопросы по выбору методов и средств измерений, а также по выбору организационных форм контроля. Рекомендации по решению этих вопросов изложены в специальной научно-технической литературе, например в / 2, 6, 16 /.

Все находящиеся на рабочем месте предметы технологической оснастки по характеру их использования делят на две группы: переменные (временные) и постоянные. К переменным относят элементы оснащения, используемые для выполнения одной определенной операции. Предметы оснастки находятся на рабочем месте всегда независимо от выполняемой работы, постоянно используемые режущий и мерительный инструменты, элементы оргоснащения (стеллажи, шкафчики и др.).

13.5. Особенности технологических процессов массового производства

Для массового производства, как правило, $K_{30} = 1$. Краткая характеристика массового производства дана в главе 1. Под массовым производством понимается производство, характеризующее узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых в течение продолжительного времени. В этих условиях большие затраты на специальное высокопроизводительное оборудование и технологическую оснастку полностью окупаются даже при незначительном повышении производительности труда.

Достижение необходимой точности обработки заготовок осуществляют на настроенных станках по методу автоматического получения размеров с использованием наиболее совершенных и точных заготовок.

Особенности массового производства требуют очень тщательной разработки технологической документации с проведением необходимых точностных и экономических расчетов.

Как указывалось в главе 1, в массовом и крупносерийном производстве широко применяют поточную организацию производства. Она характерна расположением средств технологического оснащения в последовательности выполнения операций технологического процесса с определенным интервалом выпуска изделий и специализацией рабочих мест.

Основным элементом поточного производства является поточная линия. Для передачи предмета труда с одного рабочего места на другое применяют специальные транспортные средства.

Дальнейшее совершенствование поточного производства привело к созданию автоматических линий, на которых все операции выполняют на рабочих местах, оснащенных автоматическим оборудованием. Транспортирование предметов труда на таких линиях осуществляют также автоматически.

При проектировании технологических процессов для поточного производства по формуле (1.2) определяют такт выпуска – интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий или заготовок определенных наименований.

Зная такт выпуска, можно определить его ритм – число изделий и заготовок определенных наименований, типоразмеров и исполнения, выпускаемых в единицу времени.

Существуют различные формы организации поточного производства, изложенные в различных источниках, например в / 20 /.

При разработке технологических процессов обработки заготовок на поточных и, особенно, автоматических линиях, желательным созданием такта выполнения отдельных операций, то есть их синхронизация, что существенно способствует повышению коэффициента использования всех станков линии. С учетом решения задачи по синхронизации операций выбирают нужную схему ее выполнения. Однако обеспечить полную синхронизацию операций обработки заготовок даже на автоматической линии обычно затруднительно.

Колебания трудоемкости при выполнении отдельных операций линии приводят к снижению коэффициента использования станков этой линии, однако не являются препятствием для их создания / 9 /.

Применение высокопроизводительных средств технологического оснащения, характерных для массового производства, а также поточных и автоматических линий, столь значительно снижает трудоемкость обработки заготовок, что ущерб от недостаточного использования отдельных станков линии оказывается полностью компенсированным / 9 /.

Затраты на приобретение автоматического оборудования в массовом производстве быстро окупаются значительным сокращением трудоемкости обработки заготовок и сборки машин / 9 /.

13.6. Особенности построения технологических процессов обработки заготовок на станках с ЧПУ

Основным условием эффективного использования станков с ЧПУ является рациональный подбор номенклатуры деталей. Определение этой номенклатуры производят по конструктивно-технологическим параметрам детали: габаритным размерам; форме поверхностей, подлежащих обработке, их точности и качеству; количеству инструментов, требуемых для полной обработки. Критерием отбора номенклатуры деталей являются технологические возможности их изготовления на данном станке с ЧПУ.

На основании обобщения опыта эксплуатации станков с ЧПУ установлено, что, если при их внедрении штучное время сокращается на 50 %, по сравнению с обработкой на станках с ручным управлением, то, несмотря на дополнительные затраты, обеспечивается общее сокращение расходов / 9 /.

Наибольший экономический эффект дает изготовление таких деталей на станках с ЧПУ, обработка заготовок которых на станках с ручным управлением связана с использованием дорогостоящей технологической оснастки (кондукторов, копиров, фасонных режущих инструментов), большими затратами времени на наладку технологической системы.

Значительная экономическая эффективность достигается при изготовлении на станках с ЧПУ сложных деталей с большим числом поверхностей, контуры которых содержат криволинейные участки. При этом появляется возможность обработки заготовок с одной установки и использованием большого количества инструмента.

Практика показывает, что обычно областью применения станков с ЧПУ, в том числе и многоцелевых станков, является среднесерийное и мелкосерийное производство / 9, 14, 15 /.

Однако следует отметить, что гибкость систем ЧПУ и простота их включения в общие системы управления от единой вычислительной машины делают целесообразным применение станков с ЧПУ в условиях крупносерийного и массового производства, в том числе в составе автоматических линий. Это особенно важно в условиях быстрого обновления и смены выпускаемых

изделий. Особенности отработки конструкции деталей на технологичность деталей при их изготовлении на станках с ЧПУ были рассмотрены в главе 8, а требования к заготовкам таких деталей – в главе 9.

Большинство исходных заготовок попадает на станки с ЧПУ с заранее подготовленными базовыми поверхностями, так как обработка этих поверхностей на станках с ЧПУ во многих случаях экономически нецелесообразна. При этом следует предусмотреть в технологическом процессе технические условия на обработку базовых поверхностей, если они не указаны в чертеже детали.

Выбор технологических баз при обработке заготовок на станках с ЧПУ помимо их основного назначения, должен обеспечить совмещение направления координатных осей заготовки с осями координатной системы станка и расположение «нуля» детали в точке, заданной координатами в этой системе.

При определении последовательности обработки заготовки с использованием станков с ЧПУ руководствуются принципами, положенными в основу выбора последовательности операций при выполнении их на станках с ручным управлением, учитывая технологические возможности станков с ЧПУ и специфику обработки заготовок на этих станках. Методические рекомендации по разработке технологического маршрута приведены в разделе / 13.1 /.

Проектирование технологической операции обработки заготовок на станках с ЧПУ включает в себя комплекс задач, которые решаются при обработке на аналогичных станках с ручным управлением.

К числу новых задач, специфических при использовании станков с ЧПУ, относят создание управляющей программы, а для этого необходимо построить траектории движения режущих инструментов и рассчитать координаты опорных точек, а также выполнить ряд следующих работ:

- определить возможность размещения режущего инструмента, необходимого для выполнения операции;
- установить рациональную последовательность обработки различных поверхностей;
- выявить необходимость изменения режимов резания с целью отражения этого изменения в управляющей программе.

Для программирования обработки заготовки нужно детализировать процесс, четко установив последовательность, направление и характер движения рабочих органов станка. С этой целью составляют схему движения характеристических точек режущих инструментов относительно заготовки, в которой представлены траектории движения всех инструментов, участвующих в обработке. Схема предназначена для последующего расчета координат опорных точек траекторий, а также уточнения отдельных элементов процесса. Кроме того, схема движения содержит данные, необходимые для разработки карты наладки станка.

На схемах движения инструментов пунктирными линиями указывают траектории холостых ходов, а сплошными – рабочих перемещений. Условно считают, что заготовка остается неподвижной, а перемещается только инструмент.

В управляющей программе должны быть записаны значения координат опорных точек, намеченных при разработке схем движения инструмента. В наиболее простом случае прямолинейных перемещений инструмента вдоль направлений оси координат, при отсутствии повышенных требований к точности обработки, расчет координат опорных точек не представляет затруднений и требует от программиста лишь внимания (рис. 13.5). При программировании обработки высокоточных поверхностей, особенно фасонных, необходимо выполнить определенные расчеты, позволяющие внести коррективы для конкретных условий обработки. Примеры подобных расчетов приведены в литературе по вопросам технологии машиностроения / 4, 6, 9, 13 /.

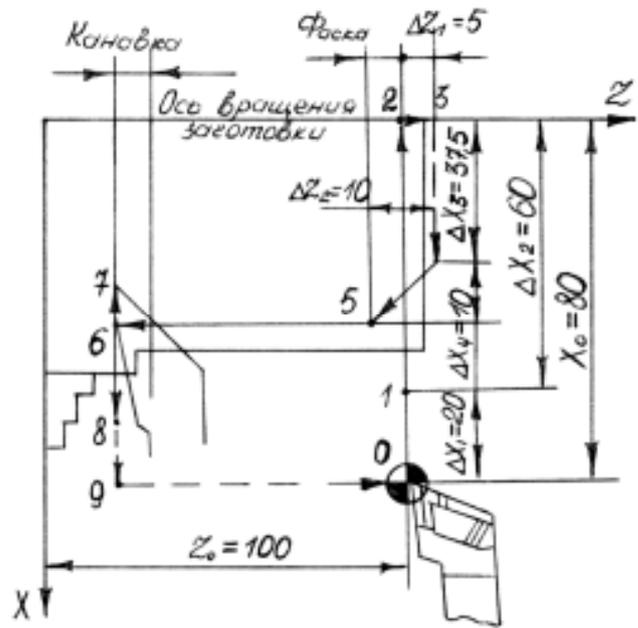


Рис.13.5. Схемы движения резца при токарной обработке характерных элементов детали (0, 1, 2...9-опорные точки)

Схему движения инструмента обычно вычерчивают в масштабе 10:1 или 5:1.

Как уже указывалось, сплошными линиями отмечают рабочие движения, а пунктирными – холостые. Последовательно расположенные опорные точки, в которых происходит изменение движения инструмента или режимов резания (либо то и другое), обозначают арабскими цифрами с числовым индексом. Цифра соответствует номеру опорной точки, а индекс – номеру инструмента в резцовой головке. Опорные точки, в которых происходят изменения направления движения инструмента, называют геометрическими опорными точками, а точки, в которых изменяется режим резания – технологическими. При построении схемы движений инструмента желательно совмещение геометрических и технологических точек. Если в обработке заготовки участвуют от одного до трех инструментов, при небольшом количестве опорных точек, то вычерчивают общую схему для всех инструментов. При большем количестве инструментов и значительном числе опорных точек следует вычерчивать схему движения для каждого инструмента отдельно.

При выборе металлорежущих станков с ЧПУ следует руководствоваться основными правилами, приведенными в разделе 13.3.

Технологическая оснастка в значительной степени определяет эффективность технологического процесса обработки заготовок на станках с ЧПУ. Поэтому при решении вопросов по выбору рациональной конструкции приспособлений, режущего и вспомогательного инструмента необходимо учитывать специфические требования, о которых подробно сказано в источниках / 4, 6, 8, 13 и др./.

После разработки технологических процессов оформляют технологическую документацию по ГОСТ 3.1406-86.

Необходимые данные для обработки заготовок на станках с ЧПУ по технологической документации переносятся технологом-программистом в зашифрованном виде в карту программирования. По этой карте оператор готовит управляющую программу работой станка, которая проверяется в производственных условиях и, при необходимости, корректируется.

13.7. Определение режимов резания

Режимы резания определяются глубиной резания (t), подачей на оборот (S_0) и скоростью резания (V).

Режимы резания оказывают влияние на точность и качество обработанной поверхности, производительность и себестоимость обработки.

В порядке возрастания влияния на стойкость инструментов составляющие режимов резания располагаются следующим образом: t , S_0 , V . Поэтому для одноинструментной обработки при определении режимов резания в первую очередь назначают глубину резания, а затем подачу и скорость резания.

При обработке поверхности на предварительно настроенном станке глубина резания равна припуску на заданный размер этой поверхности.

При работе по методу пробных рабочих ходов и промеров стремятся удалить весь припуск за один рабочий ход. Если же по каким-либо причинам такая обработка невозможна, то глубина резания назначается такой величины, чтобы весь припуск был снят при наименьшем количестве рабочих ходов.

Подача должна быть установлена максимально допустимой. При черновой обработке она ограничивается прочностью и жесткостью элементов технологической системы, а при чистовой и отделочной – точностью размеров и шероховатостью обрабатываемой поверхности. Определенная расчетом или по нормативам подача должна соответствовать паспортным данным станка.

Скорость резания зависит от выбранной глубины резания, подачи и ряда других факторов (качества и марки обрабатываемого материала, геометрических параметров режущей части инструмента и др.).

Скорость резания рассчитывают по соответствующим формулам или определяют по нормативным данным. Полученные значения скорости резания корректируют в соответствии с паспортными данными станка. По установленным режимам резания определяют эффективную мощность, которую проверяют по мощности станка.

Для многоинструментной обработки при назначе-

нии режимов резания в зависимости от метода обработки необходимо согласовать работу режущих инструментов, участвующих в выполнении данной технологической операции.

При многоинструментной обработке блоком, состоящим из комплекта режущих инструментов, режимы резания назначаются следующим образом. Для каждого инструмента устанавливают глубину резания и подачу так же, как и для одноинструментной обработки.

Для блока режущих инструментов определяют наименьшую (лимитирующую) подачу в соответствии с паспортными данными станка. Далее определяют инструмент, при отдельной работе которого потребовалась бы наименьшая скорость резания. Этот инструмент называется лимитирующим по скорости резания.

Вначале выделяют из комплекта несколько инструментов, которые могут быть лимитирующими. Для каждого из этих инструментов определяют коэффици-

$$\lambda = \frac{\ell}{\ell_{\text{рх}}},$$

циент λ времени резания:

где ℓ – путь резания данного инструмента; $\ell_{\text{рх}}$ – путь рабочего хода инструментального блока.

Стойкость каждого выделенного инструмента рассчитывают по формуле:

$$T = T_m \lambda,$$

где T_m – условно-экономическая стойкость лимитирующих режущих инструментов данной наладки, учитывающая число инструментов в наладке, их типы и размеры, равномерность их загрузки и другие факторы. Значение T_m определяется по нормативным данным.

Для выделенных инструментов, которые могли бы быть лимитирующими, с помощью нормативных данных определяют по стойкости скорость резания (так же как для одноинструментной обработки). Наименьшая скорость резания будет у лимитирующего инструмента.

Особенности определения режимов резания при работе оборудования автоматических линий и для станков с ЧПУ приведены в источниках / 4, 6, 13 /.

13.8. Проектирование типовых и групповых технологических процессов

На машиностроительных предприятиях изготавливают огромное количество деталей разнообразных наименований, причем технологические процессы их изготовления также различны. Большое разнообразие технологических процессов отмечается даже для деталей, имеющих аналогичную форму, близкие размеры и одинаковые требования к точности и качеству поверхностей. Это разнообразие объясняется различными факторами, а также большим числом возможных решений каждой технологической задачи. Количество технологических процессов можно сократить, их можно упростить, а также качественно улучшить работу по их проектированию и освоению, если использовать идею типизации технологических процес-

сов. Эта идея была выдвинута профессором А.П. Соколовским. Дальнейшее развитие она получила в работах профессора Ф.С. Демьянюка и других российских ученых.

Согласно А.П. Соколовскому, типизацией технологических процессов называют такое направление в деле изучения и построения технологии, которое заключается в классификации технологических процессов изготовления деталей машин и их элементов и затем в комплексном решении всех задач, возникающих при осуществлении процессов каждой классификационной группы.

Работу по типизации технологических процессов разбивают на два этапа. На первом этапе осуществляют классификацию деталей машин, на втором – разрабатывают типовые технологические процессы на основе разработанной классификации.

А.П. Соколовский отмечал, что технологический процесс обработки какой-либо детали определяется следующими факторами:

- 1) формой (конфигурацией) детали;
- 2) размерами детали;
- 3) точностью обработки и качеством обработанных поверхностей;
- 4) материалом детали;
- 5) объемом производственного задания и размером отдельных партий обрабатываемых деталей;
- 6) общей производственной обстановкой (наличный парк оборудования, наличие инструментальной базы, расположение оборудования, схема организации производства в цехе и т.д.).

Для классификации деталей определено понятие класса. **Классом называется совокупность деталей, характеризующихся общностью технологических задач, решаемых в условиях определенной классификации этих деталей.** Исходя из изложенных соображений, профессор А.П. Соколовский определил 15 классов деталей: валы, втулки, диски, эксцентриковые детали, крестовины, зубчатые колеса, фасонные кулачки, ходовые винты и червяки, мелкие крепежные детали.

В пределах одного класса детали можно разбить на группы, подгруппы и типы. Практически к одному типу относятся детали, для которых можно разработать типовой технологический процесс. В пределах одного типа могут быть некоторые отклонения в порядке обработки, возможно исключение или добавление некоторых переходов и даже операций.

Профессор Ф.С. Демьянюк при классификации деталей учитывает три определяющих фактора: размеры деталей (ее габариты и масса); форма детали и процесс ее обработки. Способы получения заготовки детали и размеры ее выпуска учитывают при разработке типовых технологических процессов.

В основу классификации деталей положено два принципа: разделение деталей машин на размерные группы и деление их на классы с отнесением к одному классу и группе деталей, имеющих подобные процессы изготовления и, в большинстве случаев, подобную форму.

Определено **шесть классов и четыре размерные группы.**

Классы:

- I – корпусные детали;
- II – круглые стержни (валы);
- III – полые цилиндры;
- IV – диски;
- V – некруглые стержни (рычаги);
- VI – крепежные детали.

Размерные группы: **крупные, средние, небольшие и мелкие детали.**

В VI классе (крепежные детали) предусмотрена одна размерная группа – мелкие детали.

Вопросы типизации технологических процессов нашли отражение и закрепление в государственных нормативных документах.

Типизация технологических процессов существенно сокращает технологическую подготовку производства, обеспечивая при этом стабильность качества этих процессов, и является основой автоматизированной разработки технологических процессов.

Излагая идею типизации технологических процессов, А.П. Соколовский отмечал, что “при широком понимании задач рассматриваемого направления организации технологии типизация – это систематизация и обобщение опыта всей машиностроительной промышленности; вместе с тем – это систематизация новых мыслей и идей”.

Развитием идей типизации технологических процессов является метод групповой обработки, разработанный профессором С. П. Митрофановым.

Метод групповой обработки основан на классификации с выделением таких групп деталей, для изготовления которых требуются одинаковое оборудование, общие приспособления и настройка станка. Этот метод может быть использован для полного изготовления группы деталей, имеющих общую последовательность операций, а также для выполнения отдельных операций.

Группа является основной технологической единицей.

При формировании группы учитывают габаритные размеры деталей, так как они определяют размеры технологического оборудования и оснастки, выявляют характерную деталь данной группы” которую называют комплексной деталью. Эта деталь может быть реальной или условной. Комплексная деталь является основным конструкторско-технологическим представителем данной группы, ее конструкция содержит все основные элементы, характерные для вошедших в группу деталей.

К основным элементам относятся поверхности, определяющие конфигурацию деталей и технологические задачи, которые необходимо решать в процессе их обработки; эти элементы входят в число главных признаков, которые учитывают при классификации деталей.

Комплексная деталь используется при разработке группового технологического процесса с применением соответствующей групповой технологической оснастки. Эта оснастка представляет собой совокупность приспособлений и инструментов, которая обеспечивает изготовление всех деталей данной группы с применением небольших подналадок. Следова-

тельно, технологический процесс, разработанный на комплексную деталь, пригоден для любой детали данной группы; при его выполнении пропускаются те операции или переходы, которые не требуются для этой детали. Могут быть небольшие подналадки средств технологического оснащения.

На рис. 13.6 представлена сформированная группа деталей, обозначенных буквами А, Б, В, Г, ..., М, и комплексная деталь "А", состоящая из ряда элементарных поверхностей (1-18), / 11 /.

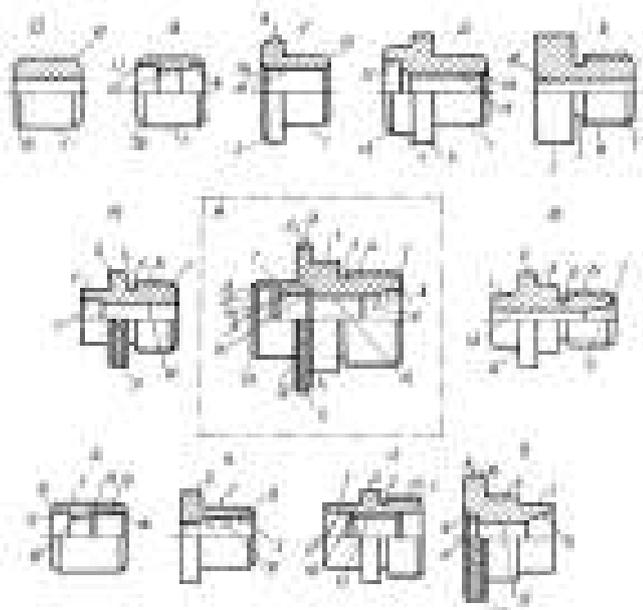


Рис. 13.6. Детали группы и комплексная деталь

Различные детали данной группы состоят из таких же геометрических элементов, но в различной их комбинации. Учитывая то, что эти детали объединены в одну группу также с учетом общности решаемых технологических задач, они могут быть обработаны по групповому технологическому процессу с использованием одних и тех же средств технологического оснащения. Таким образом, в производственном отношении это равноценно увеличению серийности выпуска комплексной детали.

Основой разработки группового технологического процесса и выбора общих средств технологического оснащения для совместной обработки группы изделий является комплексное изделие.

Групповую технологическую операцию можно разрабатывать и применять как составную часть группового технологического процесса (маршрута), как однооперационный групповой технологический процесс и отдельную групповую операцию.

Групповые технологические операции разрабатывают с учетом специализации рабочих мест, которая достигается применением высокопроизводительных специализированных или универсально-переналаживаемых средств технологического оснащения, целевой модернизации и наладки оборудования.

В работах С.П.Митрофанова / 11, 12 / рассмотрены основные положения групповой технологии, организации и управления группового производства, организации поддетально-групповых участков, групповых

поточных и автоматических линий; разработаны принципы проектирования переналаживаемой технологической оснастки, вопросы механизации и автоматизации производства, рационального использования автоматов, агрегатных станков, станков с ЧПУ, многоцелевых; приводятся материалы по автоматизации технологической подготовки группового производства с применением ЭВМ и рациональному использованию роботов.

Профессор С.П.Митрофанов подчеркивает положение о принципиальном различии типовых и групповых технологических процессов: типовая технология характерна общностью последовательности и содержания операций технологического процесса, а групповая – общностью оборудования и технологической оснастки, необходимых для выполнения данной операции или полного изготовления детали.

Создание группового производства обеспечивает повышение производительности труда путем совершенствования технологии и улучшения организации производства.

Метод групповой технологии находит все большее распространение, как в нашей стране, так и за рубежом, что подтверждает его высокую эффективность.

13.9. Краткие сведения о САПР технологических процессов

Рассмотренные методы проектирования технологических процессов относятся к неавтоматизированному проектированию. Они трудоемки, что приводит к существенным ограничениям возможностей сравнения различных вариантов и к увеличению сроков технологической подготовки производства.

Установлено три вида проектирования: неавтоматизированное, автоматизированное и автоматическое.

При неавтоматизированном проектировании все преобразования описаний объекта и (или) алгоритма его функционирования или алгоритма процесса, а также представление описаний на различных языках осуществляет человек, при автоматизированном проектировании – человек, использующий ЭВМ, а при автоматическом – ЭВМ.

При неавтоматизированном проектировании незначительная часть времени (по некоторым данным, порядка 10%) уходит на творческое мышление, а остальное время – на поиск нужной информации и оформление результатов. ЭВМ не может решать творческие задачи, но во много раз быстрее и лучше человека решает задачи хранения, поиска информации, оформления выходных документов. Следовательно, порядка 90% работ, выполняемых технологом при неавтоматизированном проектировании, может осуществлять ЭВМ. Поэтому в настоящее время все большее применение получает автоматизированное проектирование технологических процессов, которое непрерывно совершенствуется и развивается. Оно позволяет значительно снизить трудоемкость и повысить качество технологических разработок, существенно сократить сроки технологической подготовки производства. Дальнейшее развитие автоматизированного проекти-

рования, совершенствование вычислительной техники позволит в полной мере использовать ЭВМ и осуществить переход к автоматическому проектированию.

Установлены состав и порядок автоматизированной системы технологической подготовки производства (АС ТПП).

Основу организации АС ТПП составляет системное применение средств автоматизации инженерно-технических работ, обеспечивающее оптимальное взаимодействие людей, машинных программ и технических средств автоматизации при выполнении функций технологической подготовки производства.

Основным структурным элементом АС ТПП является подсистема. По функциональному назначению устанавливаются **два типа подсистем**: общего и специального назначения.

Основной состав подсистем **общего назначения** определяется в зависимости от характера решаемых задач. Он включает: информационный поиск, кодирование, контроль и преобразование информации, формирование исходных данных для автоматизированных систем управления различных уровней, оформление технической документации.

Подсистемы **специального назначения** в зависимости от реализуемой функции ТПП определяются следующим составом: обеспечения технологичности конструкции изделия (в части количественной оценки технологичности и совершенствования производственной системы); проектирование технологических процессов (по видам обработки); конструирования средств технологического оснащения (по видам); управления ТПП; изготовления средств технологического оснащения.

Основой реализации подсистем специального назначения являются системы автоматизированного проектирования (САПР), решающие задачи проектирования технологических процессов и конструирования средств технологического оснащения, а также АСУ, решающие задачи управления ходом ТПП, управления процессами проектирования.

Общие правила организации автоматизированного технологического проектирования предусматривают решение следующих задач:

- обеспечение производственной технологичности конструкции изделия и совершенствования производственной системы;
- проектирование технологических процессов;
- проектирование элементов производственной системы;
- проектирование технологической оснастки.

В автоматизированном проектировании технологических процессов задачи решаются в пакетном (автоматическом) или диалоговом режиме.

В пакетном (автоматическом) режиме предусматривается автоматическое решение задачи по составленной программе при неизменной последовательности всех уровней без вмешательства проектировщика. Он может лишь прервать ход проектирования и изменить исходные данные для повторного проектирования.

В диалоговом режиме проектировщик имеет возможность выбрать лучший вариант решения из числа возможных, полученных ЭВМ. Этот режим позволяет

в процессе проектирования изменять или дополнять исходные данные, изменять последовательность уровней проектирования на ЭВМ или исключать некоторые из них, принимая решения без ЭВМ.

Автоматизированное проектирование технологических процессов возможно либо на основе применения технологических процессов-аналогов, либо на основе типовых технологических решений на уровне типовых технологических процессов, типовых операций и переходов.

В начале проектирования производят предварительный отбор номенклатуры изделий и деталей, рассматривают их конструкцию и требования к изготовлению и эксплуатации. Далее осуществляют подготовку исходных данных – конструкторскую документацию кодируют и заполняют бланк исходных данных.

Поиск технологических процессов-аналогов производится на ЭВМ путем сравнения конструкторско-технологических кодов детали, на которую необходимо разработать технологический процесс, и деталей-представителей. Технологические процессы последних хранятся в архиве, организованном на машинных носителях информации (магнитная лента, магнитные диски). Конструкторско-технологический код детали формируется на этапе подготовки данных или начальном этапе решения задачи на ЭВМ.

На заключительных этапах производится доработка технологического процесса-аналога, проектируются технологический маршрут и технологические операции, рассчитываются режимы обработки и нормы времени, печатаются технологические документы.

Доработка технологического процесса выполняется с участием технолога. Отсутствие технологических процессов-аналогов вызывает необходимость использовать индивидуальное автоматизированное проектирование.

Автоматизированное проектирование на основе типовых технологических решений предусматривает разработку математических моделей (правил принятия решений) для всего технологического процесса или его элементов и условий (границ) их применения.

В настоящее время нет полной математической модели технологического процесса, поэтому перечень задач, решаемых с помощью той или иной системы автоматизированного проектирования, различен и зависит от математической модели, положенной в основу системы.

Вопросы САПР технологических процессов подробно рассмотрены в источниках / 5, 24, 27 /.

13.10. Экономическая оценка вариантов технологических процессов механической обработки заготовок

13.10.1. Себестоимость продукции в машиностроении

Себестоимость машиностроительной продукции – это выраженные в денежной форме текущие затраты предприятий на ее производство и реализацию.

В зависимости от цели расчета себестоимости различают две основные системы классификации: по экономическим элементам затрат на производство и калькуляционным статьям расходов.

По методу отнесения затрат на себестоимость продукции они делятся на *прямые и косвенные*.

По признаку зависимости от объема производства все затраты делятся на *пропорциональные* (условно-переменные) и *непропорциональные* (условно-постоянные).

К *условно-переменным* относятся расходы, находящиеся в прямой зависимости от объема производства и изменяющихся пропорционально изменению производства, – заработная плата основных производственных рабочих, основные материалы, топливо и энергия на технологические нужды и др.

Условно-постоянные затраты не меняются или меняются незначительно при изменении объема производства – расходы на содержание производственных помещений (амортизация зданий, освещение и отопление помещений), заработная плата цехового и административно-управленческого персонала, административно-хозяйственные расходы.

Классификация затрат по признаку зависимости от объема производства имеет важное значение в расчетах эффективности мероприятий, направленных на снижение себестоимости продукции. При увеличении объема производства непропорциональные расходы сокращаются в расчете на единицу продукции, что приводит к снижению себестоимости изделия в целом.

По этапам формирования затрат в зависимости от степени готовности продукции к реализации различают себестоимость технологическую, цеховую, производственную и полную (коммерческую).

Технологическая себестоимость изделия – часть его себестоимости, определяемая суммой затрат на осуществление технологических процессов.

Цеховая себестоимость включает все затраты цеха на производство данного вида продукции.

Производственная себестоимость – это общие затраты предприятия на производство данного вида продукции. Она складывается из цеховой себестоимости и общезаводских расходов.

Полная (коммерческая) себестоимость отражает затраты на производство и сбыт продукции. Она включает производственную себестоимость и внепроизводственные расходы.

Технологическую себестоимость определяют различными методами, в частности, поэлементным или нормативным. Наибольшую точность обеспечивает поэлементный метод, но он более трудоемок.

Более подробно вопросы, изложенные в настоящем разделе, рассмотрены в источниках / 28, 34 /.

13.10.2. Экономическая оценка вариантов технологических процессов изготовления деталей

Заданные технические условия на изготовление детали можно обеспечить технологическими процессами, разработанными по различным вариантам. Вы-

бор оптимального варианта технологического процесса является ответственной задачей технолога. Ее решение во многих случаях производится сравнением технологической себестоимости изготовления деталей.

Формула технологической себестоимости детали может быть представлена в общем виде:

$$S_T = S_V N_r + S_C, \tag{13.1}$$

где S_T – годовая технологическая себестоимость; N_r – годовая программа изготовления детали; S_V – условно-переменные затраты; S_C – условно-постоянные затраты.

Технологическая себестоимость изготовления одной детали будет равна:

$$S'_T = S_V + \frac{S_C}{N_r}. \tag{13.2}$$

Графические выражения формул (13.1) и (13.2) представлены на рис. 13.7 и 13.8.

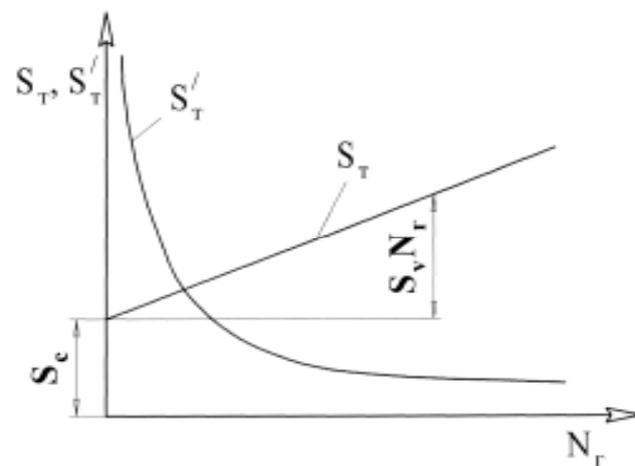


Рис. 13.7. Зависимость технологической себестоимости изготовления деталей от годовой программы производства

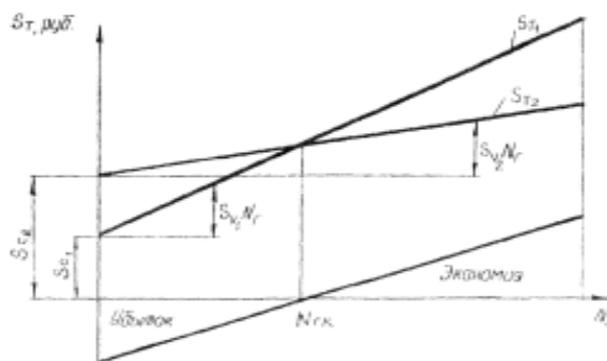


Рис. 13.8. Сопоставление двух вариантов технологических процессов по технологической себестоимости

Определив для сопоставляемых вариантов величины технологической себестоимости, можно установить область их экономически целесообразного использования.

Очевидно, при определенной годовой программе изготовления детали, сравниваемые варианты будут равноценны. Эта программа называется критической ($N_{кр}$); ее нетрудно определить, используя формулу (13.1):

$$N_{rk} = \frac{Sc_2 - Sc_1}{Sv_1 - Sv_2} \quad (13.3)$$

На рис. 13.8 представлено графическое изображение зависимости, которая определяется формулой (13.3).

Анализ представленной зависимости при различных значениях ее составляющих позволяет сделать следующие выводы.

Точка пересечения прямых St_1 и St_2 определяет критическую годовую программу (N_{rk}). Если $N_r > N_{rk}$, целесообразно выбрать второй вариант технологического процесса, более дорогой по условно-постоянным затратам, так как он будет оправдан экономией на переменных затратах.

Если $N_r < N_{rk}$, предпочтение следует отдать первому варианту, имеющему меньшие условно-постоянные затраты; затраты Sc_2 не могут быть оправданы, так как они в этом случае приводят к большей технологической себестоимости.

Очевидно, не вызовет особых трудностей определение наиболее экономичного варианта по рассмотренной методике для операций, при выполнении которых используется несколько единиц оборудования.

В тех случаях, когда сравнивается несколько технологических процессов, а также когда для осуществления технологических вариантов требуются капитальные различные затраты оценка их экономической целесообразности производится по приведенным затратам (W):

$$W = S_T + E_H K - \text{годовые}, \quad (13.4)$$

$$W_{уд} = S'_T + E_H K' - \text{удельные}, \quad (13.5)$$

где K – капитальные вложения, руб/шт.; E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Вариант с наименьшими приведенными затратами считается наиболее эффективным.

Методика расчета капитальных затрат приведена, например, в работах / 22, 28 /. Величина нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений определяется значением $E_H = 0,12$.

Рассчитав себестоимость изготовления деталей и капитальные вложения при различных вариантах технологического процесса, можно определить годовой экономический эффект, срок окупаемости капитальных дополнительных вложений. Например, годовой экономический эффект ($\mathcal{E}_{год}$) от внедрения лучшего варианта (W_{min}) по сравнению с любым другим вариантом (W_i) определяется следующим образом:

$$\mathcal{E}_{год} = W_i - W_{min} \quad (13.6)$$

В ряде случаев выбор варианта технологического процесса определяется экономической эффективностью в более широком масштабе. Например, недостаточный выпуск отдельных деталей может ограничить возможности повышения выпуска конкретного изделия, что вызовет недостаточное использование дорогостоящего высокопроизводительного оборудования. Для обработки таких деталей следует выбрать вариант технологического процесса с необходимой производительностью, если даже этот вариант будет

иметь повышенные приведенные затраты по сравнению с другими. Однако отмеченное повышение затрат должно быть скомпенсировано экономией в масштабах цеха, завода, даже отрасли и народного хозяйства в целом.

Технико-экономический анализ вариантов технологических решений может производиться по всему технологическому процессу или по его отдельным операциям.

Очевидно при сопоставлении вариантов технологических процессов по денежным затратам технолог должен учитывать также удобства, безопасность работы, степень автоматизации и механизации выполняемых работ и т.п.

О степени совершенства технологических процессов можно судить по ряду других технико-экономических показателей (его трудоемкости, коэффициенту использования материала и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афонькин М.Г., Магницкая М.В. Производство заготовок в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1987. – 256 с.
2. Балабанов А.Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 464 с.
3. Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения: В 2 кн. – М.: Машиностроение, 1982. Кн. 2: Основы технологии машиностроения. 1982. – 367 с.
4. Гжиров Р.И., Серебрицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1990. – 588 с.
5. Капустин Н.М., Васильев Г.Н. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования: Учебное пособие для вузов / Под ред. И.П. Норенкова. – М.: Высшая школа, 1986. – 191 с.
6. Ковшов А.Н. Технология машиностроения. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
7. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение. 1987. – 320 с.
8. Кузнецов Ю.И. Технологическая оснастка для станков с ЧПУ и промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1987. – 112 с.
9. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
10. Методические основы нормирования труда рабочих в народном хозяйстве. 3-е изд-е, доп. и перераб. – М.: Экономика, 1987. – 225 с.
11. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства: В 2 т. Т.1. Организация группового производства. – Л.: – Машиностроение, 1983. – 407 с.
12. Митрофанов С.П. Групповая организация машиностроительного производства: В 2 т. Т.2. Проектирование и использование технологической оснастки металлорежущих станков. – Л.: Машиностроение, 1983. – 376 с.
13. Мосталыгин Г.П., Орлов В.Н. Проектирование технологических процессов обработки заготовок: Учеб. пособие. – Свердловск: Изд-во УПИ, 1991. – 112 с.
14. Мосталыгин Г.П., Толмачевский Н.Н. Технология машиностроения. – М.: Машиностроение, 1990: Учебник для вузов по инженерно-экономическим специальностям. – 288 с.: ил.
15. Мосталыгин Г.П., Орлов В.Н. Проектирование технологических процессов обработки заготовок на станках с числовым программным управлением: Учеб. пособие. – Курган: Изд-во КМИ, 1994.
16. Мосталыгин Г.П., Мосталыгин А.Г. Основы стандартизации, сертификации и метрологии: Учеб. пособие. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та. 2004. – 94 с.
17. Научная организация труда машиностроительных предприятий / В.П. Радукин, Г.М. Лисовская, Э.Ф. Жданович и др.; Под общ. ред. В.П. Радукина. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
18. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
19. Обеспечение технологичности конструкций изделий машиностроения и приборостроения: Методические рекомендации МР 186 – 85. – М.: Изд-во ВНИИНМАШ, 1985.
20. Организация и планирование машиностроительного производства: Учеб. для машиностр. спец. вузов / М.И. Ипатов, М.К. Захарова, К.А. Грачева и др.; Под ред. М.И. Ипатова, В.И. Постникова и М.К. Захаровой. – М.: Высш. шк., 1988/ – 367 с.: ил.
21. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / В.М. Кован, В.С. Корсаков, А.Г. Косилова и др.; Под ред. В.С. Корсакова. – М.: Машиностроение, 1977. – 416 с.
22. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник / Под ред. К.М. Великанова. – Л.: Машиностроение, 1975. – 430 с.
23. Соколовский А.П. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машгиз, 1955. – 517 с.
24. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и инструментов / С.Н. Корчак, А.А. Кашин, А.Г. Ракович, Б.И. Синицын; Под общ. ред. С.Н. Корчака: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.
25. Солонин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1972. – 216 с.
26. Солонин И.С., Солонин С.И. Расчет сборочных и технологических размерных цепей. – М.: Машиностроение, 1980. – 110 с.
27. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 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. 912 с., ил.
28. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 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. – 905 с.
29. Сулов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с., ил.
30. Технология машиностроения: В 2 кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения: Учеб. пособие для вузов / Э.Л. Жуков, И.И. Козарь, С.Л. Мурашкин и др.; Под ред. С.Л. Мурашкина. – Высш. шк., 2003. – 278 с.
31. Технология машиностроения: В 2 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. – 564 с.
32. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 256 с.
33. Цепи размерные: Методические указания. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей. РД-50-635-87. – М.: Изд-во стандартов, 1987.
34. Экономика машиностроительного производства: Учеб. для машиностр. спец. вузов / Ю.А. Абрамов, Н.Э. Берзинь, Н.Н. Застрожкова и др.; Под ред. И.Э. Берзиня, В.П. Калинина. – М.: Высш. шк. 1988. – 304 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОНЯТИЯ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ	4
1.1. Изделие и его разновидности	4
1.2. Машина как объект производства	4
1.3. Производственный и технологический процессы	5
1.4. Типы производства в машиностроении	7
ГЛАВА II. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ, ИСПОЛЪЗУЕМЫЕ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ	9
2.1. Основные понятия и определения	9
2.2. Случайные величины и их распределение	10
2.3. Законы распределения случайных величин	13
2.4. Выборочный метод	16
ГЛАВА III. РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ	18
3.1. Основные понятия и определения	18
3.2. Метод расчета линейных размерных цепей на максимум-минимум	20
3.2.1. Решение обратной задачи	20
3.2.2. Решение прямой задачи	21
3.2.2.1. Способ попыток	22
3.2.2.2. Способ равных допусков	22
3.2.2.3. Способ единой стерени точности	22
3.3. Вероятностный метод расчета линейных размерных цепей	23
3.4. Расчет плоских и пространственных размерных цепей	24
3.5. Метод групповой взаимозаменяемости (селективная или выборочная сборка)	25
3.6. Методы регулирования и пригонки	26
ГЛАВА IV. БАЗИРОВАНИЕ И БАЗЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ	27
4.1. Общие положения, термины и определения	27
4.2. Выбор баз	32
4.3. Погрешности установки	34
ГЛАВА V. КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ	35
5.1. Основные понятия, термины и определения	35
5.2. Показатели качества продукции	38
5.3. Содержание оценки уровня качества продукции	40
5.3.1. Общие положения	40
5.3.2. Оценка качества продукции	41
ГЛАВА VI. ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК	43
6.1. Общие положения	43
6.2. Погрешности обработки	44
6.2.1. Погрешность основной кинематической схемы обработки	45
6.2.2. Упругие перемещения системы станок - приспособление - инструмент - заготовка	45
6.2.3. Геометрические погрешности станка, приспособлений и режущего инструмента	47
6.2.4. Погрешность обработки, вызываемые размерным изнашиванием инструмента	48
6.2.5. Температурные деформации технологической системы	49
6.2.6. Погрешности настройки инструмента на размер	50
6.3. Экономическая точность обработки	51
6.4. Статистические методы исследования точности обработки и определения суммарной погрешности	51
6.5. Расчетно-аналитический метод определения суммарной погрешности	54
6.6. Методы настройки станков на размер	58
ГЛАВА VII. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	60
7.1. Общие понятия и определения	60
7.2. Факторы, влияющие на качество обработанной поверхности	62
7.3. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин	64
7.4. Понятие о технологической наследственности	65
ГЛАВА VIII. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЙ	68
8.1. Общие понятия о технологичности конструкции изделий	68
8.2. Показатели технологичности	68
8.3. Отработка конструкции изделия на технологичность	69
8.4. Требования к технологичности конструкции деталей машин и сборочных единиц	70

ГЛАВА IX. ПРИПУСКИ НА ОБРАБОТКУ ЗАГОТОВОК	74
9.1. Понятие о припусках на обработку заготовок	74
9.2. Методы определения припусков на механическую обработку	75
9.3. Определение промежуточных размеров по технологическим переходам и операциям	76
9.4. Краткие сведения о выборе способов получения заготовок	78
ГЛАВА X. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ	80
10.1. Общие положения	80
10.2. Структура технически обоснованной нормы времени	81
10.3. Определение квалификации работы	83
ГЛАВА XI. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИН	84
11.1. Основные принципы технологической классификации деталей	84
11.2. Основные понятия и общие положения	85
11.3. Последовательность проектирования технологических процессов изготовления машин	86
11.4. О связях в машине и производственном процессе ее изготовления	87
ГЛАВА XII. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ	87
ГЛАВА XIII. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ	91
13.1. Основные этапы разработки технологических процессов	91
13.2. Построение операций технологического процесса обработки заготовок	94
13.3. Выбор технологического оборудования	97
13.4. Выбор средств технологической оснастки	97
13.5. Особенности технологических процессов массового производства	98
13.6. Особенности построения технологических процессов обработки заготовок на станках с ЧПУ	98
13.7. Определение режимов резания	100
13.8. Проектирование типовых и групповых технологических процессов	100
13.9. Краткие сведения о САПР технологических процессов	102
13.10. Экономическая оценка вариантов технологических процессов механической обработки заготовок	103
13.10.1. Себестоимость продукции в машиностроении	103
13.10.2. Экономическая оценка вариантов технологических процессов изготовления деталей	104
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	106

Учебное издание

Мосталыгин Григорий Петрович

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебное пособие

Редактор - Н.М. Кокина

Подписано в печать
Печать трафаретная
Заказ

Формат 60x90 1/8
Усл.печ.л. 13,62
Тираж 300

Бумага тип.№1
Уч.-изд.л. 13,62
Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ
640669, г.Курган, ул.Гоголя, 25
Курганский государственный университет